

Capítulo 1

1. Introducción a la Percepción Remota



Ilustración 1 Imagen MODIS de la Tierra

Esta imagen es la más detallada en color de la Tierra, se obtuvo usando una colección de observaciones basadas en satélite; científicos y visualizadores trabajaron juntos por meses haciendo observaciones de la superficie terrestre, océanos, hielos, nubes, etc. La mayor parte de la información contenida en esta imagen proviene del sensado remoto, del dispositivo de la NASA llamado Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS).

Imagen Obtenida de: <http://visibleearth.nasa.gov/>

1.1 Conceptos básicos

En la década de los 60's del siglo pasado, nuestra vista de la Tierra y el universo estaba restringida a las observaciones y fotografías usando la luz visible. Vistas distantes de algún lugar eran obtenidas solo de aviones y telescopios (Ilustración 1).

Hoy en día la ciencia de la Percepción remota provee instrumentos que ven nuestro universo en longitudes de onda diferentes que aquellas de la luz visible.

Tales instrumentos son desplegados en satélites y aviones para registrar imágenes de la Tierra y el sistema solar que pueden ser analizadas digitalmente con nuestras computadoras personales para proveer información sobre diversos temas. Algunos de éstos incluyen el medio ambiente, el uso de suelo, los recursos renovables y no renovables, desastres naturales, geología y urbanismo.

La percepción remota es la ciencia de la adquisición, proceso e interpretación de imágenes y datos relacionados, obtenidos de aviones y satélites que graban la interacción entre la materia y la radiación electromagnética.

Algunas definiciones de esta ciencia son:

“La percepción remota es la ciencia y el arte de obtener información sobre un objeto, área o fenómeno a través del análisis de datos adquiridos por un mecanismo que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno de investigación.” (Lillesand, 2000).

“La percepción remota es la obtención de información acerca de una escena empleando radiación electromagnética (EM) en la región óptica y de microondas por medio del análisis automatizado de datos obtenidos a distancia por una sistema formado por un grupo de sensores remotos” (Lira, 2007).

De estas definiciones se puede considerar que esta ciencia involucra cuatro elementos fundamentales, los cuales son complementarios y no podríamos entender el uno sin el otro:

- a) Obtención de la información: Las imágenes obtenidas por un sensor remoto contienen un gran número de datos, que al ser analizados arrojan información proveniente de la escena.
- b) Radiación electromagnética: La interacción de la radiación con la escena genera información la cual es transportada por la señal electromagnética hacia los sensores remotos.
- c) Análisis automatizado de Imágenes: Es el conjunto de algoritmos computacionales programados organizados en un software de procesamiento de imágenes que permiten extraer información del comportamiento de la escena.
- d) Datos obtenidos a distancia: De las observaciones que efectúan los sensores remotos se obtienen los datos que miden la cantidad de radiación proveniente de la escena de estudio.

1.2 Elementos de la percepción remota

Con el desarrollo moderno de la ciencia de la computación y la electrónica digital se ha dado un auge importante a la percepción remota, pues estas herramientas permiten la evaluación cuantitativa de un gran volumen de datos. Así en una simbiosis muy estrecha las ciencias de la computación han impulsado el desarrollo de la percepción remota, y ésta, a su vez, ha generado nuevos sistemas de procesamiento digital con propósitos específicos.

A su vez, el desarrollo de la ciencia y la tecnología ha permitido incorporar nuevos métodos y dispositivos de captura a distancia, lo que ha hecho que la percepción remota extienda su campo de acción a fenómenos muy diversos.

Dentro de la percepción remota se encuentran los siguientes elementos básicos (Ilustración 2):

