

# **LA PERCEPCIÓN REMOTA Y EL ANÁLISIS DEL ESPACIO GEOGRÁFICO**

**Néstor CATUNA R \***

**RESUMEN:** La percepción remota es una técnica extraordinariamente desarrollada para estudiar las características de los espacios terrestres. Excluyendo los avances de la investigación ultra terrestre, los sensores remotos que han sido diseñados permiten explorar en diferentes bandas espectrales casi todos los aspectos de nuestro planeta. Las ramas de la ciencia que tienen relación con el espacio terrestre encuentran en esta tecnología un valioso apoyo para el desarrollo de sus respectivos proyectos. Mediante la percepción remota se han venido divulgando los cambios en la superficie terrestre, información valiosa tales como el clima en general, el avance o retroceso de los glaciares, la tala de los bosques, los procesos de erosión, las corrientes de los vientos planetarios, las corrientes marinas y los efectos de la polución ambiental. De acuerdo con lo anterior muchos de estos temas son de gran interés para la comprensión del espacio geográfico.

## **Introducción**

Desde el lanzamiento del primer satélite artificial (1957) y a partir de la primera conferencia de las Naciones Unidas sobre la Explotación del Espacio Ultra Terrestre con Fines Pacíficos, la ciencia y la tecnología espacial han tenido un desarrollo extraordinario en muchas ramas del conocimiento, sobre todo en aquellas relacionadas con el espacio terrestre.

Actualmente grandes extensiones de la superficie terrestre son reconocidas de manera secuencial y periódica mediante los sensores remotos Orbitales. Cada uno de ellos ha sido diseñado para cumplir programas específicos, es decir, cumplen tareas con objetivos concretos, por ejemplo, en los campos de la meteorología, la geología, la glaciología, la ecología, etc..

La mayor parte de los eventos ecocatastróficos que ocurren en el planeta son rápidamente captados y otro tanto de aquellos que se originan por la acción del hombre, con el objeto de ser analizados con propuestas de posibles soluciones.

---

\* Profesor Departamento de Geografía Universidad Nacional de Colombia.

Hoy día cualquier región del Planeta es rápidamente reconocida por los sensores ofreciendo la más variada información de los elementos que la integran y de sus características específicas. Este es uno de los aspectos de mayor interés para los usuarios de las imágenes que tienen que ver con los espacios terrestres.

Las imágenes que son obtenidas se convierten en todo un sistema de información y por lo tanto en un excelente recurso de apoyo para los usuarios que por su especialidad están vinculados a los eventos espaciales. En este sentido la percepción remota ofrece ventajas para el conocimiento y la enseñanza de la Geografía. Por lo tanto este resumen está dirigido a profesores y estudiantes que aspiren a tener una información preliminar acerca de los sensores remotos, técnica de gran desarrollo del conocimiento de la Tierra y del campo espacial.

### **Objetivos**

Los objetivos de esta síntesis están orientados en general a destacar la importancia y el extraordinario avance de la percepción remota en los proyectos o estudios relacionados con el espacio geográfico.

Identificar la importancia de esta técnica para la enseñanza de la Geografía, en razón de constituirse en un valioso recurso para el análisis y la comprensión de los espacios terrestres.

### **Percepción remota**

En términos generales, la percepción remota se relaciona con la capacidad de identificar propiedades cualitativas y cuantitativas de los objetos colocados a distancia; Mather M. P. (1991) ofrece una buena información relacionada con los conceptos generales y los campos de aplicación de esta técnica para identificar los cambios más importantes de los espacios geográficos. Chuvieco (1990: 27) establece: "Si hemos definido la Teledetección Espacial como aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, estamos suponiendo que entre la Tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial, ya por emisión propia"

## *La percepción remota y el análisis del espacio geográfico*

Así mismo Lillesand y Kiefer (1994:1) destacan el concepto de la percepción remota como una ciencia y arte en la obtención de la información de los objetos sin que medie entre el sensor y ellos un contacto directo. Joly (1988) destaca el valor de la Teledetección para el desarrollo de la Cartografía Temática y Topogeografía en general.

Mediante esta tecnología el hombre ha logrado diseñar sensores que miden variaciones espectrales espaciales en: campos de fuerza magnética y gravitacional, en el campo electromagnético y en vibraciones acústicas o mecánicas (radar). El radar trabaja en el rango de 0.3 cm. hasta 300 cm. (región de microondas) con capacidad de penetrar nubes. Mather (1991). En los Trópicos Húmedos el radar ha demostrado su eficiencia con base a las nítidas imágenes de extensas zonas de la Amazonía y del Pacífico. Estos avances han permitido en nuestro medio, organizar la cartografía de aquellas zonas en permanente estado de humedad. Lillesand y Kiefer (1994: 648-649), Avery y Berlin (1985: 161) ofrecen una información complementaria acerca de la importancia de este tipo de sensor (Figura 1).

Los instrumentos sensores miden las variaciones espectrales espaciales y temporales en los campos energéticos. Los sensores captan las variaciones o los cambios periódicos de los paisajes del planeta teniendo en cuenta el Sol, la atmósfera y la energía reflejada, los cuales constituyen el principio general en la adquisición de datos de la percepción remota (Montoya, 1982). La mayor parte de las imágenes comunes del planeta a nivel regional operan dentro del rango del espectro electromagnético usados en la fotografía, por ejemplo el Ultravioleta (3 nanómetros a 0,4 micrómetros), el Visible (0,4 a 0,7 micrómetros), el Infrarrojo (0,7 a 14 micrómetros). Mather, M. P. (1991), Chuvieco (1990) y Avery y Berlin (1985 : 5 - 7) destacan la importancia del espectro y los sensores correspondientes. En cada uno de estos rangos los sensores ofrecen productos e imágenes acerca de los cuales se logra extraer información valiosa para los usuarios. Vale la pena recordar las ventajas del Infrarrojo cercano en los estudios que tienen que ver con el follaje de las plantas o su estado sanitario (Montoya, 1982). El infrarrojo es absorbido por las masas de agua y se expresa en color negro, por lo tanto es recomendable en los estudios de separación de aguas, también para establecer la calidad de drenaje o la presencia de zonas húmedas.

