

# Tema 1

## Fundamentos físicos de la teledetección

### 1.1 La radiación electromagnética

Dada la importancia que la radiación electromagnética tiene como transmisor de información en todas las formas de teledetección, es necesario hacer un estudio de la misma y sus propiedades. La radiación es una de las tres formas de transmisión de energía en la naturaleza (conducción, convección y radiación) siendo la única que se transmite sin contacto material entre el emisor y el receptor. La energía se expresa en Julios ( $J$ ), por tanto la transferencia o flujo de energía se expresa por unidad de área ( $J/m^2$ ), por unidad de tiempo ( $J/s = W$ ) o por unidad de tiempo y área ( $W/m^2$ ). La naturaleza de la radiación electromagnética puede ser explicada a partir de dos modelos aparentemente contradictorios y en el fondo complementarios: el modelo de onda y el de partícula.

#### 1.1.1 Modelo de onda

Desarrollado por Huygens y Maxwell entre otros. Se asume que la radiación se produce como resultado de oscilaciones en los campos eléctrico y magnético en las inmediaciones de los objetos. Estas oscilaciones generan ondas que contienen 2 campos de fuerzas ortogonales entre sí, eléctrico y magnético, y transmiten la energía. Al ser ondas pueden definirse por una serie de parámetros:

- Longitud  $\lambda$  o distancia entre dos picos de onda (se mide en  $\mu m$ , es decir  $10^{-6}$  metros)
- Frecuencia  $\nu$  o tiempo transcurrido entre el paso de dos picos de onda, se mide en  $s^{-1}$  o hercios

El producto de ambos es la velocidad de la luz  $c = \lambda\nu = 3 \times 10^8 m/s$  que es constante, por tanto si aumenta  $\lambda$  debe disminuir  $\nu$  y viceversa.

Región	Rango de longitudes
Rayos $\gamma$	$< 0.03nm$
Rayos X	$0.03nm - 3nm$
Ultravioleta	$3nm - 0.3\mu$
Visible	$0.3\mu - 0.7\mu$
Infrarrojo	$0.7\mu - 300\mu$
Microondas	$300\mu - 20cm$
Radio-TV	$> 200cm$

Tabla 1.1: Regiones del espectro electromagnético

### 1.1.2 Modelo de partícula

Desarrollado por Planck y Einstein entre otros. Se asume que la energía viaja como un flujo de partículas, los fotones. La energía transportada por cada fotón ( $Q$ ) depende del objeto que emite la radiación.

Ambos modelos se relacionan mediante la ecuación:

$$Q = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.1)$$

donde  $h$  es la constante de Planck ( $6.626 \times 10^{-34} Js$ ). La ecuación 1.1 implica que a menor longitud de onda mayor es la energía transportada por la radiación y, por tanto, más peligrosa.

### 1.1.3 El espectro electromagnético

El conjunto de las longitudes de onda que puede adoptar la radiación se denomina espectro electromagnético (figura 1.1 y tabla 1.1.3). Por razones prácticas se suele dividir en una serie de regiones debido a que las longitudes de onda dentro de esas regiones presentan cierta homogeneidad en determinados aspectos. Los límites de que se han fijado a esas regiones son aproximados y varían de unos autores a otros, existiendo además superposiciones entre regiones contiguas

Cada una de estas regiones se divide además en categorías adicionales. La luz visible suele dividirse en azul ( $0.4 - 0.5\mu$ ), verde ( $0.5 - 0.6\mu$ ) y rojo ( $0.6 - 0.7\mu$ ) aunque en la realidad se presenta un continuo de colores. La radiación infrarroja se divide en infrarrojo próximo ( $0.7 - 1.3\mu$ ), infrarrojo medio ( $1.3 - 8\mu$ ) e infrarrojo térmico ( $8 - 14\mu$ ). El primero es aquel en el que la radiación solar tiene más importancia que la terrestre; el último aquel en el que la radiación terrestre debida al calor de la Tierra, de ahí el nombre, tiene más importancia que la solar; finalmente el infrarrojo térmico corresponde a una zona de solapamiento (figura 1.4).

