

Tema 3.
Sensores Remotos.

Percepción Remota.

Se define a la Percepción Remota como la detección, recolección, reconocimiento y evaluación de objetos, áreas o fenómenos a través de datos colectados por un instrumento o dispositivo que no está en contacto directo con el objeto, área o fenómeno que está siendo estudiado.

Existen muchas definiciones sobre lo que es la Percepción Remota similares a la dada, pero todas coinciden en varios puntos fundamentales:

El proceso de P.R. requiere:

- 1) una fuente emisora de energía
- 2) un objeto a estudiar
- 3) un sistema capaz de captar información
- 4) una distancia entre el objeto y el sistema que puede captar la información.

Sensor remoto es un instrumento, órgano o sistema que detecta a distancia alguna propiedad de un objeto o fenómeno midiendo algún tipo de radiación o emanación proveniente de él. La principal base física de la P.R. es la capacidad de los instrumentos para medir variaciones espectrales, temporales o espaciales de los campos energéticos. Así considerados los sensores pueden medir variaciones en:

- a) campos de fuerza representados por el magnetismo y la gravedad (magnetómetros y gravímetros).
- b) vibraciones acústicas o mecánicas (sonar).
- c) campos electromagnéticos (radar, cámaras fotográficas).

Desde el punto de vista de la P.R. aplicada al estudio de los recursos naturales de la tierra, estas fuentes quedan limitadas al empleo de las ondas electromagnéticas.

Espectro electromagnético según su utilización en Teledetección

Las regiones que se utilizan en teledetección son:

- 1) Ultravioleta fotográfico: con λ entre 0,3 a 0,4 μ . Solo esta porción puede ser captada con emulsiones fotográficas; las demás son absorbidas por la atmósfera y no alcanzan a incidir sobre la superficie terrestre.
- 2) visible: con λ desde 0,4 a 0,7 μ . Es el rango de operación de la mayoría de los sensores productores de imágenes y el más conocido, ya que corresponde a la sensibilidad del ojo humano, facilitando así la interpretación de imágenes.
- 3) fotográfica: con λ entre 0,3 a 0,9 μ . Corresponde a los rangos de sensibilidad de las películas fotográficas actualmente en uso. Se localiza dentro de la ventana atmosférica entre 0,3 a 1,35 μ . Es el rango utilizado en fotografía multiespectral.
- 4) región reflectiva: con λ entre 0,3 a 3 μ . Corresponde a la captación de la radiación reflejada por los cuerpos naturales a temperaturas corrientes de la superficie terrestre.
- 5) Región emisiva: con λ entre 3 y 14 μ . En esta región los sensores captan la energía emitida por los cuerpos en función de su temperatura. Se opera con sensores térmicos. Se denomina I.R. termal o emisivo.
- 6) Infrarrojo reflectivo: con λ entre 0,7 a 3 μ . Es la región del I.R. en la cual se capta la radiación reflejada. En ella operan sistemas fotográficos y barredores multiespectrales. Se pueden considerar dos subregiones:
 - 6.a) I.R. cercano con λ entre 1,3 a 3 μ en la cual operan las emulsiones fotográficas de alta sensibilidad y corresponde a una ventana atmosférica entre U.V., el visible y el I.R. cercano.
 - 6.b) I.R. medio con λ entre 1,3 a 3 μ . Es la región donde se presenta la mayor influencia de las zonas de absorción de la radiación electromagnética. Los sensores deben operar en dos ventanas atmosféricas que se hallan entre 1,5 a 1,8 μ y 2,0 a 2,4 μ de longitudes de onda.
- 7) región óptica: con λ de 0,3 a 15 μ . Comprende todo el rango de aplicación de los sistemas ópticos como lentes, prismas, espejos. Los barredores multiespectrales tienen capacidad para operar en toda esta región.
- 8) Microondas: con λ entre 0,3 a 300 cm. Corresponde al radar de visada lateral (SLAR), al radar de apertura sintética (SAR), ambos sensores activos, y al radiómetro como sensor pasivo.

Distintos tipos de sensores: sistemas fotográficos, ópticos y de microondas.

