

**SISTEMAS DE CAPTURA Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN  
TERRITORIAL**

**Antonio Arozarena Villar  
Isabel Otero Pastor**

## **1. INTRODUCCIÓN**

**A. Arozarena Villar**

## 1. Introducción

La Información Territorial como Sistema de Información, tiene como uno de sus componentes fundamentales los Sistemas de Captura, objetivo principal de este texto.

Los Sistemas de Captura de Información Territorial se encuadran, por tanto, dentro de los Proyectos de Información Territorial y Cartografía, como una parte de gran relevancia, que condicionará no solo la validez del sistema, si no la disposición o accesibilidad del mismo.

Los Proyectos de Información Territorial tienen a partir de los Requerimientos del Usuario, Sistema Geodésico de Referencia y Sistema Cartográfico de Representación (donde se encuentra mas concretamente las técnicas de captura de información) las herramientas necesarias para trasladar la realidad territorial a sistemas de mas fácil utilización por el usuario final como son los Sistemas de Información.

Se podría asimismo, en su aspecto mas formal, hacer equivalentes los conceptos de Sistema de Información, con los de Cartografía, ya que las fases y técnicas son las mismas en ambos casos.

El objetivo de este texto será básicamente, como ya se ha indicado anteriormente, el estudio de las técnicas mas actuales de captura de información a distancia, encuadradas dentro de un Proyecto Cartográfico o de un Sistema de Información y condicionada a su vez por los requerimientos (costo, plazo de ejecución, exactitud, sistema de explotación, etc) de un usuario final demandante de dicha información.

### 1.1. Información Territorial

La superficie de la Tierra es el espacio donde el ser humano realiza la mayoría de sus actividades y constituye el eje alrededor del cual giran sus expectativas y preocupaciones.

La Información Territorial puede definirse como el conocimiento del espacio físico (territorio) donde se realizan las actividades humanas. La Cartografía y los Sistemas de Información, son conceptos en gran medida equivalentes en cuanto a conocimiento del territorio, puesto que proporcionan un acercamiento al mismo con el fin de describir, evaluar y analizar dichas actividades.

La demanda de Información Territorial, debido al su carácter esencial en todo proceso de comprensión del territorio, aumenta de manera creciente y pone cada vez más de manifiesto que dicha información debería de cumplir una serie de requerimientos indispensables que, con las nuevas tecnologías, son cada vez más factibles de conseguir.

Las características fundamentales de la Información Territorial deberían contemplar los criterios siguientes:

- **Homogeneidad.** Con las mismas características, contenido y estructura uniforme, en un espacio dado.
- **Objetividad.** No afectada por interpretaciones particulares. Esto significaría el empleo de técnicas lo más automáticas posibles (programas y equipos informáticos).
- **Exactitud.** Carente de errores geométricos, topológicos y semánticos.

- **Descentralización.** En todas sus fases: captura, almacenamiento, procesamiento y transmisión.
- **Rapidez de ejecución.** Que posibilite la obtención de información que demandan los diferentes usuarios en los plazos establecidos.
- **Actualización en plazos lógicos.** Según demanden la obsolescencia de los datos y los requerimientos de los usuarios.
- **Independencia de los métodos de captura.** Se intentará que los métodos y sistemas de captura y tratamiento introduzcan el menor sesgo posible.

La Información Territorial tiene unos parámetros determinados, enmarcados hoy día con tecnología que utiliza la captura de información (basada en imágenes digitales), sistemas de información geográfica mixtos, la transmisión de datos a través de redes (locales, mundiales), la cooperación internacional, así como la normalización y armonización de la información a nivel global.

Asimismo, y con un criterio lógico de captura, almacenamiento, tratamiento y recuperación posterior, la Información Territorial se puede dividir en: Información Topográfica e Información Temática.

### **Información Topográfica**

Se relaciona con la estructura fundamental de un territorio y se representa con las coordenadas (x, y, z) de cada punto, referidas a un sistema de proyección cartográfico concreto y según el elipsoide y datum elegido para el país determinado. Representarán la altimetría y planimetría de un territorio que junto con la toponimia, definirán el mapa topográfico.

Esta información, mediante tratamientos adecuados (tratamientos numéricos), posibilitará las operaciones automáticas siguientes:

- Producción automática de mapas.
- Modelos digitales del terreno.
- Cálculos geoespaciales de interés tanto en estadística como en ingeniería.
- Optimización y análisis de resultados físicos.
- Creación de Bases de Datos y Sistemas de Información Geográfica.

Siendo la información topográfica el soporte o referencia básica de todos los procesos físicos, químicos y biológicos, se comprende la importancia que debe tener la exactitud de los datos, para la representación de dichos procesos temáticos.

La obtención de esta información (levantamientos topográficos) con precisión, es factible, gracias a las actuales técnicas topográficas y fotogramétricas que han reducido el tiempo de obtención, así como el de actualización de los datos.

No obstante, su costo total (astrogeodésico, topográfico y fotogramétrico) sigue siendo elevado, necesitándose equipos y medios muy sofisticados, para su obtención y mantenimiento.

### **Información Temática**

En líneas generales, la información temática puede ser tan amplia y variada como la capacidad mental del hombre y los avances de la ciencia y de la técnica

permitan. La información temática específica adquirirá un valor en cada punto del territorio y se representará de una forma determinada.

Por tanto, podemos definir como Información Territorial aquella que se caracteriza cuando a cada punto del terreno  $(x, y)$  podemos atribuirle un valor  $h$  específico del tema a estudiar. Será una función variable para cada punto  $h = f(x, y)$ .

Uno de los principales problemas de la Cartografía Temática es el de optimizar los valores  $h$  que indiquen o representen lo más exactamente posible el tema a estudiar.

En todo problema de optimización de los valores  $h$  aparecen inmediatamente una serie de factores a tener en cuenta y que podemos clasificar en:

- Niveles de percepción de los valores  $h$  (indicadores).
- Representatividad de las muestras a tomar.
- Valor intrínseco de los indicadores  $h$ .
- Medios de captura y tratamiento de la información (según modelo informático).
- Formas y modos de expresión cartográfica.
- Bases topográficas disponibles.
- Formación de equipos y medios.

### Diferencias entre ambas informaciones

Dado que la información temática necesita del soporte de la cartografía topográfica, conviene resaltar de forma genérica que dicha información topográfica, así como su actualización, técnicas cartográficas, etc., deben ser seleccionadas en función de la temática del mapa.

Las diferencias más importantes entre ambas informaciones aparecen resumidas en el siguiente cuadro:

	<b>Información Topográfica</b>	<b>Información Temática</b>
<b>Obtención</b>	Métodos clásicos y estandarizados	Variables y complejas. Métodos específicos
<b>Conservación</b>	Señalamiento en campo de forma clásica (vértices)	Puede existir o no (parcelas de muestreo)
<b>Tratamiento</b>	Gran cantidad de programas existentes	Escasos modelos operativos en grandes territorios
<b>Recuperación</b>	Salidas tradicionales y automáticas	Salidas literales gráficas y numéricas
<b>Estabilidad</b>	Bastante estable (según zonas geográficas)	Estable o variable (según tema y zonas geográficas)
<b>Equipos</b>	Ingenieros en Geodesia y Cartografía, Ingenieros Técnicos Topógrafos	Equipos multidisciplinares

## Condicionantes futuros de la Información Territorial

Hay que tener presente que uno de los principales condicionantes en el desarrollo de la Información Territorial ha sido la dificultad de adquisición de datos espaciales a bajo costo, gran resolución y plazos razonables. Actualmente es posible obtener dicha Información, en gran medida, a partir de los datos digitales de imágenes proporcionados por la última generación de satélites artificiales que nos facilitan Información Digital (ID), con las siguientes características:

- |                                |                                      |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| ■ Gran resolución espacial     | 1-2 m y recubrimiento estereoscópico |
| ■ Gran resolución radiométrica | más de 10bits/s(pixel)               |
| ■ Gran resolución espectral    | >200 bandas (ID Hiperespectrales)    |
| ■ Alta periodicidad            | menos de 4 días                      |

Así mismo, podemos destacar una serie de aspectos técnicos que condicionarán la Información Territorial en un futuro próximo:

- La distribución de datos condicionará la viabilidad del proyecto.
- Sistema físico:
  - Abierto.
  - Conectividad total.
  - Descentralizados.
- Sistemas lógico:
  - Orientado a objetos.
  - Fusión raster/vector.
- Sistemas de Información Geográfica Mixtos.
- Transmisión de datos mediante redes (locales-mundiales).
- Cooperación Internacional.

### 1.1.1. La Cartografía como Sistema de Información/Comunicación

El término **Cartografía**, se ha venido empleando durante cientos de años con criterios más o menos amplios, dependiendo del perfil profesional de las personas que lo han utilizado, tanto por su experiencia con los mapas, como del tipo o nivel de uso de los mismos.

El primer y más elemental objetivo que persiguió el hombre mediante la Cartografía fue la representación de importantes zonas que le sirvieran en su orientación. Posteriormente, el criterio se fue ampliando con la inclusión de **fenómenos**, visibles (por ejemplo, un bosque) y no visibles (por ejemplo, una frontera), que el hombre tendrá en cuenta en sus decisiones.

Ya en el siglo XX, la Asociación Cartográfica Internacional (ACI) define a la Cartografía como “El conjunto de estudios y operaciones científicas, artísticas y técnicas que intervienen a partir de resultados de las observaciones directas o de la explotación de una documentación existente en el establecimiento de mapas, planos y otras formas de expresión, así como en su utilización”. Asimismo, el Diccionario

Multilingüe de Términos en Cartografía, se refiere a ella como “El arte, ciencia y técnica de ejecución de mapas, junto con su estudio como documento científico”.

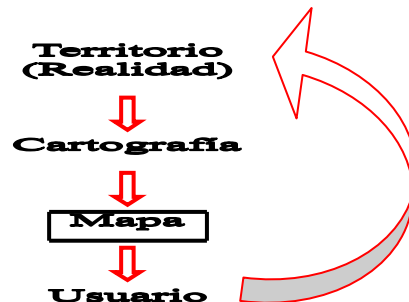
En estas acepciones podemos destacar que el mapa, como medio de comunicación, es la forma más importante de expresión cartográfica, incluyéndose también: diagramas, secciones, modelos tridimensionales, globos,...

Por otra parte, Las Naciones Unidas, también han interpretado y definido la Cartografía de una manera sencilla “todas las operaciones que se incluyen desde los levantamientos o adquisición de datos, hasta la reproducción de mapas”. Esta forma de entender la Cartografía concuerda con la visión que de la misma se tenía en el siglo XVI, donde el cartógrafo adquiría la información en sus viajes y expediciones terrestres o marítimas, la trataba, creaba símbolos, dibujaba e ilustraba los mapas.