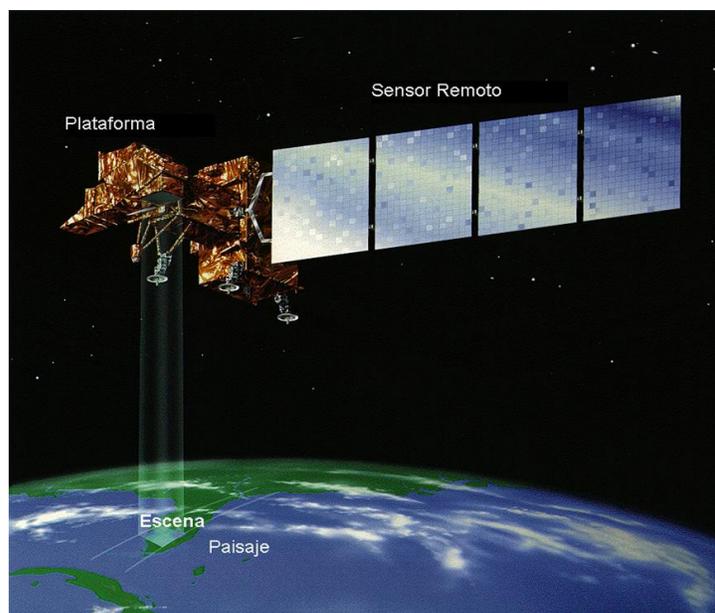


Ilustración 2 Elementos Básicos de la Percepción Remota

Fuente de Iluminación: Nos permite iluminar el paisaje y puede ser de tipo externa o interna.

Fuentes de iluminación externa: Hay sistemas en percepción remota que utilizan una fuente de iluminación externa sobre la cual no se puede tener control. Estos sistemas son llamados pasivos, y pueden utilizar al Sol o bien a una estrella lejana como fuente de iluminación. Como es un tipo de fuente en la que no se puede tener control, es necesario esperar a que las

condiciones de iluminación sean las adecuadas para efectuar la observación correspondiente de la escena.

Fuente de iluminación interna: Hay sistemas en percepción remota que utilizan su propia fuente de iluminación, y por lo tanto sí se puede tener control sobre ella. Estos sistemas son llamados activos. Estos sistemas son los que han permitido que se puedan estudiar fenómenos en donde no se tiene una fuente de iluminación externa. Estos sistemas pueden estar provistos de luz ultravioleta o infrarroja, así como de rayos gamma o rayos X, por lo que las aplicaciones pueden ser diversas.

Paisaje: Es una porción de la superficie terrestre que se encuentra bajo estudio. Este elemento no se puede controlar porque generalmente es una parte muy compleja donde intervienen muchos factores. En el análisis de un sistema de percepción remota se pueden llegar a subestimar la complejidad del paisaje ocasionando errores de operación y diseño.

Escena: Es una sección o superficie del paisaje donde enfocamos nuestro interés. Puede ser una superficie tanto física como virtual. La escena es una superficie que es parte del paisaje. Para estudiar un paisaje podemos estudiar varias escenas.

Sensor Remoto: Es un dispositivo que captura la radiación proveniente de la escena y permite generar una representación numérica de la misma, es decir, una imagen digital. El sensor realiza medidas a distancia de la radiación proveniente de la escena por unidad de ángulo sólido por unidad de tiempo.

Plataforma: Está compuesta por el lugar donde se encuentra montado el dispositivo o sensor remoto para poder obtener en conjunto la imagen de la escena, las hay de dos tipos:

a) Orbitales, las cuales se encuentran girando alrededor de la Tierra a cientos de kilómetros y de acuerdo a su trayectoria se clasifican en dos tipos: Polares y Geoestacionarias (Ilustración 3). Los satélites que tienen órbitas polares se les conocen como satélites de percepción remota. Los satélites que tienen órbitas geoestacionarias se les conocen como satélites del medio ambiente

b) Aerotransportadas, las cuales se encuentran montadas en aeronaves y por lo tanto se encuentran a poca altura de la superficie terrestre.

La imagen que se observe dependerá de la distancia de observación a la cual esté colocada la plataforma, así mismo, el detalle o grado de discernimiento que se pueda tener en la imagen. A medida que la plataforma de observación se coloca a una mayor distancia de la

escena, la visión de conjunto crece, pero no así el detalle, que consecuentemente se hace menor.