De la observación del espectro electromagnético según su utilización en percepción remota se infiere que existen determinadas regiones del mismo que son utilizadas para distintos tipos de sistemas. Entonces, de acuerdo al tipo de energía que captan los sistemas, los sensores pueden ser: sensores fotográficos, ópticos y de microondas.

Los sistemas fotográficos son todos aquellos que captan las imágenes con cámaras fotográficas usando emulsiones fotográficas cuya sensibilidad abarca longitudes de onda entre 0,3 a 0,9 μ m, esto es desde el ultravioleta fotográfico hasta el infrarrojo cercano. Su expresión es una fotografía

o sea un producto análogo, y dentro de ellas están comprendidas todos los tipos de emulsiones con las que se efectúa la fotointerpretación y la fotogrametría. Comprende fotografías en blanco y negro, fotografías en color y termografías.

Los sistemas ópticos son todos aquellos sensores que trabajan para la captación de imágenes en longitudes de onda que comprende de 0,3 a 15 μm ; abarca desde las cámaras fotográficas hasta los barredores óptico-mecánicos. Su expresión son las imágenes que se pueden obtener en producto análogo o en producto digital.

Ambos tipos de sistemas captan la energía electromagnética reflejada o emitida por el terreno, esto es la respuesta espectral, que es registrada en la imagen.

Los sistemas de microondas operan en la región del espectro comprendida entre 0,8 μm a 100 cm . Su expresión son tanto imágenes analógicas como digitales, pero la formación de la misma responde a un principio físico distinto de los sistemas anteriores, ***ya que la imagen corresponde a la respuesta de un tren de ondas que rebota en el terreno, llamado backscatter.***

Por lo tanto la interpretación, tanto de la imagen como de su significado, es diferente de aquellas captadas con los sistemas ópticos. Su estudio requiere de un especial conocimiento de la física .

Concepto de resolución en Teledetección.

Con el desarrollo de las modernas técnicas de P.R. se han incorporado una serie de imágenes producidas con fines muy diversos y con equipos muy diferentes que obligan a tomar en cuenta una serie de factores como:

- 1.- Altura del vehículo o plataforma que transporta el sensor.
- 2.- Tipo de sensor.
- 3.- Área cubierta.
- 4.- Banda espectral de la imagen.
- 5.- Método para coleccionar y transmitir la información.

Para ampliar y generalizar los conceptos de P.R. se ha convenido en definir:

- Sistema: es la combinación de un instrumento de P.R. y un observador o intérprete.
- Señal: Es el elemento de información (espectral o temporal) en una imagen.
- Detectabilidad: es la habilidad de un sistema para distinguir entre dos señales muy próximas en el espacio, tiempo o espectro.
- Resolución: es la habilidad de un sistema para distinguir entre dos señales que están muy próximas en el espacio, tiempo, espectro e intensidad.
- Reconocimiento: es la habilidad de un sistema para identificar una señal.

El concepto de resolución de un sistema espacial puede referirse a todo el sistema o a su habilidad para registrar y discriminar información de detalle. Ella engloba varios aspectos que se refieren al propósito y al entorno geográfico del proyecto que se está ejecutando. También tiene que ver con la escala y la complejidad del trabajo. La información de detalle de la definición se refiere no solo al menor tamaño del objeto distinguible sino también al número y ancho de las bandas del espectro que puede captar, a su frecuencia temporal y a su capacidad para distinguir las variaciones de la energía que detecta. Los conceptos antes enunciados nos conducen a la definición de las distintas resoluciones tal como son entendidas en P.R.

- Resolución espacial.

La *resolución espacial* es la habilidad de un sistema para distinguir o diferenciar dos objetos separados entre sí, o el tamaño mínimo que debe tener un objeto para ser detectado en una imagen. Son sinónimos: campo de visión instantánea, el que expresa la mínima porción de terreno que puede captar el sistema y/o pixel o elemento pictórico que corresponde a la respuesta espectral en una determinada región del espectro de la menor porción de superficie terrestre.

Para los sensores fotográficos se utiliza la primera definición y para los sensores óptico- electrónicos la segunda. En los primeros la resolución depende de la escala de fotografía y de la altura de vuelo.