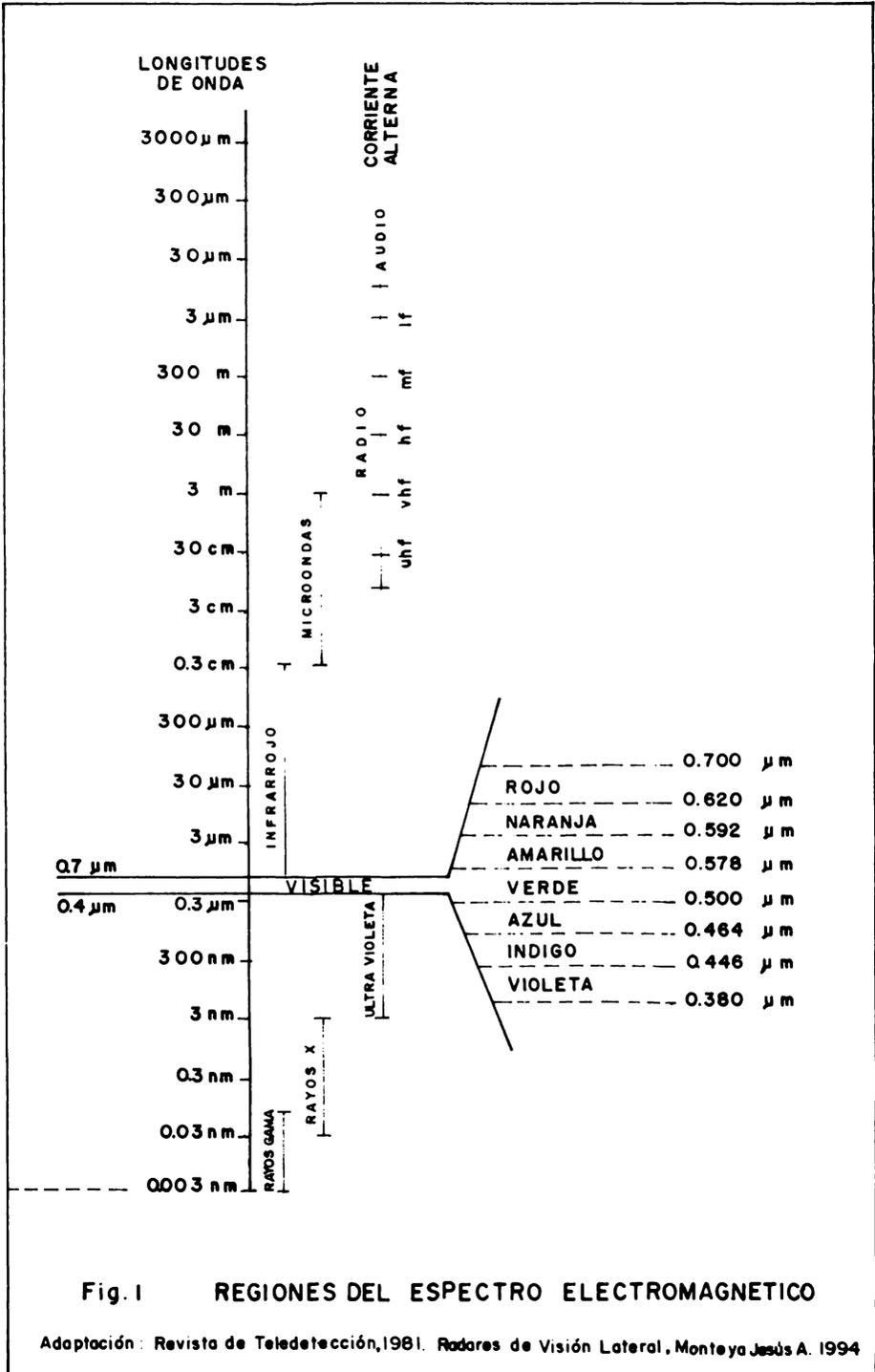


Fig.1 REGIONES DEL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

Adaptación: Revista de Teledetección, 1981. Radares de Visión Lateral, Montoya Jesús A. 1994

### **Energía electromagnética**

La Energía electromagnética constituye uno de los fundamentos más importantes para el funcionamiento de la percepción remota, así tenemos que cuando la radiación electromagnética intercepta la atmósfera o el agua se producen perturbaciones en su propagación, (Montoya, 1982), en este aspecto destacamos:

- absorción
- emisión
- dispersión
- refracción
- reflexión

Si tenemos en cuenta la absorción, (Lillesand y Kiefer, 1994), los gases más importantes son el oxígeno (vapor de agua), el ozono, el gas carbónico y el monóxido de carbono, los cuales tienden a absorber la radiación electromagnética, por lo tanto las magnitudes de onda varían en este proceso, (Chuvienco, 1990) destaca estos aspectos en el proceso de adquisición de imágenes (Figura 2).

Sin embargo, a pesar de la absorción de la radiación producida por la atmósfera para diferentes longitudes de onda existen zonas donde se logra el paso de un gran porcentaje de energía denominadas Ventanas atmosféricas, allí es donde se puede emplear con mucho éxito las técnicas de percepción remota (Montoya, 1982; Avery y Berlin, 1985).

La energía que llega hasta el sensor es detectada, transformada y registrada para los análisis correspondientes. Generalmente los registros de información pueden realizarse mediante fotografías o pantallas de televisión o mediante la forma digital y posterior imagen fotográfica, en este caso, trabajan los sensores fuera del espectro visible (radar) (Mather, 1991; Chuvienco, 1990; Lillesand y Kiefer, 1994; Avery y Berlin, 1985).

Los sensores han sido diseñados en procura de mejorar cada vez más la captación de objetos, "habilidad de distinguir o diferenciar los objetos separados", esto es lo que constituye el Poder de Resolución y sobre esta base también se elige el sensor de mejor resolución con el objeto de hacer más eficaz el proceso de fotointerpretación.