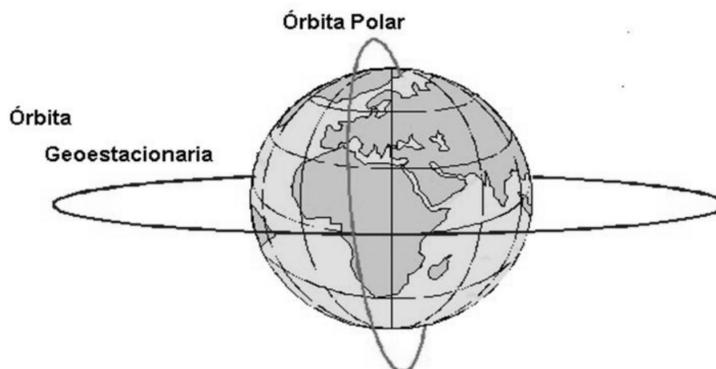


Ilustración 3 Trayectorias de las plataformas Orbitales

Para más información sobre plataformas satelitales, ver Anexo A *Plataformas Orbitales empleadas en percepción remota*

Sistema de procesamiento de Imágenes: Está formado por el grupo de dispositivos electrónicos y computacionales que permiten analizar cuantitativamente las imágenes que genera el sensor remoto (Ilustración 4).

Estos dispositivos procesan de manera cuantitativa o cualitativa, los datos que han sido proporcionados por el sensor remoto, ya sea en forma analógica o digital, para tener así una representación continua o discreta de la escena. Existen sistemas de procesamiento con un rango muy amplio de algoritmos para el análisis de imágenes, las cuales pueden ser analizadas de manera digital y obtener información que puede ser extraída, representada o manipulada de alguna manera para realizar una toma de decisiones con respecto a uno o varios aspectos de la imagen.

Existen dispositivos de procesamiento de entrada y dispositivos de procesamiento de salida.

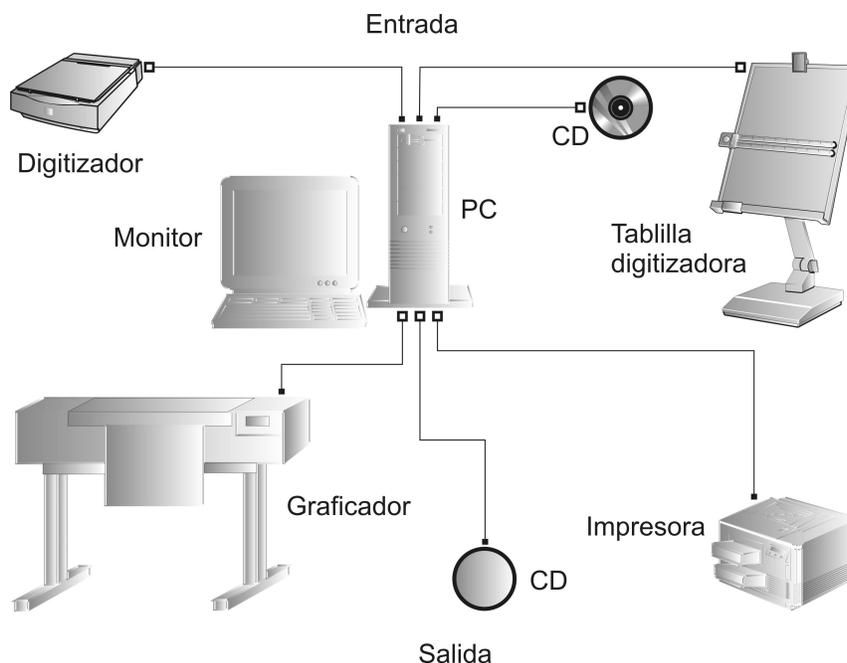


Ilustración 4 Dispositivos de entrada y salida en el campo de la percepción remota

Apoyo de campo: Son las medidas adicionales que se generan en el área de interés y complementan la información del sensor remoto, son las medidas realizadas directamente en el campo, es decir los datos complementarios de la escena, los cuales son llamados datos ancilares.

1.3 Radiación electromagnética

Energía Electromagnética se refiere a toda la energía que se mueve a la velocidad de la luz con un patrón ondulatorio armónico (Sabins, 2000).

Un patrón armónico consiste en ondas que ocurren en intervalos de tiempo iguales. El concepto de onda explica como la energía electromagnética se propaga pero esta energía solo puede ser detectada cuando interacciona con la materia.

Históricamente, las propiedades de la radiación electromagnética se han explicado por dos teorías aparentemente contrapuestas: la teoría ondulatoria que la concibe como un haz ondulatorio, es decir que se transmite de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y continuo, a la velocidad de la luz (c) y conteniendo dos campos ortogonales entre sí: eléctrico y magnético, y la teoría corpuscular que la considera como una sucesión de unidades discretas

de energía, fotones o cuantos, con masa igual a cero, pero que tienen propiedades asociadas a las partículas.