En los segundos depende también de la altura de vuelo de la plataforma, de la velocidad de exploración (interpretada como lectura) y de la cantidad de detectores. En los sensores de antena como el radar depende del radio de apertura de la antena, de la altura de vuelo y de la longitud de onda a la que trabajen.

Las resoluciones espaciales de algunos de los actuales sistemas en funcionamiento son:

Sistema Spot: pixeles de 10 x 10 metros y 20 x 20 metros

Sistema Landsat: pixeles de 30 x 30 metros ; 40 x 40 metros y 120 x 120 metros .

Sistemas MOS , NIMBUS , NOAA - AVHRR : pixeles entre 500 y 1.100 metros de lado.

Sistemas de satélites meteorológicos como Meteosat, GOES, GMS: con pixeles de hasta 5 km de lado.

La resolución espacial posee un papel preponderante en la interpretación de la imagen ya que es obvio que objetos o elementos con valores por debajo de ella no serán apreciados ni individualizados.

- Resolución espectral.

La *resolución espectral* es la capacidad de un sensor para captar diversas bandas o porciones del espectro electromagnético. En otras palabras indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor.

Es de sumo interés para el análisis de una región contar con información multiespectral, esto es registrar simultáneamente el comportamiento de los objetos en distintas bandas del espectro. Un sensor será más conveniente cuando proporcione un mayor número de bandas separables ya que caracterizará las distintas cubiertas de la superficie.

Entre los sensores espaciales la menor resolución espectral corresponde a los sistemas fotográficos que operan en el visible y al radar que opera en las microondas. Uno de los de mayor resolución es el Mapeador Temático (TM) de Landsat que opera en siete canales, tres en el visible y cuatro en el infrarrojo. En los satélites meteorológicos es suficiente contar con una banda en el visible, una en el infrarrojo lejano y otra en infrarrojo medio.

- Resolución Temporal.

La *resolución temporal* es la capacidad de un sistema o programa para producir imágenes de un mismo objeto en diversos tiempos. Alude a la frecuencia de la cobertura para una misma área que proporciona el sensor. Depende de las características orbitales de la plataforma (altura, inclinación, velocidad) y del diseño del sensor, principalmente del ángulo de observación.

Los sensores meteorológicos están obligados a facilitar información muy frecuente por lo que su resolución temporal debe ser de horas. Es por ello que la mayoría son geoestacionarios. Los sensores para recursos naturales no necesitan una frecuencia de horas sino de días, por lo que la misma varía entre 16 días para Landsat y 26 días para Spot.

- Resolución Radiométrica.

La *resolución radiométrica* se refiere al rango dinámico del sensor, esto es la variabilidad de intensidades en la radiancia espectral que es capaz de captar el sensor.

En los sistemas fotográficos la resolución radiométrica se indica por el número de niveles de gris captado por el film. En los sensores electro-ópticos la resolución espectral está dada por el número de valores que corresponde a los niveles digitales que transforma analógica- digitalmente el sensor. Esta codificación varía desde los actuales 256 (0 a 255) que poseen Landsat, Spot y la mayoría de los sensores de recursos naturales, hasta los 1024 niveles con que trabaja el NOAA- AVHRR

La resolución radiométrica tiene su importancia para la interpretación. Si ésta es visual hay que tener en cuenta que el ojo humano no diferencia más de 64 niveles de gris, mientras que en el análisis digital la computadora puede trabajar con millones de ellos, aunque se ha demostrado que es suficiente con los 256 niveles de gris.

Características generales de algunos Sensores

Según el diseño, la mayoría de los sensores utilizados para recursos naturales son de cinco tipos principales. Ellos son: cámaras fotográficas, exploradores de barrido o scanners, exploradores por empuje o pushbroom, tubos de vidicom y sensores radar.

Cámaras fotográficas.

Las cámaras fotográficas funcionan con el mismo principio de cualquier cámara convencional: la impresión del terreno sobre películas fotosensibles con el apoyo de un sistema óptico que permite controlar las condiciones de exposición.