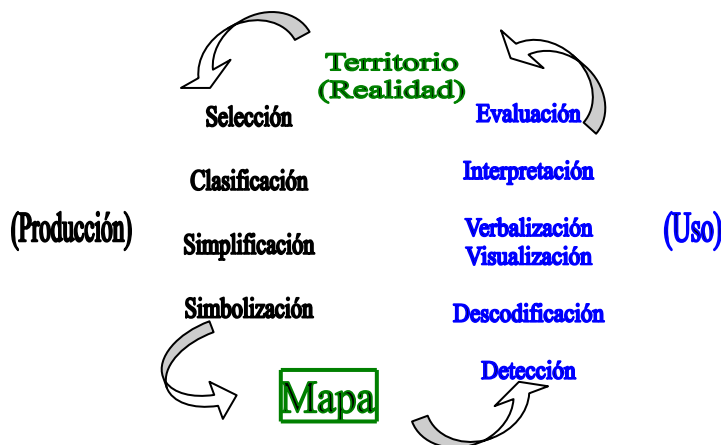
Actualmente, podemos considerar a la Cartografía como un **Sistema de Información/Comunicación**, que incluye todas las operaciones de captura, tratamiento y edición de información espacial, siendo todavía el **mapa** el medio de información territorial más utilizado hasta la fecha, pero debiendo de contemplarlo cómo una de las diversas formas de información. Hoy día, también existen otros medios de información compatibles, complementarios o sustitutos del mapa, como son las ortofotos, ortoimágenes y cartoimágenes.

Por lo tanto, podemos aplicar a la Cartografía las teorías de la Comunicación de Shannon (Mathematical Theory of Communication, 1948), tanto en la transformación como en la transmisión de la información territorial.

El esquema completo de **transmisión** de la información territorial al usuario puede ser explicado a través de la teoría clásica de Ratajaski, donde el mundo de la Cartografía (equivalente hoy día al Sistema de Producción Cartográfica) se integra en el siguiente esquema:



y de una manera más completa y actual, según la teoría de Morrison:



El **Sistema de Producción Cartográfica** se encargará, a través de las fases que posteriormente se describirán, de capturar y transformar (mediante reglas y codificación adecuada) la información contenida en los objetos que se quieren representar, en mapas, ortofotos, etc.

Los **Sistemas de Información** (uso y explotación) se incluirán, por lo tanto, dentro del concepto de **Cartografía**, dado que mediante dichos Sistemas se cierra el esquema de **transmisión de información** entre el mapa y la realidad.

En ambos procesos, la **realidad subjetiva R'**, obtenida al final de la lectura del mapa, diferirá más o menos de la **realidad objetiva R**, en función de dichos procesos. Así, el **mapa** “modelo figurativo del mundo real” (Board, 1967) aparece claramente como medio de transmisión y transformación.

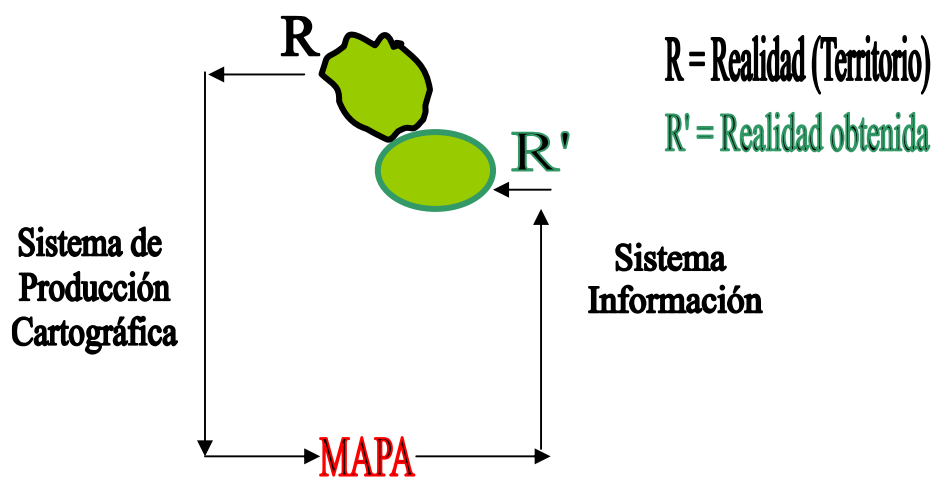


Fig. 1.- Sistema de información territorial (transmisión y transferencia de la información).



## 1.2. Sistema de Producción Cartográfica

Una forma científica (métrica) de definir (delimitar) la Información Territorial se realiza mediante los Sistemas de Producción Cartográfica, que son todos los procesos encadenados y relacionados entre sí que llevarán de acuerdo con un esquema de transmisión de la información dado y según una determinada tecnología empleada (manual-automática y/o analógica-digital), a la obtención de un producto cartográfico concreto: mapas, ortofotos (datos digitales procedentes de satélite), ortoimágenes espaciales, bases de datos, etcétera.

En el Sistema Productivo se pueden distinguir tres fases genéricas: la fase correspondiente a los Requerimientos de los Usuarios, que significa el origen del proyecto; la relacionada con el Sistema Geodésico de Referencia, soporte estructural básico que debe tener la Información Geográfica; y la referida al Sistema Cartográfico de Representación, formada por todos aquellos procesos que incluyen desde la recogida de la información hasta la utilización de la misma.

### 1.2.1. Los Requerimientos del Usuario

Los requerimientos de información territorial por parte del usuario significan, el origen del proyecto. Por ello, se hace necesario e imprescindible la identificación, clara y precisa, de dicho usuario final. Dicho usuario nos definirá directa o indirectamente, por un lado, los datos necesarios para la realización del proceso de diseño de la información y, por otro, el costo y el plazo de ejecución del proyecto. Finalmente y dentro de un concepto de calidad (**calidad total**), verificaremos el grado de acercamiento a esos requerimientos.

El usuario demanda información sobre el territorio que será traducida por el especialista en tres tipos fundamentales de requerimientos:

#### ■ Tipo de Información

- Objetivos [f(fin del proyecto)].
- Exactitud [f (errores máximos admisibles tolerables a la escala gráfica correspondiente)].
- Costo [f (presupuesto/financiación)].
- Número de copias/ número de consultas [f (grado de utilización)].
- Plazo de ejecución [f (técnicas de ejecución/tipos de datos)].
- Plazo de actualización [f (técnicas de ejecución/tipos de datos)].

#### ■ Tipo de Explotación

- Manual o Asistida.
- Bases de Datos.
- SIG.
- Sistemas Expertos (basados en inteligencia artificial).

### ■ Tipos de Datos

En función del tipo de uso, período de actualización y el costo, se representará la información como:

- Información Vectorial (ideográfica).
- Información Raster (imagen).
- Información Mixta (vectorial + raster).

## 1.2.2. El Sistema Geodésico de Referencia

### Astronomía y Geodesia

La Información Geográfica debe de tener un soporte estructural básico, formado por puntos físicamente estables, cuyas coordenadas ( $-\lambda$ ,  $\varphi$ , H- o  $-x$ ,  $y$ ,  $z$ -) se obtendrán a través de procedimientos astronómicos y geodésicos de precisión.

Las redes geodésicas están formadas por un canevas de puntos distribuidos de forma regular por toda la geografía. Estos puntos están enlazados y relacionados por medidas de ángulos y distancias o directamente obtenidas sus coordenadas por GPS (Sistemas de Posicionamiento Global). La finalidad de una Red Geodésica es el establecimiento físico de una infraestructura estable (vértices geodésicos) que permitan la realización de cualquier tipo de trabajo cartográfico basado en un mismo sistema de coordenadas y unos errores medios cuadráticos homogéneos y definidos en las coordenadas de cada vértice.

De esta forma, la Red Geodésica forma parte de manera básica en la Información Geográfica y Territorial.

### Datos de referencia

Consideramos como datos de referencia en todo Sistema de Información Territorial:

- **Geoide.** El estudio de la Tierra desde un aspecto matemático, implica la necesidad de determinar una superficie ideal terrestre con un criterio matemático como plano de comparación (elipsoide) independiente de la figura real definida por los mares y los continentes. Se llega, pues, a la necesidad de introducir previamente una superficie de referencia con un criterio físico. Dicha superficie definida por los mares en reposo prolongada por debajo de los continentes, se encuentra sujeta tan solo a la acción de la gravedad. Esta forma así reseñada, es lo que se define como Geoide (superficie cuya fuerza de la gravedad es normal en todos sus puntos).
- **Elipsoide.** La forma matemática más semejante a ese hipotético Geoide, es el elipsoide de revolución (como ya se ha indicado anteriormente). Se adoptará como figura de la Tierra un Elipsoide de revolución, girando alrededor del eje de la elipse meridiana.

- **Datum.** Se llama Datum de una Red Geodésica, a los vértices en los que se hacen coincidir el Geoide y el Elipsoide. En ellos se realizan observaciones astronómicas de alta precisión, obteniéndose coordenadas  $\lambda$ ,  $\varphi$  (longitud y latitud) de precisión, así como, el acimut de uno de los lados de la Red, concurrentes en él. En este punto, las coordenadas astronómicas y geodésicas, procedentes de las observaciones de ángulos y distancias, se hacen equivalentes.

Hasta 1950, los datos de referencia de la Red Geodésica Española fueron:

ELIPSOIDE	----->	STRÚVE
ORIGEN DE LONG (MERIDIANO 0)	----->	MADRID
DATUM	----->	MADRID

A partir de esta fecha, y con objeto de proceder a una compensación conjunta de las redes europeas, se adoptaron como nuevos datos de referencia los siguientes:

ELIPSOIDE	----->	HAYFORD
ORIGEN DE LONG (MERIDIANO 0)	----->	GREENWICH
DATUM	----->	POTSDAM

### 1.2.3. El Sistema Cartográfico de Representación

Está constituido por un conjunto de procesos que podemos englobar de manera genérica en cinco grandes apartados como son: la Cartografía Matemática, el Diseño Cartográfico, la Redacción Cartográfica, la Captura de la Información (objeto de este texto) y las Técnicas Cartográficas.

El Sistema Cartográfico de Representación estará condicionado por la escala (exactitud) que habrá sido definida directa o indirectamente por el usuario a través de sus requerimientos.

La escala relaciona el tamaño del área del territorio que está siendo estudiada con su representación en el documento cartográfico y determina, por lo tanto, el nivel de exactitud y generalización aplicado en el estudio.

La utilidad de un mapa, como representación de una determinada zona de la superficie de la Tierra sobre un plano, viene condicionada por la escala. Si atendemos a la división de los mapas en básicos y derivados (originados a partir de los anteriores), definiremos las escalas de trabajo utilizadas en cada caso dependiendo del uso posterior de los mismos.

Así, las escalas para una **Cartografía básica** serán:

- 1: 500 y 1:1 000 Empleadas para zonas urbanas.
- 1: 2 000 y 1: 5 000 Utilizadas en catastro, urbanismo, ingeniería civil, etcétera.
- 1: 25 000 Adecuadas para estudios de recursos naturales, medio ambiente, planificación territorial, etcétera.

Las escalas de la **Cartografía derivada**, podrían ser:

- 1: 50 000 Obtenida por generalización del 1: 25 000.
- 1: 100 000 Obtenida por generalización del 1: 50 000.

A continuación se describen dichos procesos, definiendo en forma resumida los objetivos y trabajos a realizar en los mismos. La secuencia de los mismos coincide con el normal desarrollo del proyecto cartográfico.

### 1.2.3.1. Cartografía Matemática

La Asociación Cartográfica Internacional en 1973, definió la Cartografía Matemática como la “ Rama de la Cartografía relativa a la base matemática de la ejecución del mapa”.

En esta fase se estudiará y definirá la **proyección cartográfica** necesaria (función de las deformaciones admisibles en cada proyecto) y su relación con la escala (relación matemática de distancias).

Podemos definir la proyección cartográfica como el sistema de representación de la superficie terrestre en una superficie plana.

De manera más concreta, el Comité Español de Asuntos Cartográficos la define como “una correspondencia biunívoca matemática entre los puntos de la superficie de una esfera o elipsoide de revolución y los de un mapa”. Dicha correspondencia se expresa en función de la latitud  $\varphi$  y de la longitud  $\lambda$ , traduciéndose en el plano por coordenadas planas (x,y).