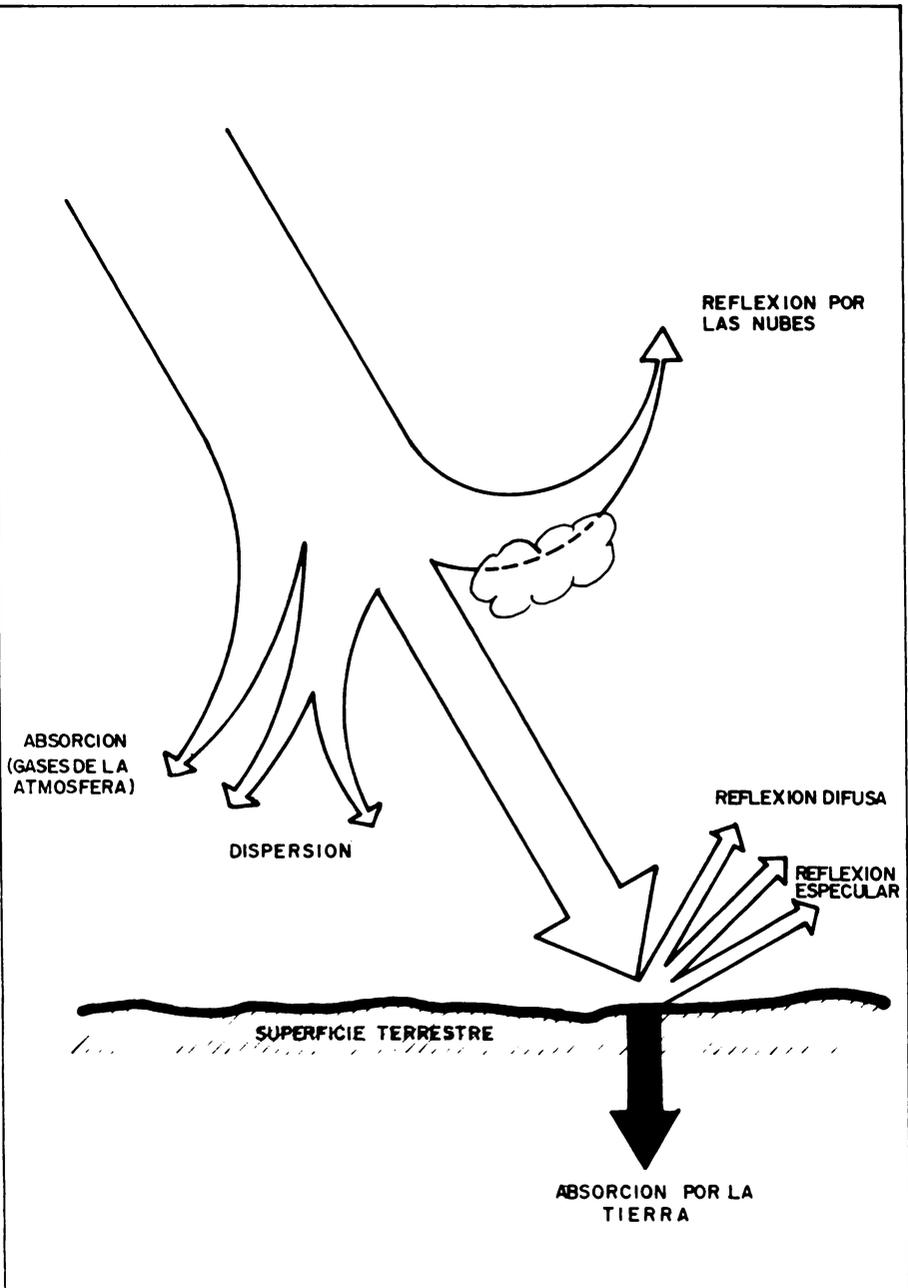


Fig. 2 TRANSFORMACIONES DE LA RADIACION ELECTROMAGNETICA

Adaptación: Texto Sensores Remotos, Montoya Jesús A, 1982

## *La percepción remota y el análisis del espacio geográfico*

Los sensores captan diversas bandas o porciones del espectro electromagnético (Resolución Espectral), también están en capacidad de lograr en diferentes lapsos de tiempo imágenes de un mismo objeto (Resolución Temporal) (Chuvieco, 1990; Montoya, 1982).

Cuando el sensor trabaja con las radiaciones de la energía solar se denominan pasivos, tales como la fotografía general y el barredor multispectral. Otros sensores emiten su propia energía, es decir, poseen su fuente de energía, los objetos de la Tierra que son impactados devuelven la energía reflejada, se denominan sensores activos, por ejemplo el radar.

La fotointerpretación, además de los fundamentos de la fotogrametría, se orienta al estudio general de las imágenes con el propósito de identificar, analizar, clasificar y luego proceder a establecer las deducciones para una mejor comprensión de los elementos que las integran. Realmente no es un proceso fácil, puesto que se requieren conocimientos previos de los aspectos que conforman el paisaje, por ejemplo, se pueden citar la geología, la geomorfología, la geografía, etc.. Entonces es necesario tener bien precisos los objetivos en trabajos de fotointerpretación. Además hay que considerar la selección de las líneas de vuelo, los recursos cartográficos, la escala, la comprobación de terrenos y la elaboración de leyendas. Ver por ejemplo a Arocha (1978); IGAC (1978); Allum (1978); Mather (1991); Lillesand y Kiefer (1994) y Avery y Berlin (1985).

Acerca de la escala, es reconocida su importancia para aquellos estudios que precisan del detalle. Escala de 1 : 10.000 o de 1 : 25.000 presentan buenas condiciones para relacionarlos con trabajos de uso del suelo. El área cubierta por las fotografías es una función de la escala, teniendo en cuenta la distancia principal de la cámara (c) y la altura de vuelo sobre el terreno, así por ejemplo, 1 : 10.000 abarca 500 hectáreas aproximadamente, 1 : 20.000 abarca al rededor de 200 hectáreas. Arocha (1978) destaca las ventajas y desventajas de las aerofotografías, De Agostini (1978) establece comparaciones entre las aerofotos y los mapas. Las aerofotos son fundamentales para la elaboración cartográfica y constituyen un recurso básico para tener una visión real e instantánea de los elementos que integran o delimitan la conformación de un determinado paisaje.

### **Leyendas en aerofotografías**

La organización y presentación final de la leyenda constituye un paso importante en la presentación del trabajo fotointerpretativo. Los elementos analizados como por ejemplo la geología, vegetación, hidrografía, geomorfología o usos del suelo, cada uno tendrá una leyenda particular relacionada con su esencia o contenido. No es aconsejable mezclar en el cuadro de leyenda de geología lo pertinente a otros elementos. La comprobación de terreno implica una rectificación para poder aspirar a construir un trabajo de fotointerpretación completo o al menos que cumpla un proceso de acercamiento hacia los elementos del espacio estudiado, Sthraller (1988), Avery y Berlin (1985).

Algunos ejemplos para tener en cuenta en la elaboración de leyendas:

Terrazas	T1 = Terraza alta no erosionada T2 = Terraza media erosionada T3 = Terraza baja muy erosionada
Montañas	M1 = Severamente erosionada M2 = Moderadamente erosionada M3 = Ligeramente erosionada
Colinas	C1 = Colina con pendiente fuerte C2 = Colina con pendiente moderada C3 = Colina con pendiente suave
Vegetación	V1 = con vegetación muy densa V2 = con vegetación poco densa
Espacios Urbanos	U1 = Vías de primer orden U2 = Vías de segundo orden U3 = Vías de tercer orden R1 = Residencias nuevas R2 = Residencias viejas M1 = Manzanas densas M2 = Manzanas menos densas

## *La percepción remota y el análisis del espacio geográfico*

Naturalmente es necesario recordar que las leyendas deben ser precisas con un mensaje de fácil captación.