Existe un gran número de películas a la vez que distintos tipos de cámaras de acuerdo a las necesidades del relevamiento. Son utilizadas desde plataformas aéreas en su mayoría, aunque también en plataformas espaciales, siendo en este caso un inconveniente la recuperación de la película, motivo por el cual se las utiliza en misiones tripuladas.

Exploradores de barrido.

Es un sensor electro-óptico. Posee un espejo móvil que oscila perpendicularmente a la dirección de la trayectoria, les permite explorar una franja del terreno a ambos lados de la traza del satélite. La radiancia recibida por este componente óptico se dirige a una serie de detectores que la amplifica y convierte en una señal eléctrica, la que a su vez se transforma en un valor numérico que puede almacenarse a bordo o transmitirse a la red de antenas receptoras. La información recibida se graba en las CCTs (cintas compatibles con ordenador).

El número y características de los detectores es importante para explicar las condiciones de la imagen resultante. La señal enviada a los detectores se muestrea a intervalos regulares, de tal forma que se graba un valor numérico cada cierta distancia. Este intervalo determina el pixel y su valor está relacionado al tipo de cubierta de la superficie.

En algunos scanners la señal recibida se descompone a bordo en varias longitudes de onda, cada una de las cuales es enviada a distintos detectores sensibles a este tipo de energía, con lo que se originan las imágenes en distintos canales a un mismo tiempo. Son los scanners multiespectrales como el TM y el MSS de Landsat.

Exploradores por empuje.

En estos equipos se elimina el espejo oscilante que es reemplazado por una cadena de detectores que cubre todo el campo de visión del sensor. Estos detectores se van activando con el movimiento orbital del satélite, explorando una línea completa a cada momento, desplazándose las líneas juntamente con la plataforma.

Estos dispositivos reciben el nombre de dispositivos de acoplamiento por carga (Charge Couple Device - CCD). El dispositivo óptico es un complejo sistema de lentes similares a telescopios.

Esta tecnología posee la ventaja de aumentar la resolución espacial del sistema con respecto a los scanners al eliminar la parte móvil y los problemas geométricos derivados de la desincronización entre el movimiento de la plataforma y el espejo oscilante, lo que se manifiesta como deformaciones geométricas de la imagen.

Su mayor inconveniente es la calibración de la cadena de detectores ya que los mismos deben traducir de igual forma la señal recibida. Por ese motivo la resolución espectral de los mismos es baja. Solo trabajan en el espectro visible e infrarrojo cercano.

Tubos de vidicom.

Es un sistema análogo a las cámaras de televisión, que puede trabajar en forma pancromática o multiespectral. La imagen es enfocada sobre un foto-conductor construyéndose una réplica electrónica de la imagen original que se mantiene en esa superficie hasta que un haz de electrones la barre de nuevo originando la imagen que es enviada a tierra. Trabajan en tiempo real.

Radar.

La principal diferencia con los sensores antes descritos es que este tipo genera su propio haz de energía, el que es enviado a tierra, rebota en ella y tras su reflexión, es devuelto de manera que sea recapturado por la antena que la envió u otra similar.

El principal problema de estos sensores es su baja resolución espacial como consecuencia del escaso diámetro de la antena. La antena se entiende como la apertura circular y la resolución es directamente proporcional a la longitud de onda de la radiación que emite y a la altura de vuelo e inversamente proporcional al diámetro de la apertura de la antena. Por ello no eran recomendables en sistemas espaciales pues se necesitarían antenas de gran tamaño.

Para solucionar este inconveniente se inventó el radar de apertura sintética (SAR), cuyo principio de operación se basa en el efecto Dópler, que afecta a la observación realizada cuando existe un movimiento relativo entre objeto y sensor.

En el caso del SAR se registran los pulsos de un mismo punto de la superficie terrestre en dos momentos distintos de la trayectoria, con lo que la resolución es equivalente a la que se obtendría con una antena de similar longitud a la distancia existente entre ambos puntos. En síntesis el dispositivo SAR multiplica la apertura de la antena.

Clasificación de los sensores remotos.

Los criterios de clasificación de los sensores remotos son muy variados y no son excluyentes entre sí. Algunos de estos criterios son:

- a) banda del espectro electromagnético utilizado.
- b) fuente emisora.
- c) ubicación espacial de la fuente emisora y receptora.
- d) información registrada.
- e) mecanismos utilizados para captar la información.