La característica principal de una proyección son sus deformaciones, como consecuencia de la imposibilidad de proyectar una superficie no desarrollable (elipsoide) sobre un plano (mapa). Estas deformaciones son de tres tipos: lineales, superficiales y angulares.

Según las características de estas deformaciones, una proyección puede ser:

- Automecica: conserva las distancias en determinado sentido o dirección.
- Equivalente: conserva la relación de superficie.
- Conforme: conserva los ángulos.

De manera muy esquemática, las transformaciones a seguir en el paso de la superficie terrestre a una superficie plana serían:

**Superficie Terrestre→Geoide→Elipsoide→Proyección Cartográfica**

### 1.2.3.2. Diseño Cartográfico

Es el conjunto de procesos metodológicos que van desde la escala, previamente establecida, hasta la definición de **contenidos y formatos**. Su función es traducir los requerimientos de los usuarios a conceptos técnicos.

Se ocupa de la definición de la **nomenclatura** adecuada a los requerimientos del proyecto y de las **fuentes** de información a utilizar, especificando, de manera rigurosa y exhaustiva, el origen, características y finalidades de los datos.

- **Nomenclatura y Leyenda.** La descripción de aspectos seleccionados del mundo real a partir de un campo de interés determinado es tarea de la nomenclatura. De este modo, los objetos serán identificados, descritos y clasificados. Las nomenclaturas son listados de categorías, es decir, de imágenes y descripciones. Por lo tanto, su tratamiento deberá ser tenido en cuenta en todas las fases que conforman el Sistema Cartográfico de Representación. El Diccionario SELPER, define leyenda, como la “Descripción, explicación, cuadro de símbolos y otra información impresa en un mapa o carta para ayudar a su mejor entendimiento y/o interpretación”. Por consiguiente, la información contenida en un mapa, según una nomenclatura establecida, deberá estar codificada y ser de fácil comprensión para el usuario, para ello el mapa incluirá una **leyenda** con el fin de decodificar y hacer comprensible su contenido interno y externo. Su representación (selección y simbolización) será objeto de la **Redacción Cartográfica**.
  
- **Fuentes.** Su utilización dependerá de la escala de trabajo, del fin del mapa y del tratamiento de la información (contenidos). Las Fuentes de Información, podrán ser:
  - Estadísticas: datos numéricos y alfanuméricos.
  - Descripciones: datos alfanuméricos.
  - Cartográficas: analógica y/o digitales. raster/vector.
  - **Fotogrametría:** datos vectoriales.
  - **Teledetección:** datos raster.
  - Bases de Datos existentes y SIG: raster/vector.



Fig.2.- Plataforma: Landsat. Sensores MSS-TM.



Fig. 3.- Plataforma: Spot. Sensores HRV-XS/P.

**TIPO DE INFORMACIÓN**

TOPOGRÁFICA					TEMÁTICA				
Contenidos					Contenidos				
Temas	Fuente				Temas	Fuente			

<b>Planimetría</b>	P	Gasolinera	Campsa								
	L	Carr. 1º orden	MTN IGN								
	S										
							Bosque	Map. Foresta I DGCO NA			
<b>Altimetría</b>	P										
	L										
	S										

Fig. 4.- Tabla Diseño Cartográfico ( P, L, S = punto, línea y superficie).

## Tipos de Datos

Los elementos de la superficie terrestre que conforman el mundo real, tales como: ríos, edificaciones, bosques, etc., se denominan **Objetos o Entidades**. Son estos elementos los que se van a almacenar y tratar junto con sus **Atributos** (características propias que describen a los objetos: nombre, tamaño, orientación, colores, ...).

Los objetos ocupan una posición absoluta sobre la superficie de la tierra, definida por sus coordenadas, así como, una posición relativa, definida por la relación que tienen con el resto de los objetos. Tienen una forma geométrica y pueden ser representados por un punto (casa), una línea (río), o por un polígono (un bosque).

Los datos estadísticos alfanuméricos presentan problemas de georeferenciación, sin embargo, los datos que se extraen de las dos principales fuentes de información geográfica (los mapas y las imágenes de satélite) son objetos espaciales y se pueden representar y almacenar en el ordenador por medio de dos modos distintos: vectorial o raster.

- **Modo Vectorial.** Proporciona información precisa sobre la forma, tamaño localización y relaciones espaciales de un Objeto. En esta estructura, un objeto tipo punto, por ejemplo, una casa, se almacena como un punto definido por sus coordenadas. Un objeto tipo línea, por ejemplo, un río, se almacena usando la geometría vectorial en la cual las líneas se definen por una magnitud, una dirección (y un sentido). Un objeto tipo polígono, como un bosque, es almacenado como una cadena de segmentos o arcos unidos.
- **Modo Raster.** Los Objetos de la superficie terrestre se describen con una o varias celdas encadenadas que no se superponen ni presentan espacios vacíos entre ellas. La geometría de un Objeto sólo se puede describir por medio de las celdas vecinas que tengan el mismo atributo. Así, el aspecto temático del terreno está directamente unido a la posición del Objeto. Todas las celdas que estén cruzadas por una línea tendrán almacenada información que indica la pertenencia a dicho Objeto (similar valor digital –ND-).

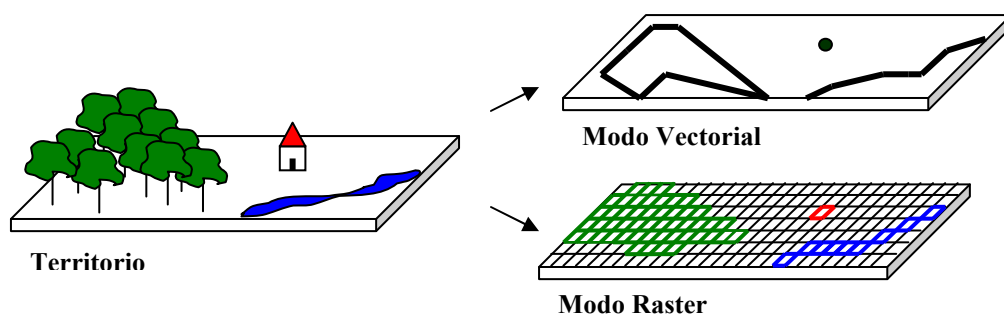


Fig. 5.- Representación del terreno en modo vectorial y raster.

Actualmente es posible la conversión de estructuras en ambos sentidos: de raster a vector y de vector a raster.

## Formatos

En esta fase se definirán los formatos finales de presentación tanto analógicos (dimensiones), como digitales (códigos , estructuras y formatos).

## Niveles de Información

Serán establecidos en forma analógica mediante la definición del número de tintas y en forma digital a través de los pisos independientes de información.

Los niveles de información determinarán, por un lado, la adecuación en las consultas finales y, por otro lado, influirán y afectarán tanto a la Redacción cartográfica, como a los sistemas de consulta.

## Transferencia de la Información

La transferencia y el intercambio de datos (en forma digital), con el fin de preservar el significado de la información original, así como la pérdida de información y la utilización indebida, requieren definiciones generales que suponen acuerdos en cuanto a la definición de estándares de calidad que cubren los siguientes apartados:

- **Historia de los datos.** El conocimiento de la historia de los datos (origen, captura, fechas, etc.) es importante para su adecuada selección y utilización en una aplicación específica.
- **Exactitud de la posición de los datos.** Indica el grado de variación de las posiciones de los datos espaciales con respecto a las verdaderas posiciones en el terreno.
- **Validez de los atributos.** Definida como el valor de los atributos de los objetos con respecto a su valor verdadero.
- **Consistencia lógica.** Se refiere a la fidelidad de las relaciones codificadas con respecto a la estructura de datos definida.
- **Exhaustividad.** Describe la relación entre los Objetos presentes y el universo global de los Objetos.

Existen una serie de herramientas técnicas o estándares para la transferencia internacionales de datos, se trata de dos estándares genéricos de transferencia definidos por la Organización Internacional de Estándares (ISO): la Norma ISO 8211 y la Norma ISO 9735.



### 1.2.3.3. Redacción Cartográfica

La Redacción Cartográfica es sinónimo de sintaxis de la información. Se encarga de la asignación de variables visuales a la interpretación de los datos. Esta fase del Sistema Productivo no altera la geometría del documento cartográfico, como en cambio, puede suceder en la fase de Diseño.

El proceso de Redacción comienza a partir de la tabla final resultante en el proceso de Diseño, donde se han quedado establecidos todos los datos.

La Redacción Cartográfica parte de las siguientes premisas:

- Mantenimiento de la geometría.
- Obtención de instrucciones de trazado.
- Definición de objetos dentro de un marco base de referencia
- Jerarquización de la lectura dentro de un contenido global.
- Carácter evocador dentro de la realidad.
- Mantenimiento entre la diferenciación y el equilibrio visual; la claridad y la legibilidad; el simbolismo y el rigor científico.

La Redacción Cartográfica se basa, tanto en los **tipos de representación** donde predomina el estudio del color, la simbolización, el texto y la toponimia; como en la **normativa existente**.

Una adecuada Redacción Cartográfica facilitará la lectura e interpretación de la información, así como la eficacia en las consultas digitales.

El resultado final de la fase de Redacción es el establecimiento de un fichero vectorial codificado (FVC en Cartografía digital), concordante con la antigua minuta original en Cartografía analógica (en Artes Gráficas se denomina **arte final**, en Cartografía se denomina **minuta final**), y ampliado con los datos de la fase de Redacción (color, símbolo y texto).

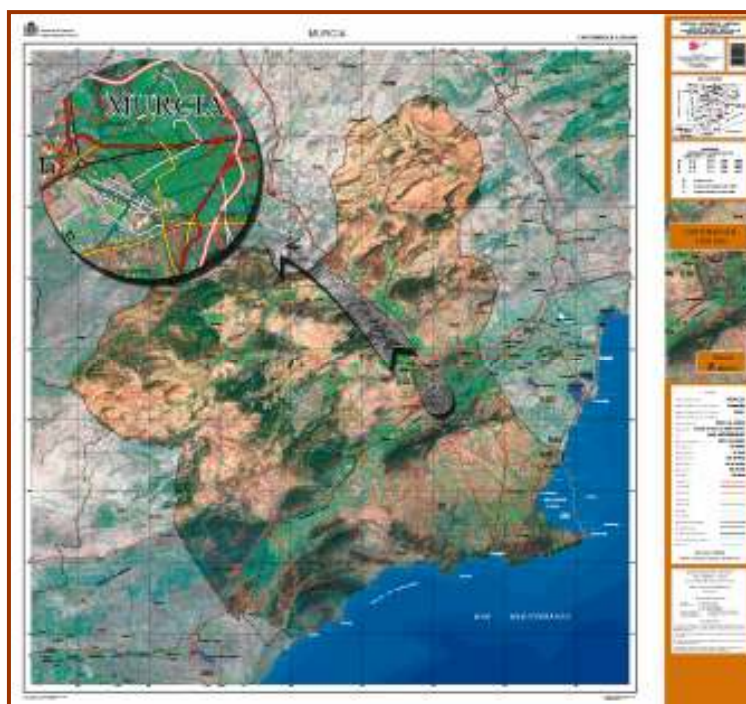


Fig. 6.- Cartoimagen. Producto final diseñado y redactado. IGN-CNIG

## TIPO DE INFORMACIÓN

TOPOGRÁFICA					TEMÁTICA				
Contenidos		Color	Símbolo	Texto	Contenidos		Color	Símbolo	Texto
Temas	Fuente	AMCN	N C P E	Tipo Cuerpo	Temas	Fuente	AMCN	N C P E	C E

<b>Planimetría</b>	P	Gasolina	Campsa	M						
	L	Carr. 1° orden	MTN IGN		28,7,63, 9					
	S									
						Bosque	Map. Forestal DGCO NA	70 A, 50 C		16, 20
<b>Altimetría</b>	P									
	L									
	S									

**Símbolo:** N = Nivel, C = Color, P = Peso, E = Estilo.

**Texto:** C = Cuerpo, E = Estilo

**Color:** A = Amarillo, M = Magenta, C = Cyan, N = Negro

Fig. 7.- Tabla de Diseño y Redacción Cartográfica.