En cierta forma ambas teorías se complementan, ya que el concepto de onda explica cómo la energía electromagnética se propaga, sin embargo, esta energía sólo puede ser detectada cuando interactúa con la materia. En esta interacción, la energía electromagnética se comporta en forma corpuscular. A medida que la luz se propaga a través de medios de diferentes densidades ópticas, se desvía (refracta), adquiriendo un comportamiento asociado con las ondas.

Cuando un sensor mide la intensidad de la luz, la interacción de los fotones con el material fotosensible del fotodetector, produce una señal eléctrica cuya magnitud varía en forma directamente proporcional con el número de fotones que sobre ella inciden.

1.3.1 Propiedades de las ondas electromagnéticas

Las ondas electromagnéticas pueden ser descritas en términos de su velocidad, longitud de onda y frecuencia. Todas las ondas electromagnéticas viajan a la misma velocidad (c). Esta velocidad es conocida comúnmente como la velocidad de la luz y depende del medio través del cual la onda electromagnética se propaga. Si la onda electromagnética se propaga a través del vacío, $c = 299\,793\text{ km/s}$.

La longitud de onda (λ) de las ondas electromagnéticas es la distancia de cualquier punto de un ciclo u onda a la misma posición sobre el siguiente ciclo u onda. El micrómetro (μm) es una unidad conveniente para designar longitudes de onda tanto de la radiación visible como de la radiación infrarroja. Sin embargo, en el ámbito científico es muy común emplear nanómetros (nm) para mediciones de longitudes de onda muy cortas, como la luz visible.

A diferencia de la velocidad y de la longitud de onda, las cuales cambian a medida que la energía electromagnética se propaga a través de medios de diferentes densidades, la frecuencia (ν) permanece constante y por tanto es una propiedad fundamental.

La frecuencia es el número de crestas de onda pasando a través de un punto dado en un período de tiempo. La frecuencia es expresada formalmente en “ciclos por segundo” hertz (Hz).“

La longitud de onda (λ) y la frecuencia (ν) se encuentran relacionadas por medio de la velocidad de la luz (c) en la siguiente ecuación

$$c = \lambda\nu \quad (\text{I.1})$$

1.4 El espectro electromagnético

El espectro electromagnético es una secuencia continua de energía en rangos desde metros hasta nanómetros en longitudes de onda, que viaja a la velocidad de la luz y se propaga a través de diversos medios incluyendo el vacío. Toda la materia irradia un rango de energía electromagnética de tal manera que la intensidad máxima presenta un corrimiento en el espectro hacia longitudes de onda pequeñas con un incremento de temperatura de acuerdo con la Ley de Planck.

El espectro electromagnético es la base principal de los métodos y sistemas de la Percepción Remota, ya que mide los niveles de variación de energía de la unidad fundamental de la fuerza electromagnética: el fotón.

La Ilustración 5 muestra el espectro electromagnético, el cual es dividido en regiones con base en diferentes longitudes de onda, como se describen en la tabla 1.