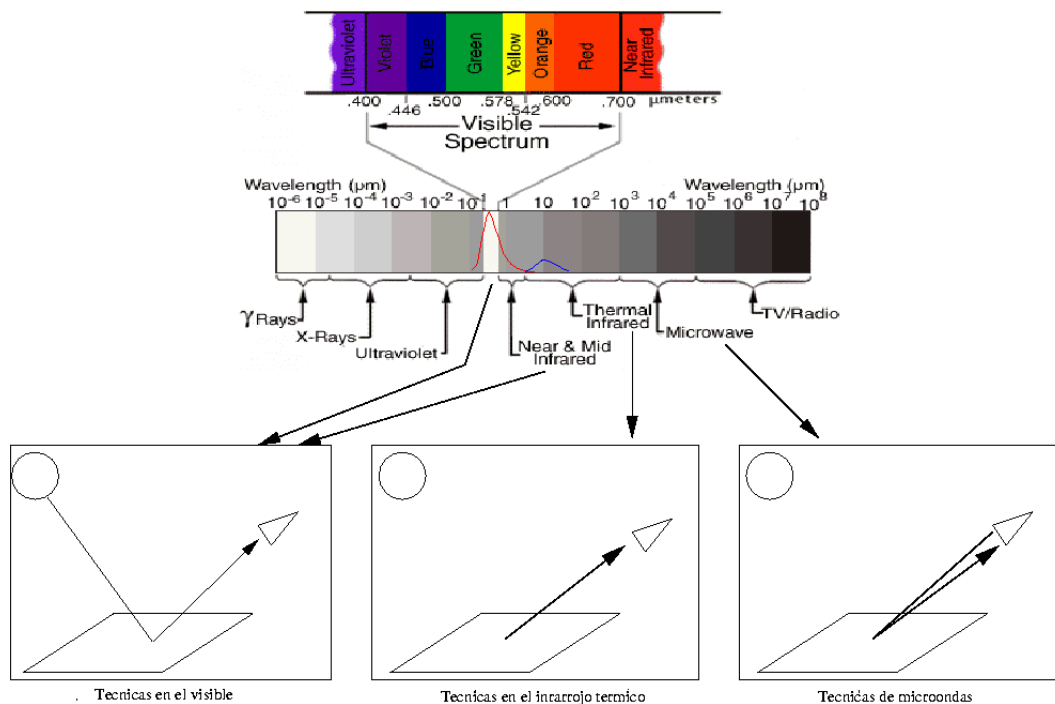


Figura 1.1: Espectro electromagnético y técnicas de teledetección

## 1.2 Terminología

- **Campo radiativo.** es el campo electromagnético transportado por las ondas entre el emisor y el receptor. La energía asociada con la onda electromagnética se denomina energía radiante.
- **Emisividad,  $\epsilon$ .** Las leyes de Planck, Stefan y Wien (ver más adelante) nos permiten obtener como sería la radiación de un cuerpo a una temperatura dada si su eficiencia fuera del 100 %. En realidad este no suele ser el caso, sino que todos los cuerpos tienen una emisividad algo inferior a 1. En función de la emisividad, los cuerpos pueden dividirse en:
  - **Cuerpo negro o radiador perfecto.** el que emite radiación al máximo de sus posibilidades ( $\epsilon = 1$ ).
  - **Cuerpo gris,** aquel en el que  $0 < \epsilon < 1$ .
  - **Reflector perfecto,**  $\epsilon = 0$ .
  - **Radiador selectivo,**  $\epsilon_\lambda = f(\lambda)$ , es decir la emisividad depende de la longitud de onda que se considere.
- **Energía radiante,  $Q$ ,** total de energía radiada por un cuerpo en todas direcciones, se mide en Julios ( $J$ )