#### 1.2.3.4. Captura de la Información

En este capítulo se analizan brevemente, aquellas ciencias y técnicas de las cuales la Cartografía y los Sistemas de Información se sirven para obtener información que más tarde se plasmará en un mapa o en una base de datos numérica.

Asimismo, tanto la **Fotogrametría como la Teledetección**, objetivo de este texto, se encuadran en este epígrafe. Su ejecución (captura de la información) se realizará una vez definidas previamente todas las fases anteriores.

Podemos citar como ciencias y técnicas más empleadas en el proceso de captura de información, a las siguientes:

- La Topografía. Estudio de instrumentos y métodos para representar la superficie de la Tierra.
- **La Fotogrametría.** Captura de la información detallada de la superficie terrestre mediante la restitución (analítica o digital) de fotografías aéreas obtenidas a partir de un vuelo fotogramétrico.
- **La Teledetección.** Obtención de información digital del territorio, topográfica y temática, mediante un sensor a distancia del objeto, empleando técnicas de TDI (Tratamiento Digital de Imágenes). En esta definición quedaría incluida la Fotogrametría Digital, si bien se ha empleado más dicho término para la información obtenida a partir de satélites artificiales, tanto activos (Radar), como pasivos (barredores multiespectrales).
- Las muestras de campo y las encuestas.
- La bibliografía y los fondos cartográficos existentes.
- Las estadísticas, censos, etcétera.

#### 1.2.3.5. Técnicas Cartográficas

Son todos los procesos que se necesitan realizar para transformar un Fichero Vectorial Codificado (FVC) en el caso cartografía digital o una minuta en cartografía analógica, en unos soportes digitales o analógicos (positivos) que faciliten su posterior reproducción, bien en forma digital o en forma analógica.

- **Procesos analógicos.** Se trata de la aplicación de una serie de operaciones físico-químicas con las que se obtendrán unos positivos finales. Las técnicas empleadas son el insolado y esgrafinado para la obtención de líneas; insolado de material despeliculable, empleo de medios fotomecánicos, obtención de positivos de tramado y de líneas para la obtención de superficies; y pegado de rotulación y simbología por fotocomposición. Así como, la obtención de positivos finales independientes, fase última del proceso. Esta cartografía está prácticamente en desuso.

- **Procesos digitales.** Mediante programas y equipos informáticos (RIP - Raster Image Processing), el fichero vectorial codificado (FVC) en la fase de Redacción se transformará en un fichero raster de trazado (FRT) que conectado a una filmadora o impresora se obtendrán los positivos o el original final. Si la reproducción (transmisión de información) fuese en forma digital habría que adecuar los ficheros digitales a estructuras y formatos susceptibles de ser transmitidos por redes (caso de Internet), para posteriormente o bien visualizarlos mediante navegadores o hacerlos compatibles con ciertos programas existentes en el mercado de libre acceso y soportables sobre cualquier plataforma (Acrobat, lenguajes de marca XML / TML, etc).

### 1.2.3.6. Reproducción de la Información

En forma **analógica** se estudian aquellos procedimientos encargados de la obtención de un número variable de copias del documento original y del cual se han obtenido previamente sus positivos de reproducción.

En forma **digital**, sería asimilable al soporte final digital de distribución de copias (CD-ROM, DVD, etc), en el caso que no fuese directamente la consulta y explotación de la información en la propia red.

Podemos agrupar los sistemas más empleados para la reproducción analógica en:

- **Litografía (Sistemas Offset).** El mapa se obtiene mediante la impresión litográfica (Offset), a partir de unos positivos separados por colores. Actualmente este sistema se sigue utilizando tanto en procesos de cartografía analógica como de cartografía digital, cuando el número de copias a reproducir es elevado.
- **Impresoras (láser, de chorro de tinta, magnetotérmicas, térmicas o magnéticas).** Se emplean cuando el número de copias no es muy elevado.

### 1.3. Sistemas de captura de información a distancia

Los sistemas de captura de información a distancia, son aquellos en los que el objeto del cual se quiere obtener información (carreteras, cultivos, núcleos de población, etc.) no se encuentra en contacto directo con el propio sistema de captura. Son ejemplos característicos de técnicas de captura a distancia, la fotogrametría y la teledetección que se estudian a continuación.

Para definir estos sistemas se hace necesario el estudio previo de aquellos **principios físicos** que rigen dicha captura, así como, los sistemas existentes mas característicos, como son las **plataformas** que transportan los **sensores** encargados de la captura, transformación y almacenamiento o envío de la información a la tierra.

### 1.3.1. Principios y bases físicas de la captura de información a distancia

Los elementos fundamentales de la captura de información a distancia son: la radiación electromagnética, las leyes físicas que actúan en el proceso ( dispersión, absorción, reflexión, etc.), el objeto a capturar y sus propiedades, el sensor y el tipo de registro de la información.

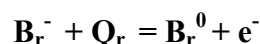
En el siguiente cuadro se muestran las diferencias fundamentales existentes entre los sistemas de captura utilizados en la fotogrametría y en la teledetección.

	FOTOGRAMETRÍA	TELEDETECCIÓN
<b>Plataforma</b>	Avión	Satélite
<b>Sensor</b>	- Cámara métrica analógica (fotográfica)	- Barreadores multiespectrales digitales (radiómetros)
<b>Registro de la Información</b>	- Película fotográfica + Procesos químicos de revelado y fijado	- Transformación y conversión de la información analógica (Q <sub>i</sub> ) en digital + Transmisión a estaciones terrestres de seguimiento y procesado

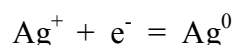
Nota: En un futuro próximo se introducirán en el mercado las cámaras métricas digitales que sustituirán a las actuales cámaras analógicas, acercando aún mas las técnicas empleadas en fotogrametría y teledetección.

En el caso de la **fotogrametría**, el proceso de captura se realiza de acuerdo al procedimiento fotográfico convencional: la energía (radiación electromagnética – Q<sub>i</sub>) reflejada, procedente del Sol, mas la emitida o transmitida por los objetos (en menor cuantía) incide en diferente forma y valor en cada uno de los puntos del territorio y por tanto en la emulsión fotográfica (cristales de bromo Br<sup>-</sup> y plata Ag<sup>+</sup>). Posteriormente se producen mediante las ecuaciones clásicas de revelado y fijado, la obtención de la imagen “copia” del objeto fotografiado.

Las ecuaciones fundamentales que se producen en el proceso de insolación fotográfica son:



Posteriormente los electrones (e<sup>-</sup>) reaccionarán con los cristales de plata para obtener la plata metálica (imagen latente):



Los bromuros de plata no afectados por la radiación son disueltos y la imagen fijada (lavado fotográfico).

Las imágenes fotográficas más empleadas utilizan películas sensibles a la radiación electromagnéticas correspondiente a longitudes de onda que se encuentran entre los 420 nm a 700 nm, que se conoce normalmente como **espectro visible**, dentro del dominio óptico del espectro (películas pancromáticas, B/N y color). En algunas aplicaciones especiales se utilizan películas con diferentes emulsiones sensibles a otras longitudes de onda: pequeña longitud de onda (Rayos X) en medicina o con mayor longitud de onda (infrarrojo) en estudios medioambientales.

La diferencia fundamental entre las imágenes fotográficas y las **imágenes digitales** (imágenes discretizadas en niveles), que posteriormente se abordan, es la de considerar a las primeras como **imágenes continuas**. Este concepto es relativo, debido básicamente a que una imagen fotográfica es continua a escala macroscópica, mientras que a escala molecular (tamaño de los cristales de plata) sería igualmente una imagen

discreta. La sensibilidad de la película nos condicionará unos cristales mas o menos gruesos en función de ser mas o menos sensibles.

Esta sensibilidad estará relacionada con la **resolución** espacial de la película y por tanto con la escala adecuada de trabajo. Cuanto mayor sea la sensibilidad menor será la resolución de la película.

La sensibilidad de la película condicionará, por tanto, la máxima resolución que podría ser escaneada en el proceso de conversión analógico/digital. La resolución de las películas fotográficas se expresan normalmente en **líneas por milímetro o pulgada (lpm - lpp)**.

Las películas fotográficas, especialmente para sensibilidades pequeñas y medias, suelen tener una resolución muy superior a la agudeza visual del ser humano (0,2 mm), lo que evita ser, normalmente, un condicionante en la escala final del documento cartográfico de trabajo.

Para la obtención del color y su posterior reproducción, conviene recordar algunos conceptos básicos.

Sistemas fundamentales de representación de colores:

- **Modelo de color aditivo:** para su obtención se parte del color negro (ausencia de colores primarios) y por adición (en partes iguales) de los colores rojo (R), verde (V) y azul (A) obtendríamos el blanco. Este modelo está basado en las teorías de C. Maxwell desarrolladas en 1861. Este modelo es el empleado en los sistemas que utilizan fuentes de luz (proyectores, monitores, etc.). El modelo aditivo dará origen a las **técnicas multispectrales**.
- **Modelo de color sustractivo:** partiendo del color blanco, vamos “restando colores” añadiendo las tintas básicas fundamentales, amarillo (Y), magenta (M) y cian (C). Esta combinación se conoce como **tricomía**. Las tintas en este contexto actuarían como auténticos filtros de la luz (sustracción), absorbiendo el color complementario y **reflejando** el resto, que al incidir sobre los conos de la parte interna de la retina nos formarían, por adición, el color definitivo. Esta mezcla de tintas puras en partes iguales nos dará, por tanto, el negro. Como es difícil obtener tintas puras, lo que realmente se obtiene es un gris oscuro (falta de contraste), el problema se soluciona añadiendo una nueva tinta, negro (K), a la tricomía anterior. El nuevo modelo se conoce como **cuatricomía**, siendo el sistema normal de reproducción en litografía, así como, en las impresoras que utilizamos en los equipos informáticos. El modelo sustractivo dará origen a las **técnicas multicapa**.

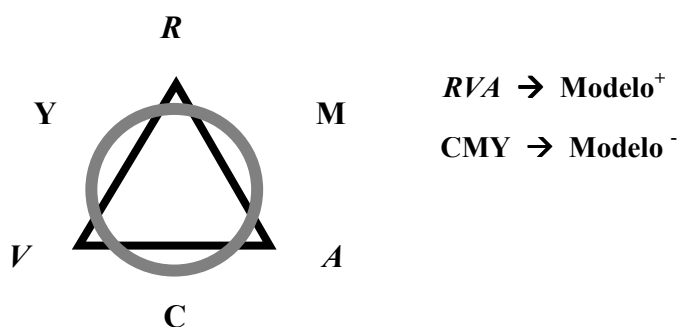


Fig. 8.- Esquema de representación (complementaria) de ambos Modelos

Finalmente conviene resumir la característica fundamental, en la **observación** por parte del ser humano, de los **modelos cromáticos** más empleados:

- En la naturaleza existen mas de 16 millones de colores.
- En los monitores utilizando el modelo aditivo RVA con 8bits por pixel, existen 16 millones de colores.
- En los sistemas de impresión el modelo sustractivo CMYK se emplean menos de 16 millones de colores.