A continuación un ejemplo sencillo de fotointerpretación para resaltar los elementos generales que integran el paisaje geográfico de un sector del municipio de Cota (altiplano de Bogotá). El mapa identifica la zona plana, perteneciente a la formación Sabana (Cuaternario), en la cual, se destaca la zona de producción hortelana: zanahoria, remolacha, acelga y espinacas, localizada en la parte izquierda de la población de Cota. Este uso del suelo posee las características del minifundio de producción. Otra zona importante, localizada en las vegas del Río Bogotá, está dedicada a la producción lechera en unidades de explotación mediana, es decir, entre 5 a 10 Ha o 10 Ha a 15 hectáreas aproximadamente. Estos tipos de trabajos realizados en una secuencia temporal, permiten al fotointerprete aportar los cambios más importantes en cuanto se relaciona con el uso del suelo.

En nuestro medio, los sensores remotos fotográficos son los de más amplia utilización. El Instituto Agustín Codazzi es la Institución estatal que tiene el control del cubrimiento del país y ofrece al usuario las líneas de vuelo que han sido programadas y a partir de ellas se ha organizado la Cartografía Nacional.

### **Las fotografías aéreas y los mapas**

Los espacios geográficos están cambiando y en muchas ocasiones es necesario analizar la dinámica de estos procesos, los cuales son de interés para muchas ramas del conocimiento (Mather, 1991; American Society of Photogrammetry, 1960; Lillesand y Kiefer, 1994; Avery y Berlin, 1985). La mayor parte de los mapas que se usan corrientemente han sido elaborados a partir de las fotografías aéreas, sin embargo, con frecuencia se requiere en nuestros estudios comparar mapas y fotografías aéreas. Debemos tener en cuenta que la proyección de una fotografía aérea es central, mientras que en el mapa es ortogonal. La escala de la fotografía tiende a variar, en el mapa es más bien uniforme. En las fotografías la representación geométrica no es correcta (intervienen el desplazamiento por la inclinación o distorsiones de las lentes), en el mapa la representación geométrica es correcta. El mapa es una representación abstracta con leyenda indispensable, la fotografía es una representación real de la corteza terrestre. Con este procedimiento de comparar mapas

y fotografías se pretende establecer algunas interpretaciones, en nuestro medio a veces no corresponden las escalas, en otros casos la carta cartográfica es demasiado vieja y desactualizada, pero, en algunos proyectos de trabajo deben combinarse con cuidado para un buen trabajo fotointerpretativo. Se recomienda complementación en Strhaller (1988), De Agostini (1978) y Joly (1988).

### **Aerofotografías**

Los sensores remotos fotográficos trabajan entre los 0,3 a 0,9 micrones, es decir, de una porción del Ultravioleta hasta el Infrarrojo cercano; las cámaras fotográficas y los barredores multispectrales tienen un campo de aplicación variado en este rango. Existe bastante literatura relacionada con los tipos y clases de fotografías, entre las cuales vale la pena recordar las pancromáticas, las blanco y negro, a color y las multispectrales. Las aerofotografías en blanco y negro representan una variedad de tonos grises, resultado de las diferentes longitudes de onda de los objetos. Cuando nos hallamos frente a una aerofotografía se inicia el proceso de lectura que consiste en identificar los objetos y sus relaciones entre sí, esto nos permite establecer comparaciones y diferencias según sea la forma o localización de los detalles en consideración. Los elementos se identifican el tamaño, la forma, el patrón, textura y ubicación de un espacio geográfico.

En la fotointerpretación se pueden obtener otros "mensajes" que dependen del entrenamiento y experiencia del fotointérprete, por ejemplo, las variaciones en la tonalidad de los suelos, el desarrollo de la vegetación, patrones de drenaje, dominancia de ciertos tipos de vegetación, casas, construcciones y otras obras realizadas por el hombre, aspectos que ayudan a enriquecer el proceso de análisis de aerofotografías, incluyendo naturalmente la comprobación de terreno. Se debe tener en cuenta que muchos elementos de una fotografía aérea se hallan afectados debido a factores atmosféricos, hora del día, ángulo del Sol, humedad del suelo y altura de vuelo. Entonces, de acuerdo con lo anterior podemos recomendar acerca de la selección de las líneas de vuelo y la calidad de las imágenes como requisitos indispensables para realizar un buen trabajo fotointerpretativo (Allum, 1978; Arocha, 1978; De Agostini, 1978; Lillesand y Kiefer, 1994).

## *La percepción remota y el análisis del espacio geográfico*

La información contenida en la fotografía aérea se utiliza para diferentes fines mediante el análisis de los elementos fotográficos que la integran y la deducción de su significado, labor realizada por el fotointérprete entrenado en estas labores y que debe poseer además un buen nivel de referencia en su campo profesional. El intérprete utiliza los atributos de la fotoimagen en las cuales la escala, la resolución y los elementos pictórico-morfológicos tales como la forma, el tamaño, el patrón, tonos grises, situación geográfica son elementos importantes para la identificación y análisis de sus interacciones. Las imágenes obtenidas mediante los sensores fotográficos (Remote Sensors) son la resultante de la interacción materia - energía particular de cada objeto. En una clase de elemento (agua o rocas) los procesos de reflexión o absorción son selectivos con respecto a la longitud de onda y específicos para cada uno, es decir, roca, agua, pastos o vegetación arbórea.

La fotografía aérea en síntesis puede concebirse como una "estructura de tonos de gris", estamos viendo un contraste tonal entre los objetos y sus alrededores. Aquella expresión de niveles de referencia son de tipo general o especializado que son aportados por el fotointérprete o grupo de fotointérpretes en el análisis y estudio de las fotografías aéreas, en este sentido, son importantes entonces los aportes que resulten para un trabajo fotointerpretativo de excelente calidad. El entrenamiento, la experiencia y el nivel de referencia permiten "sacarle" la mayor información a las imágenes fotográficas. El conocimiento especializado y las fotografías aéreas facilitan una mayor comprensión de las interrelaciones espaciales, no hay que olvidar: cada fotointérprete según sea su especialización tendrá su forma de interpretar, es decir, el geógrafo interpreta los eventos de manera diferente como lo puede hacer un edafólogo o un arquitecto experto en paisajes urbanos.

### **La visión estereoscópica**

Es conocido que cuando se observa un punto, cada ojo lo percibe de una manera independiente y luego de un proceso complejo las dos imágenes llegan al cerebro para convertirse en una imagen tridimensional. La visión estereoscópica también está en relación con la capacidad del observador de percibir las diferencias del paralaje, las cuales son los cambios en posición de la imagen de un mismo punto en las dos fotografías debido al cambio en posición de la cámara. Algunas personas tienen mayor visión estereoscópica que otras.