- **Flujo radiante**,  $\phi$ , es la energía radiante transferida por radiación de una superficie a otra por unidad de tiempo (algo así como el caudal de energía, la cantidad de energía que se transmite por segundo)  $\phi = Q/t$  y se mide en  $J s^{-1} = W$ .
- **Intensidad radiante**,  $I$ , es el flujo radiante procedente de una fuente de radiación por unidad de ángulo sólido ( $\Omega$ ) y en una dirección concreta  $I = \phi/\Omega = Q/t * \Omega$ , se mide en  $W sr^{-1} = J s^{-1} sr^{-1}$
- **Ángulo sólido o ángulo cónico**,  $\Omega$ , es el ángulo tridimensional formado en el vértice de un cono. La unidad del ángulo sólido es el estereoradian ( $sr$ ) y se define como el ángulo sólido para el que la superficie  $A$  es igual a  $r^2$  donde  $r$  es el radio de la esfera. Puesto que el área de una esfera es  $4\pi r^2$ , en una esfera completa hay  $4\pi$  estereoradianes (figura 1.2).

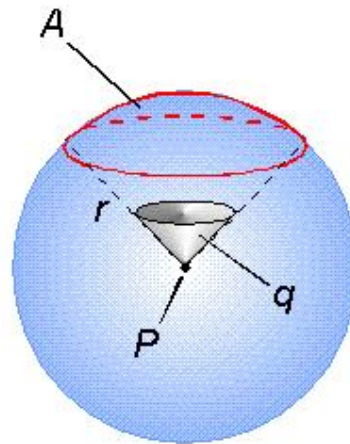


Figura 1.2: Concepto de ángulo sólido y estereoradian

- **Emitancia**,  $M$  energía emitida por radiación desde una superficie por unidad de tiempo y de superficie (cantidad de energía que se transmite cada segundo por cada metro cuadrado de la superficie emisora)  $M = \phi/A = Q/t * A$ , se mide en  $J s^{-1} m^{-2} = W m^{-2}$ . A veces se habla de la **emitancia espectral**  $M_\lambda$  para hacer referencia a la emitancia en una longitud de onda concreta, en cuyo caso las unidades son  $J s^{-1} m^{-2} \mu^{-1} = W m^{-2} \mu^{-1}$
- **Irradiancia**,  $E$  concepto similar al de emitancia pero ahora referido a la energía que llega a un cuerpo a través del espacio procedente de otro (que la ha emitido). Tiene las mismas unidades que la emitancia, análogamente puede hablarse también de irradiancia espectral
- **Radiancia**,  $L$  es el flujo radiante ( $\phi$ ) que abandona una unidad de área en una dirección particular siguiendo un ángulo sólido particular. Las unidades en que se mide son  $W m^{-2} sr^{-1}$ . Su importancia estriba en que es la magnitud que detecta el sensor. Cuando la radiancia se refiere a una porción concreta del espectro electromagnético se le denomina **radiancia espectral** ( $L_\lambda$ ).

$$L = \frac{\phi}{\Omega \cos \theta A} \quad (1.2)$$

donde  $\theta$  es el ángulo formado por la dirección del flujo radiante y el vector perpendicular a la superficie receptora de tamaño  $A$

- **Reflectancia o albedo**,  $\rho$  es la parte de la irradiancia que refleja la superficie receptora, se mide en tantos por uno y se considera por tanto adimensional, es diferente para cada superficie receptora y para cada cuerpo. La medida de la reflectancia puede hacerse teniendo en cuenta toda la semiesfera superior de una determinada superficie, se habla en este caso de reflectividad hemisférica ( $\rho_h$ ) que se calcula como:

$$\rho_h = \frac{\pi L}{E} \quad (1.3)$$

$$\rho_{h\lambda} = \frac{\pi L_\lambda}{E_\lambda} \quad (1.4)$$

siendo  $E$  la irradiancia que llega a la superficie terrestre procedente del sol y  $L$  la parte de esta que abandona la Tierra como radiancia

- **Absortancia**,  $\alpha$  es la parte de la irradiancia que absorbe la superficie receptora, se mide en tantos por uno
- **Transmitancia**,  $\tau$  es la parte de la irradiancia que transmite la superficie receptora, se mide en tantos por uno. Lógicamente  $\rho + \alpha + \tau = 1$

Las radiancias espectrales que son reflejadas desde la superficie terrestre hacia el sensor dependen de muchos factores, destacando las variaciones de la irradiancia solar, las condiciones atmosféricas y meteorológicas, las propiedades reflectivas de la superficie y las condiciones del sensor.