Los modelos cromáticos definirán un **espacio cromático** en el que se desarrollarán los sistemas de **medida del color** con vistas a su manipulación y normalización (Cubo de Hicethier, Triángulo CIE, Cono de Ostwald, Sólido de Munsell, Gama Pantone, etcétera. ).

En el caso de la **teledetección**, los sensores encargados de capturar información del territorio, al igual que en fotogrametría, la reciben en forma de "energía radiante" ( $Q_i$ ) que una vez transformada en formato digital es reenviada a la Tierra para su posterior tratamiento digital.

La transmisión desde el satélite se puede realizar en "tiempo real" a la estación de recepción de la Tierra o en tiempo diferido a satélites de comunicación (TDRS) que posteriormente la transmitirán a la Tierra.



Fig. 9.- Lanzadera espacial.



Fig. 10.- Estación terrestre de seguimiento de satélites.

Esta "energía radiada" en todas direcciones la representaremos por  $Q_i$  y se mide en julios (J).

El proceso de emisión, transmisión y captura de esta energía radiante puede resumirse de la siguiente forma:

- **Emisión.** Todos los cuerpos con temperatura superior a cero grados absoluto ( $0^\circ \text{ K} = -273^\circ \text{ C}$ ) emiten una radiación electromagnética (r.e.) de diferentes longitudes de onda ( $\lambda_i$ ) (Planck). Esta (r.e.) es una forma de transferencia de energía ( $Q_i$ ) en el espacio libre. (Hunt).
- **Transmisión.** La energía se transmite a la velocidad de la luz ( $c = 3,10^8 \text{ m/s}$ ) con movimiento ondulatorio armónico y propiedades de onda y de corpúsculo. Esta  $Q_i$  se verá alterada tanto por atravesar la atmósfera, como en su interacción (reflexión, refracción) con los diversos objetos con los que intercepta.

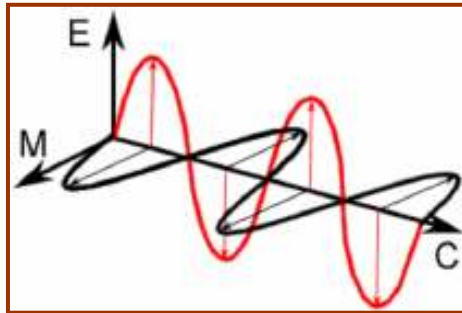


Fig. 11.- Transmisión de la energía en el espacio.

- **Captura.** La energía recibida en el sensor, es por tanto la  $Q_{IT}$  resultante en todos los procesos físicos anteriormente enumerados, por unidad de superficie captada (pixel).

Nota: hoy día, es factible pasar de la fotografía comercial analógica a la digital, mediante conversores adecuados (ADC) – escáner – . Ello dará lugar a la fotogrametría digital con técnicas similares a las empleadas en teledetección.

### 1.3.1.1. Espectro electromagnético

Todos los cuerpos que emiten energía, lo hacen en una sucesión de valores de  $\lambda_i$  en forma continua, emitiendo una mayor cantidad de energía para una determinada  $\lambda_i$  . Esta característica diferencia a unas fuentes de emisión de otras. La diferencia, se debe básicamente a la temperatura de emisión (Ley de Wien).

La sucesión continua de valores  $\lambda_i$  de composición similar es lo que se conoce como **espectro electromagnético** .

El espectro electromagnético se ordena en función de sus longitudes de onda  $\lambda_i$  (bandas), expresándose en  $\mu\text{m}$  las "ondas cortas" (rayos  $\gamma$ , X) y en **cm** o **m** las "ondas largas". Las de mayor longitud se emplean en telecomunicaciones (kilométricas).

La parte del espectro electromagnético que estudia la Teledetección se puede agrupar en:

- **Óptico**

Visible	(0,4 - 0,7 $\mu\text{m}$ )	VIS
Infrarrojo próximo	(0,7 - 1,3 $\mu\text{m}$ )	NIR
Infrarrojo corto	(1,3 - 3 $\mu\text{m}$ )	SWIR
Infrarrojo medio	(3 - 5 $\mu\text{m}$ )	MWIR
Infrarrojo térmico	(6 - 15 $\mu\text{m}$ )	TIR

- **Microondas**

Radares (10 mm - 1m)



### 1.3.1.2. Flujo de la energía y de la información

La energía  $Q_{iT}$ , origen de la información, recibida por el sensor, se puede cuantificar mediante el concepto de "flujo radiante" ( $F_i$ ), que será la energía radiada ( $Q_i$ ) en la unidad de tiempo:

$$F_i = \frac{\Delta Q_{iT}}{\Delta t} \quad \text{se mide en (wattios)}$$

Este flujo será la suma correspondiente a las tres energías radiantes: reflejada, emitida y transmitida, que inciden en el sensor.

Es decir, si:

$$Q_{iT} = Q_{iR} + Q_{iE} + Q_{iTM}$$

Significará, por tanto, que existe un flujo:

$$F_{iT} = F_{iR} + F_{iE} + F_{iTM}$$

Como se puede deducir, la incidencia de estas  $Q_i$  entre los diversos cuerpos terrestres y la atmósfera hace que la  $Q_{iT}$  sea de difícil separación para un objeto o parcela elemental determinada.

Otras formas de cuantificar esta energía son:

■ **Emitancia** (radiancia total emitida):  $M = \frac{\Delta F_i}{\Delta S}$  (watio \*  $m^{-2}$ )

■ **Intensidad radiante**:  $I = \frac{\Delta F_i}{\Delta \Omega}$  (wattios, esteroradian<sup>-1</sup>)

■ **Radiancia espectral**:  $R = \frac{\Delta I}{\Delta S * \Delta \lambda_i} \cos \theta$  (wattios \*  $m^{-2}$  \* est<sup>-1</sup> \*  $\mu m^{-1}$ )

$\theta$  = ángulo de incidencia

S = unidad superficial

Si dividimos el flujo total  $F_{iT}$  por el mismo, obtenemos:

$$1 = \frac{F_{iT}}{F_{iT}} + \frac{F_{iE}}{F_{iT}} + \frac{F_{TM}}{F_{iT}} \Rightarrow 1 = R + A + T$$

Siendo:      R = Reflectividad  
                 A = Absortividad  
                 T = Transmitividad

En un "cuerpo negro" se cumple  $A = 1 \Rightarrow R = T = 0$   
absorbe toda la energía.

Lo normal es que todos los cuerpos absorban una parte de energía (transformándola posteriormente en calor) reflejando el resto. Por lo tanto, se comportan como cuerpos negros parciales.

El flujo de información (de la energía) es en forma esquemática:

- El sol y tierra origen o fuente de información.
- El sensor capta la información en forma de energía radiante.
- La energía radiante es transformada en información digital.
- La transmisión desde el sensor se puede realizar en tiempo real a la estación de seguimiento, o en tiempo diferido a satélites de comunicación (TDRS) que posteriormente transmitirán a la Tierra.

### 1.3.1.3. Leyes físicas de la radiación electromagnética

En este apartado se definirá la energía radiante, así como, el sistema físico que describe el estudio global de la misma (interacción con la atmósfera y con la Tierra).

#### La radiación electromagnética como fuente de energía

Según **Planck** la energía  $Q_i$  de un cuerpo negro (para una determinada temperatura de emisión) es función de la frecuencia de emisión "f" (por tanto de su longitud de onda).

$$Q_i = \hbar \cdot f \quad \text{siendo} \quad \hbar = \text{cte de Planck}$$

(ello implica asimismo, que, tanto el flujo radiante ( $F_i$ ) como la emitancia ( $M_i$ ) dependen de la longitud de onda emitida)

De forma explícita Planck definió la emitancia de un cuerpo negro para una  $\lambda_i$ , como:

$$M_{n,\lambda} = \frac{2\pi\hbar c^2}{\lambda^5} \left[ \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda KT}} - 1} \right]$$

Siendo:

$$\hbar = \text{cte de Planck} = 6,266 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$K = \text{cte de Boltzman} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ ws}^2 \cdot \text{k}^{-1}$$

T = Temperatura absoluta de un cuerpo negro en grados Kelvin

Basándose en esta teoría y de acuerdo a la **Ley de desplazamiento de Wien**, se define la  $\lambda_i$  a la que se emite la máxima cantidad de energía ( $\lambda_{\text{máx.}}$ ) en función de la temperatura del foco emisor:

$$\lambda_{\text{máx}} = A/T$$

Siendo:

$$A = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{°k}$$

T = temperatura en °k

De esta forma, conocida la temperatura de emisión de un objeto podríamos conocer a qué longitud de onda se emite la mayor parte de energía.

Para el caso del Sol (temperatura. de emisión 6000 °k)

$$\Rightarrow \lambda_{\text{máx}} = 0,5 \mu\text{m} \text{ (dominio del verde en el Visible)}$$

Para el caso de la Tierra (temperatura de emisión 300 °k)

$$\Rightarrow \lambda_{\text{máx}} = 9,7 \mu\text{m} \text{ (dominio del Térmico)}$$

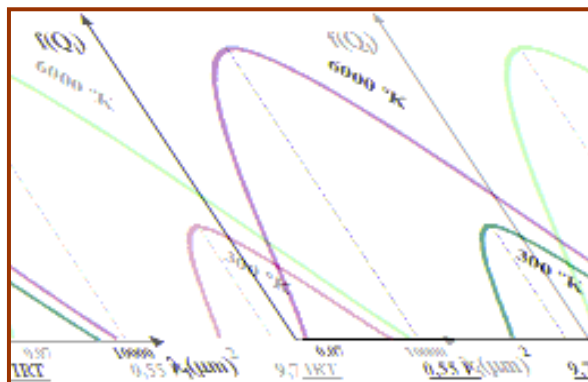


Fig. 12.- Distribución de la energía irradiada por un *cuerpo negro*.

Integrando para todas las longitudes de onda y operando, tendremos:

$$M_n = \sigma \cdot T^4 \quad \text{Ley de Stefan Boltzman}$$

Siendo  $\sigma = \text{cte. de Stefan Boltzman} = 5,6697 \cdot 10^{-8} \text{W.m}^{-2}\text{k}^{-4}$

Esta energía radiante se ha estudiado físicamente teniendo en cuenta que en la misma inciden las leyes del movimiento ondulatorio, a nivel macroscópico (Huygens, Maxwell) y las de la teoría cuántica (unidades discretas de energía = fotón) a nivel microscópico (Planck y Einstein).

Por tanto, trasladándose con **movimiento ondulatorio** armónico y continuo  $f(\lambda, f)$ , se transmite a la velocidad de la luz y está compuesto por dos campos, uno vertical (eléctrico) y otro horizontal (de tipo magnético).