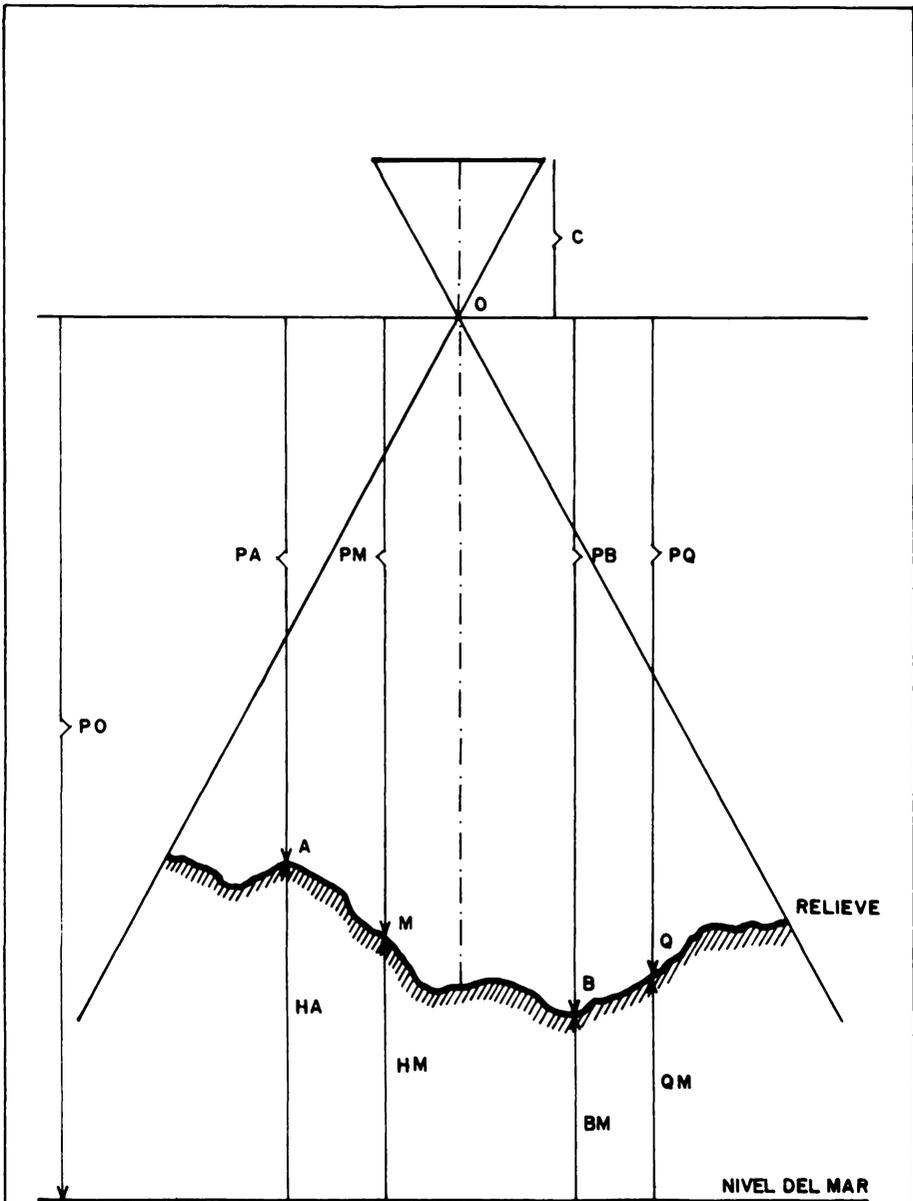


Fig. 3 RELACIONES : TERRENO Y ALTURAS DE VUELO

Adaptación : Texto Sensores Remotos, Montoya Jesús A., 1982

## *La percepción remota y el análisis del espacio geográfico*

Los estereoscopios son instrumentos diseñados para lograr la visión estereoscópica. El empleo de lentes o prismas permite a cada ojo ver la mitad correspondiente del estereopar. Los estereoscopios de bolsillo (de cuatro aumentos) facilitan en algunos casos el estudio detallado de pequeñas secciones de las fotografías. Su empleo se ajusta a una distancia aproximada de 65 mm. y a un campo estrecho de las fotografías. Los estereoscopios de espejos se reflejan en sistemas de espejos o prismas. La distancia entre puntos homólogos puede estar entre 21 a 26 cm., permite la observación de una fotografía completa de un tamaño de 23 x 23 cm..

### **Mediciones y cálculos en fotografías aéreas**

Las operaciones que se realizan con base a la escala de la fotografía aérea para mediciones o cálculos de áreas hacen parte de la fotogrametría (mediciones a partir de la fotografía), este aspecto es de mucha utilidad en el manejo de las aerofotografías, puesto que complementariamente se pueden realizar otros tipos aproximados de cálculos matemáticos.

Ya habíamos recordado la importancia de escalas de 1 : 10.000, de 1 : 25.000 o 1 : 30.000 para estudios o trabajos detallados, lo cual, requiere de una cuidadosa selección de líneas de vuelo con la escala adecuada. La bibliografía recomendada en esta síntesis permite recordar las operaciones matemáticas para los cálculos de mediciones o áreas que facilitan las tareas del fotointérprete en su trabajo de gabinete.

La adaptación de la figura permite identificar las relaciones entre la distancia principal ( $c$ ) y la altura absoluta de vuelo ( $P$ ) para la obtención de la escala de la fotografía. La suma del segmento  $P_A + H_A$  indica  $P_o = P_A + H_A$ , en la cual,  $P_A$  es la altura de vuelo para el punto más alto y  $H_A =$  altura del punto más alto (Figura 3).

$c$  = distancia principal

$P$  = altura de vuelo

$H$  = altura del punto

$$P_o = P_A + H_A$$

$$P_o = P_B + H_B$$

$$P_o = P_M + H_M$$

$$P_M = (P_A + P_B) / 2$$

$$H_M = (H_A + H_B) / 2$$

$P_O$  = altura absoluta de vuelo

$P_A$  = altura de vuelo para el punto más alto

$H_A$  = altura para el punto más alto

$P_B$  = altura de vuelo para el punto más bajo

$H_B$  = altura del punto más bajo

$P_M$  = altura media de vuelo

$H_M$  = altura media del punto

Cuando se tiene a mano la fotografía aérea y los correspondientes mapas con las escalas conocidas, entonces se simplifican los ejercicios para establecer los tipos de mediciones generales. Otros cálculos de áreas están también explicados en los textos de cartografía, por ejemplo, el empleo de papel cuadrículado o la red de puntos, incluyendo además el indispensable planímetro.