### 1.2.1 Leyes de la radiación

Ya se ha indicado como todos los cuerpos emiten radiación y la cantidad de radiación emitida va a ser diferente para diferentes longitudes de onda y, al mismo tiempo, va a depender de la temperatura del cuerpo. La ecuación que nos da la cantidad de energía emitida se conoce como **ley de Planck**:

$$M_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)} \quad (1.5)$$

donde  $M_\lambda$  es la **emitancia espectral** medida en  $J s^{-1} m^{-2} \mu^{-1}$ .  $T$  es la temperatura en grados Kelvin,  $c_1 = 3.74 \times 10^8 J s^{-1} m^{-2} \mu^{-4}$  y  $c_2 = 1.44 \times 10^4 \mu K$  son constantes.  $M_\lambda$  representa la cantidad de energía emitida en la longitud de onda  $\lambda$  por cada metro cuadrado de superficie del objeto cada segundo.

De esta ecuación, relativamente compleja, derivan dos sencillas ecuaciones que describen de forma más simple la relación de la temperatura con la radiación. En primer lugar la **ley de Stefan-Boltzman**:

$$M = \sigma T^4 \quad (1.6)$$

que es la integral de la ecuación de la ley de Planck y permite, por tanto, calcular el total de energía emitida por un cuerpo a la temperatura  $T$  sumando las emisiones para cada una de las longitudes de onda,  $\sigma$  es la constante de Stefan cuyo valor es  $5.67 \times 10^{-8} J/sm^2 K^{-4}$ .

En segundo lugar y aún más sencilla es la **ley de Wien**:

$$\lambda_{max} = \frac{2898}{T} \quad (1.7)$$

que nos permite calcular a que longitud de onda se produce el pico de máxima emisión de energía de un cuerpo a una temperatura  $T$ . Como puede observarse a mayor temperatura menor longitud de onda.

La temperatura del Sol es de aproximadamente  $6000^\circ K$  mientras que la de la Tierra es de  $300^\circ K$ . Esto significa que la radiación solar va a ser máxima para una longitud de onda de  $0.48 \mu$  (región visible) y la terrestre máxima en una longitud de onda de  $9.66 \mu$  (infrarrojo térmico) (figura 1.3). Sin embargo hay que tener en cuenta que conforme la radiación se aleja del punto de emisión la irradiancia disminuye de forma proporcional al cuadrado de la distancia recorrida. Así los órdenes de magnitud de la distribución espectral de la constante solar (cantidad de energía solar que llega al techo de la atmósfera) y del espectro de emisión terrestre (figura 1.4) son más próximos, apareciendo una zona del espectro en la que la emisión terrestre es mayor que la constante solar.

Finalmente la **ley de Kirchoff** establece que para cada longitud de onda la absortancia de una superficie dada es igual a su emisividad ( $\alpha_\lambda = \epsilon_\lambda$ ).