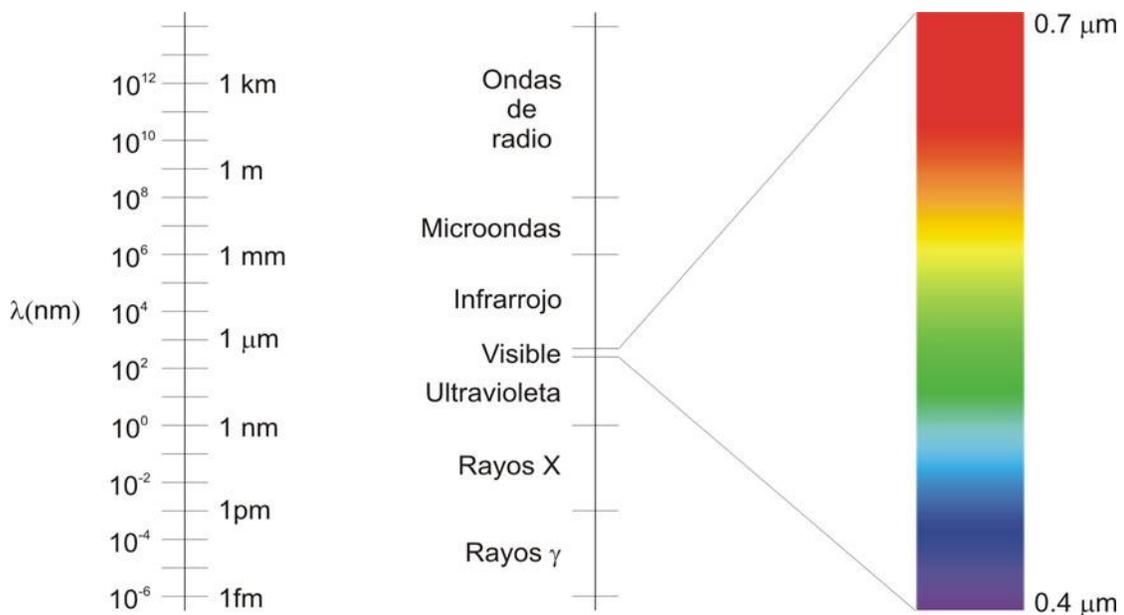


Ilustración 5 Espectro electromagnético

(Ilustración adaptada de Lira 2009)

Tabla 1. Regiones Espectrales Electromagnéticas

Región	Longitud de Onda	Comentarios
Rayos γ	< 0.03 nm	La radiación que llega es completamente absorbida en la atmósfera superior y no está disponible para la percepción remota.
Rayos X	0.03 a 30 nm	Completamente absorbida por la atmósfera. No empleada en la percepción remota.
Ultravioleta	0.03 a 0.4 μm	Las longitudes de onda entrantes menores de 0.3 μm son completamente absorbidas en la atmósfera superior.
Visible	0.4 a 0.7 μm	Disponible para fotodetectores, pero la dispersión atmosférica es considerable
Infrarrojo	0.7 a 1000 μm	La interacción con la materia varía con las longitudes de onda.
Microondas	0.1 a 100 cm	Longitudes de onda más grandes que pueden penetrar en nubes, bancos de niebla y lluvia. Las imágenes pueden ser adquiridas en modos activos o pasivos.
Ondas de radio	> 100 cm	Porción del espectro electromagnético con mayor longitud de onda.

Desde el punto de vista de la percepción remota, conviene destacar una serie de regiones espectrales, que son las más comúnmente utilizadas por la tecnología actual. Su denominación y amplitud varían, según distintos autores, pero pueden resumirse de la siguiente forma (Barilla y Franco, 2001):

a) Espectro visible: se denomina así por tratarse de la única radiación electromagnética que pueden percibir nuestros ojos, coincidiendo con longitudes de onda en donde es máxima la radiación solar. Suelen distinguirse tres bandas elementales, que se denominan azul (492-455 nm), verde (577-492 nm) y rojo (770-622 nm), en razón de los colores primarios que nuestra psicovisión perciben en esas longitudes de onda.

b) Infrarrojo cercano (IR): a veces se denomina también Infrarrojo reflejado o fotográfico, puesto que parte de él puede detectarse a través de películas fotográficas dotadas de

emulsiones especiales. Resulta de suma importancia por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.

c) Infrarrojo medio: en donde se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre. Resulta idóneo para estimar el contenido de humedad en la vegetación y para la detección de focos de alta temperatura.

d) Infrarrojo lejano o térmico: incluye la porción emisiva del espectro terrestre, en donde se detecta el calor proveniente de la mayor de las cubiertas terrestres.

e) Microondas: son de gran interés por ser un tipo de energía de considerable transparencia a las nubes.

1.5 Obtención de la información

El objetivo de estudio y principio de análisis en percepción remota es el paisaje, sistema físico tridimensional, iluminado por una fuente de iluminación. Por medio del paisaje se encuentra la escena, superficie de carácter subjetivo virtual, sobre la cual se encuentran los objetos de interés. Esta superficie puede encontrarse en cualquier parte del paisaje. Sobre la escena se define un elemento con dimensiones físicas, denominado campo instantáneo de vista (CIV), cuyo tamaño depende de las dimensiones del paisaje, la resolución del sensor remoto y de la distancia de ésta al CIV (Ilustración 6).