Pudiéndose expresar de la siguiente forma:

$$c(\text{velc.luz}) = \lambda \cdot f$$

Como **unidades discretas de energía** sabemos que la cantidad de energía se expresa por:

$$Q_i = h \cdot f \quad f = \text{frecuencia} = \text{Herzios} = \text{ciclos. s}^{-1}$$

Uniendo ambos principios:

$$Q_i = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

### Conclusiones:

- De acuerdo con la Ley de Stefan Boltzman, las pequeñas modificaciones de temperatura implican grandes modificaciones de Energía ( $Q_i$ ) y Emitancia (M).
- Cuanto mayor es la  $\lambda$  máxima de emisión, menor será la energía  $Q_i$  y mas difícil será su detección por los sensores.

Finalmente en un "**cuerpo real**" la Emitancia (M) será según Kirchoff:

$$M = \varepsilon M_n$$

Siendo  $\varepsilon = \text{factor de emisividad} < 1$

## Propagación de la Energía en la atmósfera

Las fuentes básicas de energía, como ya se ha dicho anteriormente, son el Sol y la Tierra, emitiendo energía a diversas longitudes de onda y según sus diferentes temperaturas.

Esta Energía interacciona con la atmósfera, que está compuesta principalmente por moléculas gaseosas y partículas en suspensión ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2$ , Argón, Vapor de  $\text{H}_2\text{O}$ , etc.).

De todos ellos los que mas afectan a la Energía radiante serán el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$ , vapor de  $\text{H}_2\text{O}$  y el  $\text{O}_2$ , produciéndose dos tipos de fenómenos fundamentales en Teledetección:

### ■ Absorción.

- Implicará una reducción de la energía debido principalmente al  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ .
- En la parte del espectro electromagnético donde exista menor absorción, es donde convendrá diseñar los sensores, conociéndose dichas zonas como **ventanas atmosféricas**

### ■ Dispersión.

- El fenómeno de dispersión producirá sobre la energía incidente el que se "refleje" o "refracte" variando su dirección e intensidad (por tanto una disminución de la misma). Este fenómeno variará en función de la longitud de onda de la radiación incidente y del tamaño de la partícula (básicamente los aerosoles y el vapor de agua).

Los tipos de dispersión se pueden clasificar de la forma siguiente:

- **Dispersión Rayleigh.** La  $\lambda_i$  es mucho mayor que el tamaño de las partículas (cielo azul).
- **Dispersión de Mie.** La  $\lambda_i$  es similar al tamaño de partícula (brumas).
- **Dispersión no selectiva.** La  $\lambda_i$  es menor que el tamaño de la partícula (nubes blancas). Esta última es la de mayor incidencia y se evita estudiando el momento y la zona del espectro adecuados para su captura y registro por el sensor correspondiente.

### Conclusiones:

- Los fenómenos físicos que afectan a la Energía a su paso por la atmósfera van a significar una reducción de la misma (coeficiente de atenuación de la información).
- Esta incidencia (atenuación) será mayor cuanto menor sea la longitud de onda.

## Interacción de la Energía radiante con la superficie terrestre

Este proceso dependerá principalmente de la composición, estructura y emplazamiento de los materiales de la superficie terrestre, de la geometría de la observación (foco emisor, ángulo de incidencia, etc.) y de la longitud de onda incidente.

Todo ello implica que la Energía incidente puede ser:

- **Reflejada.** En forma especular o en todas las direcciones (difusa).
- **Absorbida.** Que posteriormente parte se transformará en Energía emitida.
- **Transmitida.** Energía geotérmica de la propia Tierra.

Para cuantificar esta interacción y, por tanto, la **reducción de energía** correspondiente, se han definido las siguientes relaciones:

**Albedo** (coeficiente de reflexión) =  $\frac{\text{Energía reflejada}}{\text{unidad de superficie}}$  ; expresado en %

**Reflectancia espectral** =  $\frac{\text{Energía reflejada } (\lambda_i)}{\text{Energía incidente } (\lambda_i)} * 100$

### Conclusiones:

- Se podrían obtener diferentes valores de Energía con igual reflectividad si varían las condiciones geométricas de observación.
- Las variaciones estacionales pueden dar valores de energía diferentes a pesar de la igualdad del resto de condicionantes.
- El proceso de correlación entre Energía y objetos a estudiar es compleja.

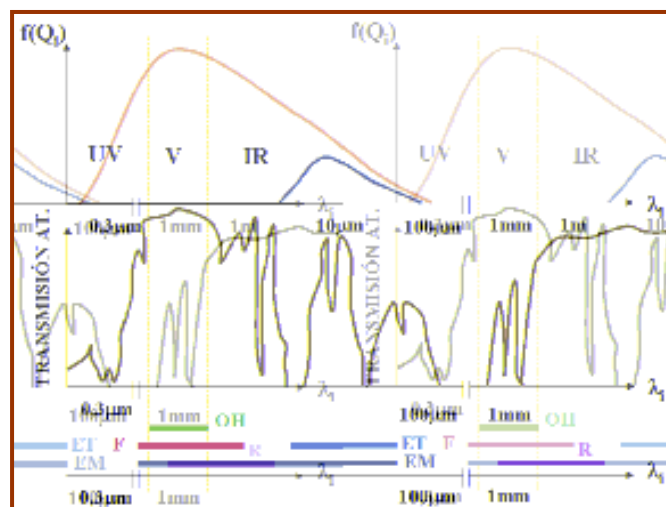


Fig. 13.- Caracterización espectral de la energía. Transmisión atmosférica. Sensores: OH (Ojo Humano); F (Cámara Fotogramétrica); ET, EM (Radiómetros); R (Radar).

#### 1.3.1.4. Signatura espectral. Caracterización espectral de las diferentes coberturas terrestres

La Energía emitida, reflejada o transmitida a las diferentes longitudes de onda por cada objeto es lo que identificará, en principio, a cada objeto y se conoce como **signatura espectral**.

Esta correspondencia objeto/signatura no es constante ni homogénea y puede variar por todos los fenómenos de interacción estudiados anteriormente, si bien se puede considerar que "a priori" el conocimiento general de estas "signaturas" para diferentes objetos o cubiertas del territorio, será útil para una adecuada selección de bandas (partes del espectro electromagnético).

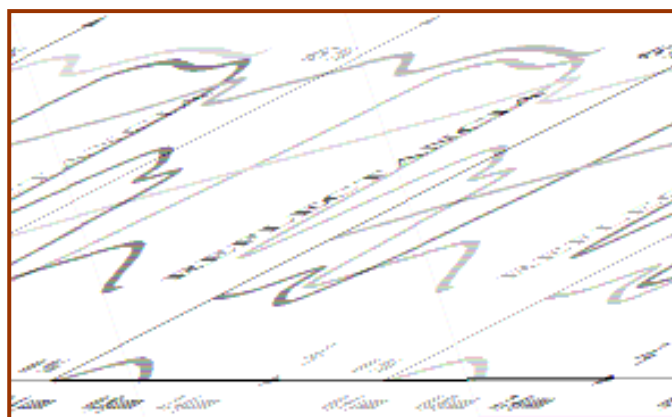


Fig. 14.- Signaturas espectrales.

#### Caracterización espectral de la vegetación

La reflectancia de la vegetación en la parte del **espectro "óptico"**, tiene unas zonas típicas de absorción de la energía (lo que implica menor reflectancia) por las siguientes causas:

- Absorción debida a la clorofila: 0,4 y 0,6  $\mu\text{m}$
- Absorción por el H<sub>2</sub>O: 1,4 - 1,9 y 2,8  $\mu\text{m}$ .

El máximo de reflectancia se encuentra entre 0,7 y 1,4  $\mu\text{m}$  debido a la estructura celular interna de la hoja siendo ello un indicador del vigor vegetativo y de su morfología. Por lo tanto, dicho intervalo nos ayudará a clasificar la vegetación.

En cuanto a la zona del "infrarrojo térmico", servirá para detectar cambios de temperatura en las superficies cubiertas de vegetación, indicando dichas variaciones ciertas características de la vegetación:

- La evapotranspiración, al liberar calor, implica una pérdida de temperatura.
- La función clorofílica absorbe Energía térmica por lo que habrá una menor reflectancia.

- Para compensar el balance energético, la vegetación emite mayor temperatura por la noche, por lo que un sensor térmico podría captar dicha radiación en ese intervalo de tiempo.

La radiación electromagnética en la "**zona de microondas**" emitida por "sensores activos" tiene una gran respuesta en la vegetación dependiendo fundamentalmente de la "rugosidad" de la cobertura, siendo función de las condiciones morfológicas y de la orientación de las mismas.

### **Caracterización espectral del suelo**

En los suelos cubiertos de vegetación, su evaluación vendrá estudiada por la respuesta de dicha cubierta vegetal.

En cambio, en suelos desnudos, la mayor incidencia dependerá de factores internos como son: textura, estructura y su composición química, así como también del contenido de agua.

En la parte del espectro "óptico", la reflectividad va aumentando a medida que aumenta la longitud de onda (con dos puntos de absorción debidos al contenido de agua, en 1,4 y 1,9  $\mu\text{m}$ ).

En general, la materia orgánica reduce la reflectividad (mayor capacidad de absorción).

La humedad absorbe las radiaciones mas largas de longitudes de onda.

En zonas del "IR térmico" el contenido humedad actúa con una mayor variación térmica, lo que permitirá detectar suelos encharcados.

En la zona de "microondas" se puede decir que el agua tiene un poder de retorno bajo, por lo que la imagen aparecerá oscura.

En suelos secos no solamente existe un fenómeno de retrodifusión fuerte (tonos claros de imagen) si no que existe la posibilidad de detectar estructuras a varios metros de profundidad por la capacidad de penetración de las longitudes de ondas largas.

### **Caracterización espectral del agua**

Todos los fenómenos de absorción y transmisión de Energía se producen en el espectro "visible", teniendo, no obstante, una pequeña reflectancia en comparación con el suelo y la vegetación.

Si el agua se encuentra a escasa profundidad la reflectancia es mayor.

El contenido de materias en suspensión aumenta la reflectancia especialmente en el azul y el verde.

El agua en la parte de "microondas" tiene una capacidad de retorno baja, lo que implicará imágenes oscuras en esa parte del espectro electromagnético.



### 1.3.2. Plataformas y sensores

Un **sensor** es el instrumento encargado de la captura, registro y almacenamiento de la información territorial en forma de energía radiante –  $Q_i$  – o radioeléctrica (radar).

El mismo sensor, en los casos en que su registro sea digital, llevará incorporado los sistemas de transformación de información analógica (energía) en digital (convertidores analógicos /digitales).

Los sensores son transportados sobre diversas **plataformas**, dependiendo de la finalidad de la misión espacial. Sobre la misma, incorporan no solo los sensores correspondientes, si no también los instrumentos necesarios en cada misión (sistemas de posicionamiento espacial–GPS-, sistemas inerciales para la medida de ángulos del eje del sensor en el espacio , sistemas de comunicación, etc.).

Como ya se ha indicado, en los sistemas de captura de las información a distancia, se hace necesario poner la plataforma/sensor a la distancia adecuada de la Tierra para el posterior registro de la información. En el caso de la **fotogrametría**, esto se realiza de forma autónoma, donde es la propia plataforma (avión) la que consigue dicho posicionamiento solo con adquirir la altura (normalmente menor de 10 km) y la orientación planificada en el espacio. En el caso de la **teledetección**, dicha plataforma/sensor se posiciona en su órbita espacial adecuada (para satélites de observación de la Tierra la mayoría se encuentran entre los 200 – 40.000 km), mediante la utilización de **lanzaderas** espaciales (Ariane, Géminis, Apolo, Europa, SpaceShuttle, etc.).