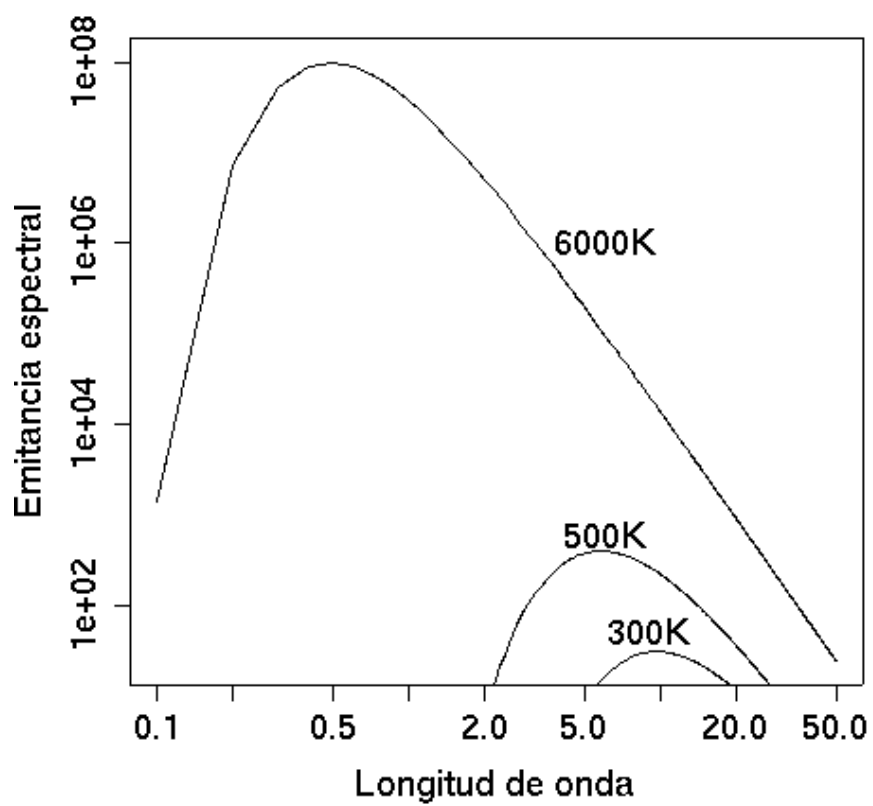


Figura 1.3: Espectro de emisión para diferentes temperaturas

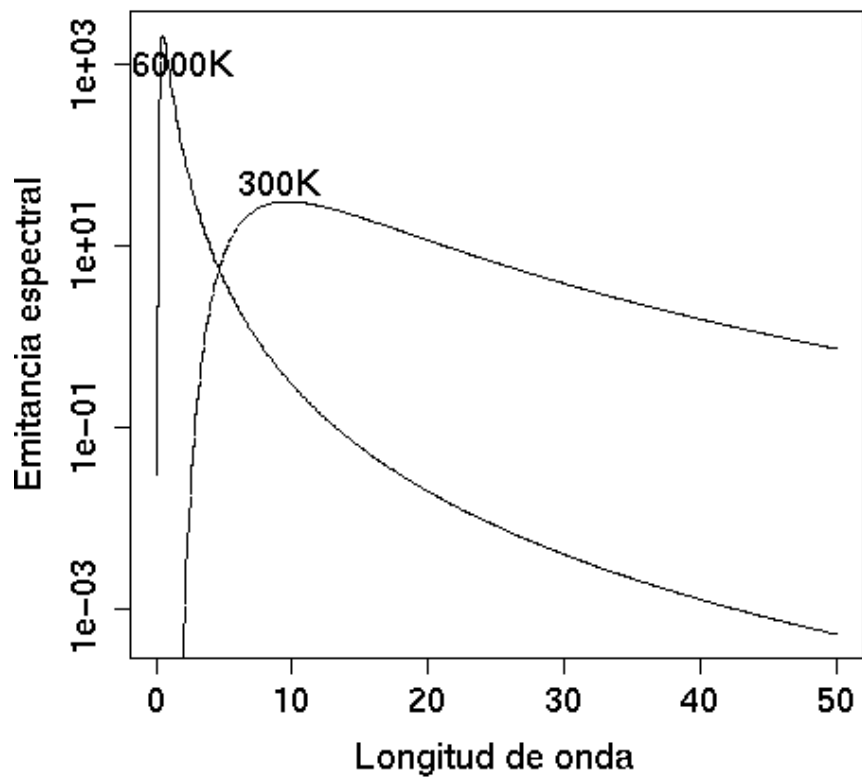


Figura 1.4: Distribución espectral de la constante solar y de emisión de la superficie terrestre