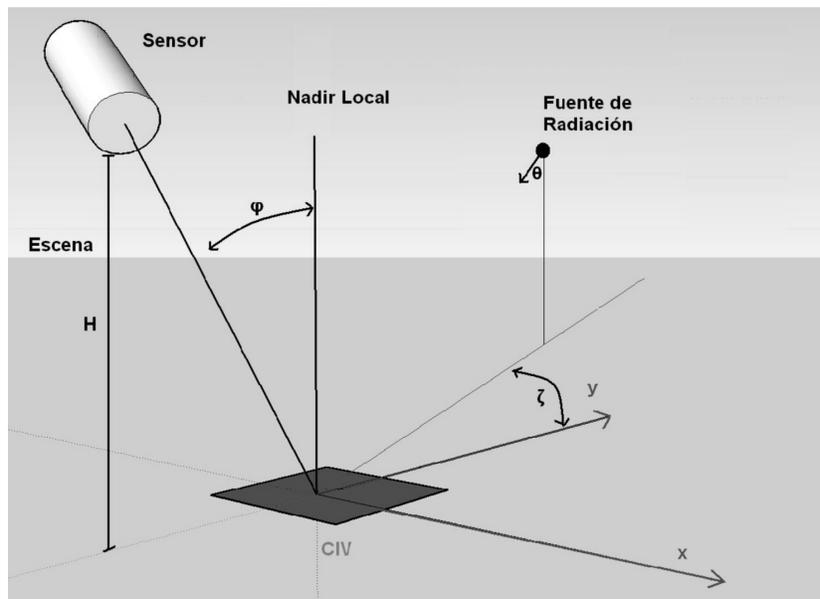


Ilustración 6 Geometría de observación en percepción remota
(Adaptado de Lira, 2002)

En el esquema anterior (Ilustración 6) observamos que la escena se encuentra iluminada por una fuente de radiación, cuyo ángulo de elevación es θ ; además la fuente de radiación se encuentra a un cierto ángulo de azimut ζ con respecto a una dirección azimutal dada por el eje y . El sensor remoto se encuentra observando la escena a un ángulo de observación φ con respecto al nadir local.

La escena es dividida virtualmente en una rejilla de arreglo rectangular y homogéneo de campos instantáneos de vista. El sensor remoto mide la radiación proveniente de cada campo de vista por unida de tiempo.

Existen algunos conceptos que permiten entender el modo en el que se utiliza la radiación electromagnética en la Percepción remota para obtener información.

Para que pueda producirse el sensado remoto de un sistema es necesario que el sensor detecte un flujo energético proveniente de este. Por ello es importante definir las magnitudes utilizadas.

Energía Radiante (Q) es la cantidad de energía transportada por una onda electromagnética a través de un medio por unidad de tiempo, este tipo de energía puede incidir, atravesar o emerger de la superficie.

A la cantidad de energía radiante transportada por una onda electromagnética, por unidad de volumen se le denomina **Densidad de energía radiante** cuya magnitud proporciona información sobre la distribución de la radiación

$$(W = \partial Q / \partial V), \quad (I.2)$$

La tasa a la cual la energía radiante pasa a través de un cierto lugar se le llama **Flujo radiante**

$$(\Phi = \partial Q / \partial t). \quad (I.3)$$

Un sensor remoto integra el flujo radiante por unidad de tiempo, por unidad de ángulo sólido, proveniente de un elemento de la superficie (Ilustración 7). Es decir el flujo radiante representa la energía radiante emitida, transportada o recibida por unidad de tiempo.

Al flujo radiante por unidad de área se le llama **Densidad de flujo radiante**

$$(E = M = \partial\Phi / \partial A). \quad (\text{I.4})$$

Cuando la densidad de flujo radiante incide sobre una superficie se le llama **Irradiancia** (E), en cambio si la densidad de flujo radiante emerge de la superficie, se le llama **Emitancia** o **Exitancia** (M).

El flujo radiante por unidad de ángulo sólido es una cantidad llamada **Intensidad radiante**

$$(I = \partial\Phi / \partial\Omega) \quad (\text{I.5})$$

La intensidad radiante es función de la dirección, desde o hacia el punto para la cual es definida. Un detector de percepción remota mide la intensidad radiante.