### **Aplicaciones de los sensores remotos**

Con el objeto de resaltar la importancia de los sensores remotos, se presenta una breve lista de sus aplicaciones en las cuales se destacan algunos campos dentro de su extensa variedad. Se recomienda al lector profundizar en la bibliografía especializada acerca de los avances de las aplicaciones de los sensores remotos cada vez más interesantes y novedosos en las diversas ramas del conocimiento.

Para trabajos de fotogeología se pueden considerar aspectos relacionados con el tono, textura y patrón producido por las rocas, la vegetación, el patrón de drenaje, las características de las rocas, el diaclasamiento, la estratificación, contactos, material superficial y uso de la tierra. Como puede verse no es una tarea tan sencilla para un fotogeólogo. Allum (1978: 48) admite que el tono de la fotografía puede ser afectado por la naturaleza de la aerofotografía, condiciones de luminosidad, calidad de la película y proceso de revelado.

La geología es la base para el estudio de todos los recursos naturales. La fotogeología hace posible obtener toda una valiosa información con

## *La percepción remota y el análisis del espacio geográfico*

respecto a la estructura geológica de un determinado lugar, equivalente a la descripción morfológica, los tipos de rocas, las relaciones estratigráficas, las fallas geológicas y los procesos particulares de la tectónica local o regional, establecer la magnitud catastrófica y proponer los mecanismos de control.

Lillesand y Kiefer (1994: 178) destacan la importancia de la fotointerpretación en la identificación y evolución de los recursos geológicos. Avery y Berlin (1985: 287) destacan la importancia de las aereofotos como el mecanismo usado hoy día para la identificación de geoformas, patrones de drenaje, rasgos estructurales, fallas geológicas y unidades litológicas.

Las aerofotografías son valiosas para el fotogeólogo con relación a la configuración del paisaje y la estructura de sus rocas. Las aerofotos brindan apoyo efectivo a los proyectos o planes de desarrollo, en los cuales la ingeniería asume el papel principal. Indudablemente las consideraciones de tipo geológico y de condiciones de los suelos complementarán los intereses del ingeniero en la construcción de carreteras, edificaciones, embalses, represas, viaductos, aeropuertos, etc.

Finalmente el fotointérprete debe preparar los fotomosaicos que permitan un análisis que incluya aspectos relacionados entre otros con la geología, la morfología, la pendiente, la cubierta vegetal, el uso del suelo y las condiciones de drenaje.

Mediante las fotografías aéreas se logra una buena aproximación en el análisis y clasificación de la cubierta vegetal de un determinado espacio geográfico. La silvicultura y los recursos forestales son objeto de cuidadoso estudio y las aerofotografías facilitan la importancia de su estudio. Lillesand y Kiefer (1985: 192 - 193) señalan la necesidad de conservar los bosques tanto para la vida silvestre como también para la recreación.

En nuestro medio los Fotomosaicos permiten evaluar por ejemplo el retroceso de los manglares en zonas costeras, plantean inquietudes para atacar el problema y naturalmente proponer los procesos de recuperación. De igual manera se puede determinar el mapeo de los tipos de bosque para la región Andina, la Orinoquía o la Amazonía, en los cuales se manifiestan los efectos de la tala indiscriminada. Es interesante destacar

los tipos de trabajos que se relacionan con el avance de la tala de los bosques o de los programas de reforestación. En las zonas costeras de nuestro país también se ha logrado determinar la frecuencia de sitios que reflejan el retroceso de los manglares, como también los recursos madereros de la Amazonía y del Pacífico.

Aquella parte de la Geografía que se relaciona con el desarrollo de las ciudades encuentra en las aerofotografías un recurso importante para establecer el mapeo de grandes, medianas o pequeñas ciudades dentro de un marco regional; en este sentido Avery y Berlin (1985: 377) señalan la particular aplicación de la fotointerpretación en el uso del suelo, el área mapeada, el monitoreo ambiental, estudios para la recreación al aire libre, selección para edificación y planeación de desarrollo urbano. Además destacan las secuencias de aereofotos para la reconstrucción y los cambios en el crecimiento urbano y también los planos para cambios futuros.

Necesariamente los espacios urbanos cambian o se transforman cuando los planes gubernamentales impulsan programas de reordenamiento del transporte, de áreas recreacionales, de construcciones de edificios, de centros residenciales o industriales. El análisis secuencial temporal de aerofotografías identifica las tendencias del crecimiento de la malla urbana, de localizar las zonas deprimidas, sectores industriales, áreas residenciales y finalmente espacios para el desarrollo potencial de las ciudades.

Con respecto a los hallazgos de tipo arqueológico, Lillesand y Kiefer (1985: 229) anotan cómo las aereofotos han facilitado la localización de sitios perdidos en la historia. Los arqueólogos han logrado detectar sitios de interés históricos mediante el empleo de las aerofotos.

Las aerofotos han permitido al experimentado fotointérprete identificar ruinas, montículos, pilas de rocas, canales u otros vestigios hechos por el hombre. En este aspecto se citan los hallazgos más conocidos tales como las Líneas de Nasca (Perú), las estructuras de rocas de Stonehenge (Inglaterra), las ruinas de Spina (Italia) y el gran número de villas romanas en el norte de Europa (Francia). En Colombia las más conocidas son los Canales de Riego del Río San Jorge.

La aplicación de fotografías en estudios de morfología fluvial ofrece

## *La percepción remota y el análisis del espacio geográfico*

información interesante relacionada con el comportamiento o dinámica de los ríos de algún sector del planeta. El sustrato del río, la calidad de los minerales, la sedimentación, la velocidad y capacidad del cauce, su longitud y los procesos que desarrollan los ríos, son entre otros factores importantes en la organización de los paisajes morfológicos fluviales en los cuales también el tiempo geológico y el clima juegan un importante papel. Teniendo en cuenta las clases de rocas, el relieve y el clima, las aerofotografías logran la identificación de la organización de las redes de drenajes. En climas áridos, húmedos y templados los patrones de drenaje son diferentes debido a la influencia en cada caso de factores geológicos, edafológicos, de la pendiente, de la vegetación, etc.

La dinámica fluvial logra además el arrastre y deposición de gran cantidad de materiales, en otros casos realiza un trabajo de desgaste o erosión a lo largo de su recorrido. Los ríos construyen abanicos, forman terrazas, llanuras y finalmente deltas, cada una de estas formas se originan por el concurso de otros factores inclusive de orden geológico. El fotointérprete logra identificar las geoformas de origen fluvial según sean los propósitos de su investigación (Lillesand y Kiefer, 1985: 278 - 285).