⇒ Dado que los sensores cada día están más capacitados para captar información más detallada y a su vez combinar la información de distintas bandas con lo cual se enriquece la interpretación, existe una clasificación de los sensores en función de la banda del espectro electromagnético que captan.

Según este criterio los sensores se clasifican en:

1.- Sensores ultravioleta: pueden ser fotográficos o barredores multiespectrales. Los primeros actúan en las bandas entre 0,3 y 0,4 μ y los segundos entre 0,315 y 0,23 μ .

2.- Sensores visibles: son muy variados, tales como cámaras fotográficas, sistemas de televisión, barredores óptico-mecánicos, etc.

3.- Sensores del infrarrojo: (banda entre 0,7 a 14 μ). Se subdivide en tres:

- Cercano: 0,7 a 1,3 μ
- Medio: 1,3 a 3 μ
- Lejano o termal: 3 a 14 μ

Ejemplos de estos son algunos radiómetros, cámaras fotográficas con películas infrarrojas. Están limitados por la presencia de nubes y nieblas. Deben ser utilizados en determinadas ventanas atmosféricas.

4.- Sensores de frecuencia extremadamente alta ($\lambda = 0,1$ a 1 cm). Corresponde a una transición entre el I.R. y microondas. Son algunos radares y radiómetros.

5.- Sensores de microondas: ($\lambda = 0,3$ a 300cm). Son numerosos y muy avanzados (radares, radiómetros, espectrómetros)

6.- Sensores de frecuencia ultra-alta (UHF): La lluvia y la niebla afecta muy poco esta banda. Son usados de día y de noche. Son algunos tipos de radiómetros.

7.- Sensores de frecuencia baja, media y alta: (LF, MF, HF) : son los equipos de radio. Se usan en comunicaciones y muy poco en P.R. de recursos naturales.

8.- Sensores de frecuencia muy alta: corresponde a radares que se utilizan en P.R., por ej. para medir espesores de capas de hielo.

⇒ De acuerdo a la fuente emisora de energía se clasifican en sensores activos y pasivos.

- Los primeros son aquellos que emiten energía hacia el objeto desde su propia fuente, captan la energía que regresa y la registran. Por ej., el radar, el sonar, ecógrafos, magnetómetros.
- Los pasivos son aquellos que únicamente registran la energía reflejada por los cuerpos, siendo el sol la fuente productora de la energía. Por ej., las cámaras fotográficas.

⇒ Según el criterio c) que se basa en la posición relativa de la fuente emisora de energía y la fuente receptora de la misma, se clasifican en :

- Sensores monoestáticos: cuando las fuentes de emisión y recepción de energía ocupan la misma posición en el espacio (por ej., el radar).
- Sensores biestáticos: La fuente de emisión tiene una posición espacial diferente de la fuente de recepción (por ej., la cámara fotográfica)

⇒ En base al criterio d) o sea la información registrada se clasifican en :

- - Sensores fotográficos: cuando toda la información es registrada en emulsiones fotográficas en el momento de ser recibidas (cámaras aéreas, multiespectrales, etc.)
- - Sensores no fotográficos: la información recibida es proyectada en una pantalla o se registra en forma gráfica (perfiles) o digital (cinta magnética). Los que registran digitalmente la intensidad de la energía son los radiómetros (una angosta faja del espectro) o los espectrómetros (una amplia banda).

⇒ En base al criterio e) los sensores se clasifican en:

- Sensores fotográficos: son las cámaras fotográficas que pueden ser de tres tipos:
 1. Cámaras métricas: aquella en que se conoce la constante de la cámara y se corrigen las aberraciones de las lentes.
 2. Cámaras panorámicas: aquellas en que el terreno es además enfocado de lado a lado cubriendo un ancho campo.

3. Cámaras multispectrales o multibandas: obtiene fotografías multispectrales a partir de la utilización de diversas combinaciones de filtros y emulsiones simultáneamente o varias cámaras con sus disparos sincronizados.