Dichos sensores, de acuerdo con el siguiente cuadro, se pueden clasificar para su estudio, en función tanto de la capacidad o no de obtener imágenes del territorio, como de la parte del espectro electromagnético (longitud de onda) que registren:

<b>CAPTURA DE INFORMACIÓN: SENSORES</b>
<b>FORMADORES DE IMAGEN</b>
<u>ACTIVOS</u> <i>(ELECTRÓNICOS)</i>
- <b>RADAR</b>
- SAR (SYNTETHIC APERTURE RADAR)
- SLAR (SIDE LOOKING AIRBORNE RADAR)
<u>PASIVOS</u> <i>(ÓPTICOS)</i>
- <b>OJO HUMANO</b>
- <b>CÁMARA FOTOGAMÉTRICA</b>
- <b>CÁMARA DE TELEVISIÓN</b>
<i>(ELECTROÓPTICOS)</i>
- <b>RADIÓMETROS (BARREDORES MULTIESPECTRALES):</b>
- MECÁNICOS (DETECTORES SÓLIDOS)
- ELECTRÓNICOS (CCD)
- <b>RADARES PASIVOS</b>
<b>NO FORMADORES DE IMAGEN</b>
<u>ACTIVOS</u>
- <b>LASER</b>
- <b>RÁDARES ALTIMÉTRICOS</b>
- <b>DISPERSÓMETROS</b>
<u>PASIVOS</u>
- <b>RADIÓMETROS TÉRMICO</b>

Hay que destacar que tanto la energía radiante almacenada en cada pixel en forma digital (correspondiente a una determinada resolución espacial sobre el terreno), como el volumen (Mbytes) de información capturado por escena, se realizará de forma distinta según la tecnología aplicada.

Por ello, se revisan a continuación los dos tipos de sensores mas empleados en teledetección:

- **Sensores activos.** La resolución espacial será función del **ancho de haz** emitido por el sensor y del ángulo de incidencia sobre el terreno. El volumen de información será función asimismo del **ancho del barrido** lateral, programable según las necesidades requeridas.

- **Sensores pasivos.** La resolución espacial es función del campo de visión instantánea -  $\alpha$  - (IFOV). El volumen de información será función del ángulo total de observación -  $\beta$  - (FOV).

A continuación, se describirán las características de los sensores “formadores de imágenes” más importantes hoy día en el mercado, según su utilidad y accesibilidad.

Los sensores no formadores de imágenes, fundamentalmente nos proporcionan datos discontinuos del terreno, que serán de utilidad como entrada básica para estudios específicos (modelos) medioambientales (alturas, temperaturas, composición atmosférica, etc.) entre otros estudios del medio físico.

### 1.3.2.1. Sensores activos formadores de imágenes

Se definen como sensores **activos**, aquellos que la energía que se capta y registra es la correspondiente a la emitida por el propio sensor, normalmente en la zona de las microondas (longitudes mayores de 1 cm) y a una frecuencia determinada.

Como sensores activos formadores de imágenes que actualmente existen en el mercado caben destacar los siguientes:

- ERS (Earth Resource Satellite). Unión Europea.
- RADARSAT. Canadá, USA.
- JERS (Japanese Earth Resource Satellite). Japón.

Todos ellos captan información en la zona de las microondas y utilizan tecnología radar. Los **radares de apertura sintética** (SAR) utilizan el propio movimiento del satélite y tecnología Doppler (cambios de frecuencia en la emisión de los pulsos eléctricos) para **sintetizar** la gran antena necesaria en la adquisición de imágenes de alta resolución espacial. Ello es debido a que en esas grandes longitudes de onda ( $> 1$  cm) de emisión, para captar su energía se necesitaría o bien unidades espaciales (píxeles) muy grandes (varios kilómetros) o antenas de gran tamaño. La solución es obtener una antena sintética, simulando grandes dimensiones, como se ha indicado anteriormente.

Asimismo, la gran ventaja de la tecnología radar es que al utilizar energía de gran longitud de onda, la penetración atmosférica no está condicionada por unas “ventanas” tan rígidas como sucede en el caso del espectro “óptico” y puede registrar información sin tener en cuenta las condiciones atmosféricas de la Tierra.

Una imagen radar, comprende una única banda espectral, que se corresponde con la relación de la energía emitida por el sensor y la reflejada directamente en la Tierra y captada posteriormente por el sensor. Esto se conoce como **retrodispersión**.

La retrodispersión de una zona determinada depende de: la topografía, rugosidad y propiedades dieléctricas del terreno (contenido de humedad) y del ángulo de incidencia (relación angular entre la dirección del haz y la vertical del lugar en la superficie del terreno). Valores digitales bajos ( $ND \cong 0$ ), corresponde a tonos oscuros.

■ **Radiometría radar.**

Las imágenes radar proporcionan una valiosa información del territorio en la zona de las microondas, siendo de gran utilidad en los estudios geológicos, agrícolas-forestales, cartográficos, etc. Una característica general de estas imágenes es que las zonas húmedas, por un bajo nivel de retrodispersión, serán zonas oscuras y las zonas urbanas, esencialmente brillantes por el incremento de energía reflejada por las propias construcciones (actúan como meros reflectores).

■ **Geometría radar.**

Debido tanto al propio sistema de captura como a la forma de la Tierra, no se puede registrar, sin distorsión, la superficie de la misma. Como el sensor mide el retardo entre la transmisión y recepción de cada pulso eléctrico, ello implica que existan, en un instante dado, **inversiones** en el registro de cada pulso según se produzca el retorno desde la cima o desde la base de una montaña (fenómenos de “escorzo” e “inversión” de datos).

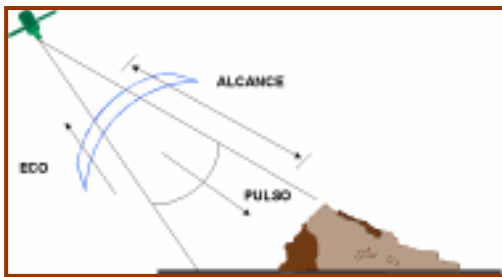


Fig. 15.- Sistema radar.

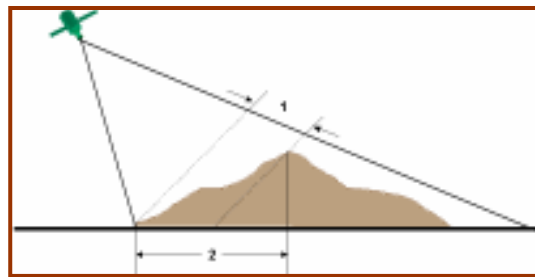


Fig. 16.- Escorzo.

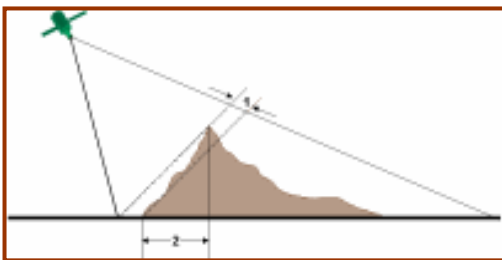


Fig. 17.- Inversión por relieve.

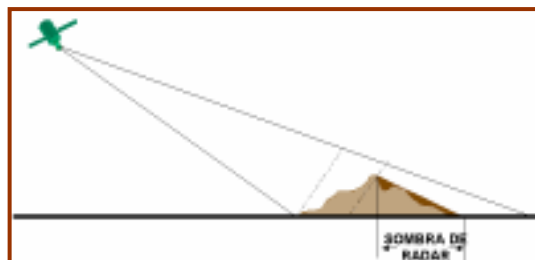


Fig. 18.- Sombra.

Asimismo, se pueden producir **sombras** (zonas no registradas) en las zonas ocultas a la radiación emitida.



Fig. 19.- Imagen Radarsat de Tenerife

### 1.3.2.2. Sensores pasivos formadores de imágenes

En los sensores **pasivos**, la energía que se capta y registra, es la correspondiente a la emitida por el Sol fundamentalmente y reflejada por los objetos sobre la Tierra. Se registra, de acuerdo a las correspondientes partes del espectro electromagnético, desde  $0,4 \mu\text{m}$  (VIS) hasta las zonas de mayor longitud de onda dentro del óptico,  $15 \mu\text{m}$  (TIR). Es necesario que en las zonas espectrales a registrar existan las **ventanas atmosféricas** adecuadas para que la atenuación de la energía radiante sea la menor posible (ruido atmosférico).

Estos sensores son los que actualmente ofrecen un mayor número de imágenes de la Tierra con diversas resoluciones espaciales (desde 1m hasta 1 km), espectrales (de  $0,4$  hasta  $15 \mu\text{m}$ ) y radiométricas (de 6 hasta 12 bits/pixel), así como, un gran número de coberturas en diferentes fechas (lo que posibilita el análisis de detección de cambios).

El origen de estos sistemas se encuentra en la fotografía aérea, cuyo precursor se puede considerar a Gaspar Félix de Tournachon en 1858, que desde un globo aerostático captó imágenes fotográficas del terreno. Continuada con las diversas tomas fotográficas que desde aviones se realizaron con cámaras fotogramétricas y fines militares a lo largo de todo el siglo XX. Por este motivo, se puede considerar a la fotogrametría como la tecnología precursora de los sistemas espaciales de observación de la Tierra.

La **cámara fotogramétrica** es el sistema actual analógico más empleado en la observación “**métrica**” de la Tierra. Dicho sistema se encuadra dentro de los sensores pasivos formadores de imágenes, cuyo sistema de observación se realiza mediante dispositivos ópticos.

La cámara fotogramétrica sería el sensor que registra la información ( $Q_i$ ) sobre una película fotográfica con una emulsión dada. La plataforma sería, como ya se ha indicado, el propio avión.

Dentro de los sensores pasivos formadores de imagen, sistemas que utilizan tecnología electroóptica, se encuentran los “**radiómetros**” (mecánicos o electrónicos), que son barredores multispectrales que registran la energía radiante ( $Q_i$ ) en diversas partes del espectro electromagnético.

Los radiómetros son los sensores más empleados para el análisis cualitativo y cuantitativo en estudios medioambientales. Constan fundamentalmente de un “**espectrómetro**” que se encarga de registrar la energía separándola según bandas ( $\lambda_i$ ) y un “**convertidor**” de la señal analógica (señal eléctrica) en digital (imagen binaria) y posterior codificación.

Los dos tipos más característicos de radiómetros existentes son:

■ **Radiómetros mecánicos (detectores sólidos).**

El ejemplo más característico son los empleados por las plataformas Landsat: Thematic Mapper (TM) y Multispectral Scanner (MSS).

Dicho tipo de radiómetros constan de :

- Espejo oscilante (barredor) normal a la traza del satélite.
- Un número determinado de detectores/banda (espectrómetro).
- Convertidor analógico/digital compuesto por:
  - Muestreador en función del ángulo unitario IFOV.
  - Codificador en f(número de bits/pixel).

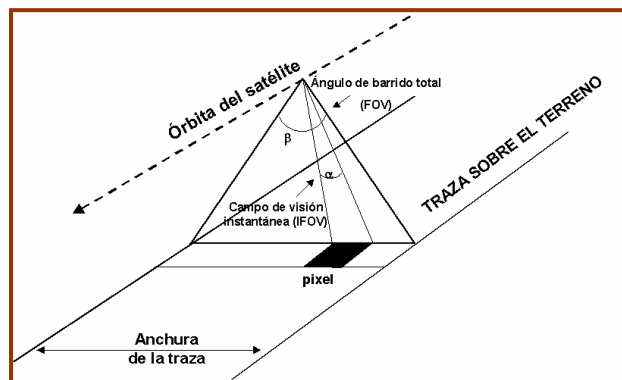


Fig. 20.- Radiómetro mecánico.