Al flujo radiante por unidad de ángulo sólido por unidad de área proyectada en una dirección dada, incidiendo, atravesando o emergiendo en una dirección específica de un punto de una superficie, es llamada **Radiancia**

$$(L = \frac{\partial^2\Phi}{\partial\Omega\partial A\cos\varphi}). \quad (\text{I.6})$$

Si en un punto considerado existe una fuente cuya radiancia no cambia como una función de la dirección de la emisión, la fuente es llamada Lambertiana.

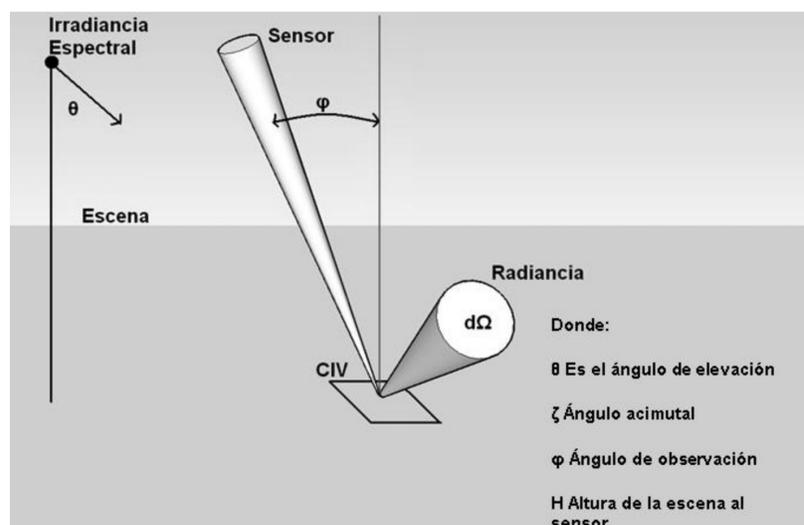


Ilustración 7 Componentes Radiométricos

(Adaptado de Lira, 2002)

1.6 Interacción radiación - materia

La radiación electromagnética es generada por la transformación de energía cinética, química, nuclear o química. Una variedad de mecanismos de transformación conduce a la generación de ondas electromagnéticas sobre diferentes regiones del espectro electromagnético.

Las ondas en la región de radiofrecuencia son generalmente producidas por corrientes periódicas de cargas eléctricas en alambres, haces de electrones o superficies de antenas. En la región de microondas, la radiación electromagnética es generada por medio de tubos electrónicos que emplean el movimiento de electrones de alta velocidad en estructuras especialmente diseñadas para producir un campo electromagnético variable, el que es entonces conducido por guías de onda hacia una estructura radiante (antenas).

Las ondas en el infrarrojo y el visible son producidas por excitación molecular, vibracional o de cambio de nivel de energía. En términos generales la interacción radiación – materia depende de la longitud de onda de la radiación electromagnética y comprende cuatro mecanismos básicos: reflexión, absorción, transmisión y dispersión. Tales mecanismos dependen de la longitud de onda. Para cada región del espectro electromagnético existe un mecanismo de interacción que puede comprender procesos sub-atómicos, atómicos y moleculares.

1.7 Imágenes obtenidas en percepción remota

Existen dos clases de imágenes en la Percepción remota.

Imágenes ópticas: Las bandas que las componen se encuentran en la región óptica del espectro electromagnético, generalmente son imágenes multispectrales, obtenidas por sistemas pasivos (Ilustración 8).



**Ilustración 8 Imagen óptica de la Ciudad de México
(Composición a color RGB de las bandas 4,5 y3)**

Imágenes de radar: Son imágenes producidas en la región de microondas del espectro electromagnético, generalmente son imágenes monoespectrales, obtenidas por sistemas activos (Ilustración 9).



**Ilustración 9 Imagen de radar ASAR del norte del golfo de México,
estado de Tamaulipas. Obtenida de: <http://earth.esa.int>**

Con todos los elementos anteriores se puede tener una mejor comprensión de lo que es la percepción remota y entender su importancia en el estudio del paisaje ya que tiene múltiples aplicaciones en geología, exploración de otros planetas, urbanismo, ciencias del mar, silvicultura, hidrología, estudios de contaminación, agricultura, entre otros.