- Sensores electro-ópticos formadores de imagen: se subclasifican en tres grandes grupos:

1. De formato o cuadro : son autosuficientes ya que no necesitan de movimiento de barrido para captar un área. Son los sistemas de televisión como el R.B.V. de los Landsat.

2. Barredores no oscilantes (push-broom) o de arreglo lineal: barren en una sola dirección por medio de lectura electrónica y requieren un sistema auxiliar de movimiento o inclinación para barrer en otro sentido. Un sistema como este se utiliza en el programa Spot.

3. Barredores mecánicos: incluyen una gran variedad, de barrido doble o sencillo; barren de derecha a izquierda y requieren una fuente externa para desplazarse en otro sentido, la que suele ser la plataforma transportadora, pudiendo ser esta última aérea (un avión) o espacial (un satélite). Su principio de funcionamiento se basa en que las radiaciones provenientes del terreno son dirigidas por un espejo parabólico giratorio hacia el detector. Al barrer en forma perpendicular el terreno, se mide por medio de un radiómetro la intensidad y dirección de la radiación electromagnética de todos los elementos de una faja del terreno, las que mediante un dispositivo electrónico son recogidas en cinta magnética o transformadas en puntos luminosos que impresionan un film fotográfico.

- Sensores electro-ópticos no formadores de imagen: no forman imagen sino que a partir de los datos captados producen curvas, grupos de números o simples números que caracterizan la energía electromagnética emitida desde, reflejada por y/o transmitida a través de una superficie o región del espacio. En general describen la intensidad del campo de radiación o las propiedades ópticas de una superficie o región del espacio.

- Sensores de microondas: pueden ser activos o pasivos. Ejemplo de los activos es el radar y el radar de visada lateral (SLAR) que operan en dos sistemas:

- * con apertura (antena) real
- * con apertura sintética (SAR)

Ambos forman imágenes.

También existen los sensores de M.O. no formadores de imagen como ser los dispersómetros y los radiómetros de M.O.. Los primeros miden la dispersión o propiedades reflectivas de las superficies mediante las ondas por él mismo generadas. Los segundos miden la intensidad de la radiación del tren de microondas. Se aplican en meteorología y oceanografía.

Concepto de plataforma en P.R.

En P.R. se considera como plataforma a cualquier sistema o vehículo capaz de transportar un sensor remoto a la zona de operación y mantenerlo durante el tiempo previsto de operación.

El sistema consta además del vehículo, del complejo de comunicaciones y el control desde tierra.

Las plataformas utilizadas en P.R. pueden ser:

- Cestas colocadas a baja altura (pocos metros del suelo).
- globos.
- Aviones y helicópteros.
- cohetes.
- satélites.

Las cestas se usan para programas de investigación terrestre; pueden portar radiómetros.

Los globos se utilizan actual y principalmente en meteorología.

Los aviones y helicópteros son las plataformas ideales para la percepción desde la atmósfera.

Los cohetes se usan actualmente para colocar en órbita los satélites o plataformas espaciales.

Los satélites son usados para transportar y mantener todo tipo de sensores remotos, desde cámaras fotográficas hasta sensores electro-ópticos.

Los satélites operan desde órbitas heliosincrónicas o geosincrónicas, según a quien se tome como referencia para la sincronización de la trayectoria. Los de órbita heliosincrónica pueden ser de órbita polar, ecuatorial o libre. Su altitud varía entre 200 y 1000 km. Son los más utilizados para el estudio de los recursos naturales.

Los de órbita geosincrónica generalmente son los satélites de comunicaciones y meteorológicos. Se mueven sincrónicamente con la Tierra, observando siempre una misma porción de la superficie terrestre. Se colocan a gran altura (36.000 Km.), en la que la velocidad de giro del satélite es igual a la de la tierra.

Por último mencionaremos un sistema de satélites para rastreo y retransmisión de datos (TDRSS) que actúa como una antena intermedia, ya que recibe todas las órdenes enviadas hacia las naves tripuladas o no, y desde allí son enviadas a ellas. De igual forma los datos colectados por los sensores son enviados a dicho sistema y luego retransmitidos a tierra en tiempo real o diferido.