El IFOV ( $\equiv$  resolución espacial) registrará unidades mínimas de muestreo que se llaman pixeles (s).

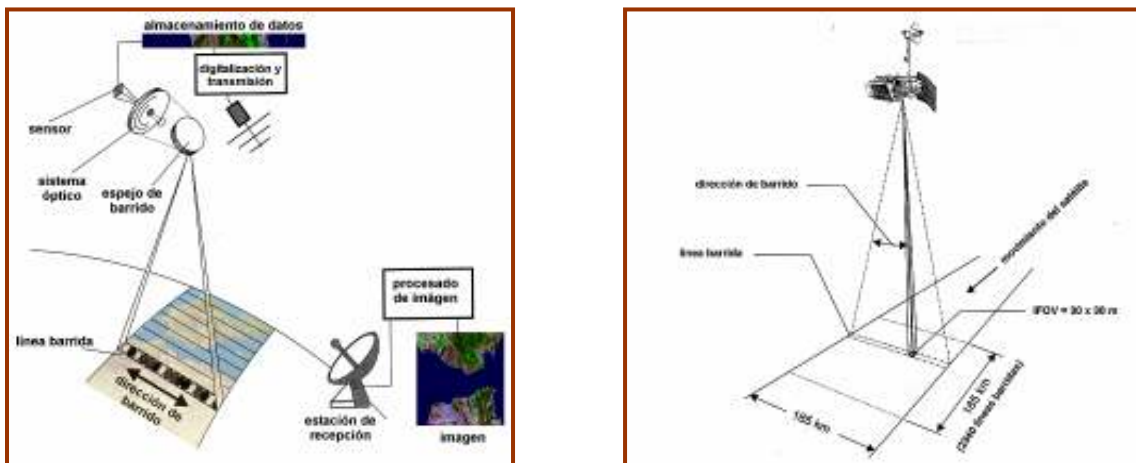


Fig. 21.- Sistema de captura mediante radiómetro mecánico.

### ■ Radiómetros electrónicos (CCD).

Es el sistema empleado por el sensor HRV (High Resolution Visible) de las plataformas SPOT. En este caso, la captura se realiza mediante sistemas de transferencia de carga (CCD), barras estáticas que alojan miles de detectores en dirección perpendicular a la traza del satélite. Las plataformas SPOT tiene dos modos de captar la información de manera simultánea:

- Pancromático (en la parte del visible del espectro electromagnético).
- Multiespectral (3 zonas del IR).

En este caso, el IFOV y el volumen de información es función del número de detectores existentes en la barra portadora. Abatiendo (girando unos ángulos predeterminados) los sensores, se pueden capturar información estereoscópica del terreno, que posibilitarán la obtención de altimetría.

Los programas de observación de la Tierra desde satélites artificiales se pueden considerar que tienen su inicio en 1972 con el programa ERTS (Earth Resources Technology Satellites), que posteriormente, coincidiendo con el lanzamiento del segundo satélite Landsat-2 en 1975, se rebautizó con el nombre de Landsat-1. Desde 1999, la serie se ha completado con el Landsat-7, cuyas características generales son similares a los de la primera serie, pero con grandes mejoras en su aspecto espacial, radiométrico y espectral.

Un gran hito en el mundo de la teledetección se produjo en 1986 con el lanzamiento del satélite SPOT-1 (Système Pour l'Observation de la Terre) cuya resolución (10m), su sistema de observación (electrónica – CCD) y su capacidad estereoscópica, revolucionó la observación periódica de la Tierra.

Actualmente, la tecnología nos proporciona imágenes de gran resolución espacial (1m Ikonos), estereoscópica (SPOT, Ikonos) e hiperspectral (gran número de bandas).

### 1.3.2.3. Satélites de observación de la Tierra

Según el tipo de órbita, los satélites se pueden clasificar en:

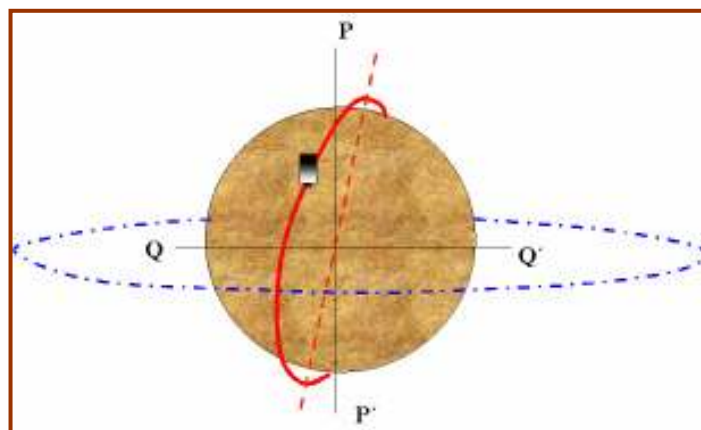


Fig. 22.- Tipos de órbita: geostacionaria y polar.

■ **Geoestacionarios( geosíncronos)**

Son aquellos que por su altura (36.000 km) y período orbital (igual a la velocidad de rotación de la Tierra), consiguen que su apariencia sobre la superficie terrestre (horizonte del lugar) parezca fija.

Estas órbitas son ecuatoriales y proporcionan observaciones de gran repetitividad y baja resolución espacial (píxeles aproximados al kilómetro).

Son ejemplos los satélites meteorológicos existentes: ATS (Applications Technology Satellite), GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), METEOSAT, ...

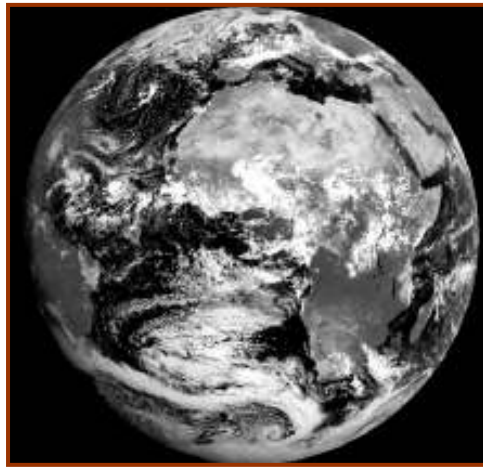


Fig. 23.- Imagen Meteosat de África y sur de Europa.

■ **Polares (heliosíncronos)**

Se consideran sincronizados con el Sol, dado que la relación angular entre el Sol y el plano orbital del satélite es constante. Esto implica que el paso del satélite (sensor) por un punto de la superficie terrestre se realiza a la misma hora solar. Las órbitas descritas suelen ser circumpolares con dirección Norte-Sur, alturas próximas a los 1.000 km y períodos pequeños (< 2 h). Propician mayores resoluciones espaciales (< 100 m de tamaño de píxel). Los satélites característicos de esta serie, tanto activos como pasivos, son: Landsat, SPOT, IRS-C, ERS, JERS, Radarsat, ...

■ **Órbita general**

Se proyectan para fines concretos(atmosféricos, oceánicos, etc.) a alturas e inclinaciones orbitales específicas diferentes de los descritos anteriormente. Es un ejemplo característico la serie Seasat (con fines oceánicos) de los Estados Unidos.

A continuación se describen las características más relevantes de aquellos satélites artificiales existentes de observación de la Tierra, tanto con fines cartográficos, como medioambientales.



### Sistemas Activos de Microondas

Sensor	Plataforma	Rango Espectral	Número de bandas	Resolución m	Tamaño Imagen km	Ciclo de repetición	Periodo de cobertura	Fecha de lanzamiento
AMI-SAR	ERS 1 ERS 2	C-BND-VV	1	25m	100km	35 días	16 días	1991 1995
SAR	RADARSAT	C-BND-HH	1	6 a 28 m	50 a 150 km	24 días	2-5 días (0°Lat) 1-1.5 días (50°Lat)	1995
ASAR	ENVISAT	BND	2	30 a 150 m	56 a 406 km	35 días	3 días	

### Sensores Ópticos de Alta Resolución

Sensor	Plataforma	Rango Espectral	Número de bandas	Resolución	Tamaño Imagen km	Ciclo de repetición	Periodo de cobertura	Fecha de lanzamiento
TM	Landsat 4,5	VIS, NIR SWIR TIR	4 2 1	30 m 30 m 120 m	183 km	16 días	16 días (0° Lat) 8 días (60° Lat)	10982/84
MSS	Landsat 4,5	VIS NIR	4	79 m	185 km	16 días		1982/84
ASTER	EOS-AM1	VIS, NIR SWIR TIR	3 6 5	15 m 30 m 90 m	60 km		16 días	1998
ETM	Landsat 7	VIS, NIR SWIR TIR	4 + 1 2 1	30/15 m 30 m 60 m	183 km	16 días	8 días (60° Lat)	1999
LISS-III	IRS-1C IRS-1D	VIS, NIR SWIR	3 1	23.5 m 70.8 m	142 km 148 km	24 días	5 días	1996 1997
PAN	IRS-1C IRS-1D	VIS	1	5.8 m	70.5 km	24 días	5 días	1996 1997
HRV-XS	SPOT 1-3	VIS NIR	3	20 m	60 km	26 días	2.4 días(Lat. media)	1986
HRV-P	SPOT 1-3	PAN	1	10 m	60 km	26 días	2.4 días(Lat. media)	1986
HRV-XI	SPOT 4	VIS, NIR SWIR	3 1	20 m	60 km	26 días	2.4 días(Lat. media)	1998
HRV-P	SPOT 4	PAN	1	10 m	60 km	26 días	2.4 días(Lat. media)	1998
KVR-1000	KOSMOS	PAN	1	2-3 m	40 x 40 km <sup>2</sup>			1984
TK-350	KOSMOS	PAN	1	10 m	200 x 300 km <sup>2</sup>			1981
Carterra	Ikonos 1	PAN VIS, NIR	1 4	1 m 4 m	11 km		1 día (con Ikonos 2)	1999

### Sensores Ópticos de Resolución Media

Sensor	Plataforma	Rango Espectral	Número de bandas	Resolución m	Tamaño Imagen km	Ciclo de repetición	Periodo de cobertura	Fecha de lanzamiento
WiFS	IRS-1C IRS-1D	VIS NIR	2	188.3 m	810 km	16 días	5 días	1996 1997
AVHRR	NOAA-POES 9-14	VIS, NIR MWIR TIR	2 1 2	1100 m	2400 km		12 horas	1982
AVHRR/3	NOAA-K(15)	VIS, NIR SWIR, MWIR TIR	2 2 2	1100 m	3000 km		12 horas	1998
MSU-SK	Resurs-01 #3	VIS, NIR TIR	4 1	170 m 600 m	600 km	14 días	4 días (0°Lat) 2 días (50°Lat)	1994
MSU-SK1	Resurs-01 #4	VIS, NIR SWIR TIR	4 1 1	225 m 810 m 810 m	714 km	16 días		Julio 1998
MODIS	EOS-AM!/PM!	VIS NIR SWIR TIR	36	250-1000m	2330 km		< 2 días	Fin 1998
MERIS	ENVISAT-1	VIS NIR	15	300 m (1200 m)	1150 km		- 3 días	



Fig. 24.- Satélite Ikonos.



Fig.25.- Imagen del satélite Ikonos ( 1m de resolución). Spaceimaging.