La utilización de las fotografías aéreas para la identificación de eventos catastróficos tiene también un gran valor. Para el caso colombiano tenemos la periodicidad y repetición de los llamados desastres naturales que guardan relación con la acción del hombre. Con base a las fotografías aéreas se pueden localizar zonas de la región Andina en las que se repiten eventos catastróficos debido al irracional manejo de las vertientes. Estos procesos alteran de manera extraordinaria el paisaje. Otro aspecto que trata Lillesand y Kiefer (1985: 192 - 193) están relacionados con la polución de aguas debido a los contaminantes especialmente provocados por el hombre. La estimación de los riesgos por inundación pueden ser bien demarcados por las aerofotos; los planes de desarrollo regional o urbano requieren de una información rápida y económica para adelantar sus proyectos, la fotointerpretación facilita estudios o estimaciones de manera oportuna.

Lillesand y Kiefer (1985: 186 - 191) consideran tres áreas importantes de la fotointerpretación aplicada a la agricultura:

1. Identificación de los tipos de cultivos así como la evolución del crecimiento durante las etapas de su ciclo.
2. Evolución de los cultivos, en aerofotos de escala grande, para evaluar aspectos relacionados con enfermedades o plagas de los mismos.
3. La estimación de los cultivos teniendo en cuenta las unidades de campo y las condiciones del suelo.

Mediante las aerofotografías también se pueden identificar el uso del suelo, clasificar los tipos de cultivos y mapear el tamaño de las unidades de producción. El geógrafo está en capacidad, con base a las aerofotografías y las escalas recomendadas, de proponer proyectos regionales con una información valiosa en lo que se relacionan, el reconocimiento y delimitación de una zona de estudio. Puede delinear e identificar grandes unidades morfológicas, trazar redes de drenaje, definir las cuencas hidrográficas, trazar las vías o sistemas de accesibilidad, separar la cobertura vegetal, identificar el uso del suelo, localizar asentamientos humanos, establecer relaciones hombre - clima , identificar "sitios" críticos que representen la posibilidad de eventos catastróficos, localizar zonas con gran deterioro ambiental, delinear la malla urbana y zonas potenciales para la expansión de las ciudades. Estos aspectos trazados y clasificados con unidades de mapeo hacia la cartografía temática, constituyen recursos fundamentales en su labor de fotointérprete de las expresiones de las fotoimágenes para lograr una buena aproximación y síntesis de la zona de estudio de manera integrada.

### **Radar y satélites**

Los países que están desarrollando programas de investigación espacial y de reconocimiento de recursos terrestres están utilizando además de las imágenes de satélite (LANDSAT), el radar como sensor remoto más eficaz, puesto que trabaja en condiciones atmosféricas difíciles, Lillesand y Kiefer (1994).

El radar es un sensor moderno para el estudio de los recursos naturales. Su gran ventaja se desprende de la capacidad que tiene para producir información independiente de la Radiación Solar. Posee un sistema de emisión y captación de ondas que le permite operar de día o

## *La percepción remota y el análisis del espacio geográfico*

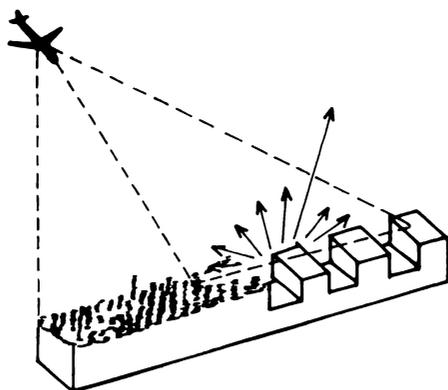
de noche y en las condiciones atmosféricas más severas. Las Micro Ondas son el rango del espectro en el cual trabaja el radar. Es un sensor no fotográfico puesto que su imagen no se forma en una emulsión fotosensible.

Generalmente el radar formador de imágenes trabaja en longitudes de onda que varían entre 1,0 a 30,0 cm.. La banda C (3,75 a 7,5 cm., 4 a 8 GHz) muy útil en estudios de recursos naturales, tiene buena capacidad de penetración y calidad de imagen. El radar puede estar colocado en un satélite o ser transportado por un avión (Montoya, 1975, Avery y Berlin, 1985). El haz energético es emitido en dirección oblicua hacia los objetos, los cuales absorben, reflejan algo o reflejan en muchas direcciones las ondas y luego el radar se encarga de recibirla (ondas de retorno). El sistema asigna valores a las lecturas de los objetos impactados por las ondas del radar. Los datos de la película de señales se transforman en dígitos y se registran en cintas para luego pasar al mercado como cintas compatibles con computador o en producto fotográfico (Figura 4).

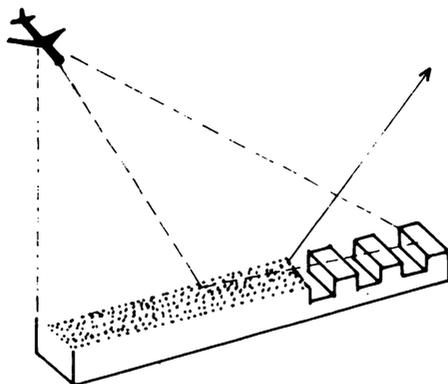
La observación lateral se obtiene en forma oblicua con los objetos observados. La información técnica de cómo operan los sistemas de satélite LANDSAT, SPOT, ERS - 1 puede obtenerse en Lillesand - Kiefer (1994), Avery - Berlin (1985) y en la bibliografía final de este resumen.

El radar (Radio Detection and Ranging), es el sensor que capta señales de micro-ondas, el mismo genera su energía (sensor activo) y puede trabajar en satélites, aviones, barcos, etc.. Los radares formadores de imágenes se están empleando en; hidrografía, oceanografía, meteorología, geología, ingeniería forestal, agricultura y cartografía.

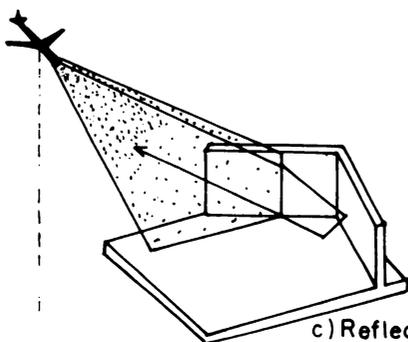
El radar también tiene aplicación en la medición de la temperatura de la superficie, estudios sobre capas de hielo, identificación de capas de polución, velocidad del viento, olas, etc.. La interpretación de las imágenes de radar es un poco difícil, la proyección oblicua provoca distorsiones, la radargrametría es una técnica compleja, el mercado de los productos de radar tiene un costo elevado y finalmente no todos los usuarios son capaces de interpretar imágenes de radar.



a) Reflector difuso : Rugosidad intermedia del terreno



b) Reflector especular : Superficie plana



c) Reflector de esquina

Fig. 4 . FUNCIONAMIENTO DE RADAR

Adaptación. Texto Sensores Remotos, Montoya Jesús A. 1982

## *La percepción remota y el análisis del espacio geográfico*

Existe un gran número de firmas comerciales (Francia, Canadá, U.S.A., Inglaterra, Japón) que ofrecen sus servicios para trabajos específicos con base a imágenes de radar. lo cual demuestra la importancia de este tipo de sensor. Podríamos destacar el aporte del radar en los estudios geológicos de tipo estructural en áreas boscosas y con permanente nubosidad (trópico húmedo). El radar tiene un buen grado de sensibilidad para detectar diferencias texturales en los materiales de la corteza terrestre, mediante el radar se han podido desarrollar trabajos cartográficos en:

- Calizas con base a la morfología kárstica.
- Diferentes tipos de coladas volcánicas.
- Depósitos glaciares y fluvioglaciares.
- Depósitos de abanicos aluviales.
- Discontinuidades topográficas (Téctonica).
- Mantos de arenas eólicas.

En nuestro medio fue muy valioso el radar para el levantamiento cartográfico de la Amazonía colombiana: "Proyecto Radargramétrico del Amazonas", el cual se mapeó como elemento fundamental del paisaje. En esta zona se identificaron:

- Paisaje aluvial.
- Paisaje o superficie de denudación.
- Paisaje de terrazas antiguas.
- Paisaje de colinas estructurales.

Los éxitos de los vuelos orbitales contribuyen a perfeccionar los sensores espaciales orientados en un principio hacia los recursos terrestres. Es impresionante el número de satélites en órbita terrestre circumpolar y geoestacionarios (ecuatoriales) cumpliendo tareas específicas de tipo científico, militar, comercial, etc., por ejemplo en meteorología vale la pena citar las tareas de GEOSAT (1, 2, 3), NOAA, METEOSAT, METEOR, GOES (Lillesand y Kiefer, 1994) (Figura 6).

Finalmente para destacar las proyecciones en los programas ERS 1 y 2, RADARSAT, JERS - 1 del Japón, SIR - A, SIR - B y ALMAZ de la Unión Soviética, son los más conocidos y con una difusión suficiente para el público interesado.

Lillesand y Kiefer (1994: 427) anotan cómo muy corrientemente nosotros dependemos de los sensores espaciales, los cuales, permiten establecer la predeción del tiempo, los pronósticos de cosechas, la detección de la polución y la pesca comercial. Todos estos aspectos han ocurrido en un corto período de tiempo y los sensores espaciales siguen aportando importantes cambios en la observación terrestre.

La literatura disponible destaca el aporte de los satélites encargados de la vigilancia del medio ambiente, el inventario forestal, de proyecciones de petróleo y otros recursos minerales, en programas de regadíos, de aplicación de estadística, de prevención de desastres, de clima terrestre, etc.. Uno de los primeros programas del satélite ERTS - 1 (Earth Resource Technology Satellite) denominado más tarde LANDSAT, ha tenido notables éxitos en sus estudios de investigación espacial. Los satélites orbitales están equipados con los más modernos sensores para adelantar trabajos en cualquier rango del espectro tales como Thematic Mapper (TM) o el MSS que opera en diferentes bandas del espectro electromagnético. (Avery y Kiefer, 1985). Estos satélites circundan la Tierra, en algunos casos utilizan la energía solar (sensores pasivos) o durante la noche en el rango infrarrojo. La energía reflejada es captada por los sensores y registrada en forma digital. Algunas de las bandas espectrales están en capacidad de penetrar cuerpos de agua somera o superficial, reflectancia de la vegetación vigorosa, contenido de humedad de las plantas y el suelo, discriminar tipos de rocas, separar agua y relieve. La comparación a color es uno de los productos más solicitados para identificar tipos de color de la cobertura terrestre, por ejemplo:

- Blanco para nubes y nieve.
- Azul claro para suelo desnudo o agua con sedimentos.
- Azul para áreas urbanas.
- Azul oscuro para agua clara.
- Rojo para vegetación.
- Amarillo para suelo y rocas rojizas.

Actualmente están en operación LANDSAT - 4 Y LANDSAT - 5 que trabajan con el Barredor Multiespectral y el Mapeador Temático (TM). Por otra parte la Comunidad Europea tiene en funcionamiento el programa ERS - 1 (European Remote Sensing Satellite), orientado a estudios científicos del medio ambiente, el balance de las capas de hielo del Artico y el Antártico, la circulación oceánica, la polución y cambios

## *La percepción remota y el análisis del espacio geográfico*

en el uso de la tierra; Lillesand - Kiefer (1994). La familia SPOT (Satélite para la Observación Terrestre) ha estado realizando importantes tareas en los campos de la ciencia, medio ambiente, recursos naturales y los que le asignen las grandes empresas relacionadas con el espacio terrestre, (Lillesand - Kiefer, 1994). Los sensores del SPOT están conformados por el HRV (Haute Resolution Visible), en el campo espectral trabaja con el modo pancromático (P) con un rango de 0,51 a 0,73 micrones y XS modo multiespectral de tres bandas.

Desafortunadamente en este resumen no se pueden presentar los productos o imágenes de estos tipos de sensores y sus aplicaciones, los cuales, pueden ser apreciados o analizados en revistas especializadas en sensores remotos orbitales.

### **Referencias bibliográficas**

Avery, T. E. y Berlin, L. G. (1985). *Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation*. New York.

Allum, J. A. (1978). *Fotogeología y cartografía por zonas*. Madrid. España.

Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de teledetección espacial*. Ed. RIALP, S.A. Madrid. España.

C.I.A.F. (1981). *Imágenes y datos de percepción remota*. Bogotá. Colombia.

De Agostini, R. D. (1978). *Introducción a la fotogrametría*. Bogotá. Colombia.

Flint y Lingwell. (1988). *Geografía Física*. Barcelona. España.

Hurtado, P. G. (1983). *Utilización de las imágenes LANSAT en la mapeación de los bosques colombianos*. Bogotá. Colombia.

INSTITUTO INTERNACIONAL PARA LEVANTAMIENTOS AEREOESPACIALES Y CIENCIAS TERRESTRES (1988). *Curso básico de cartografía para tecnólogos*. Bogotá. Colombia.

- I.T.C. (1988). *Cartografía*. Bogotá. Colombia-Enschede. Holanda.
- I.G.A.C. (s.f.). *El uso de mapas y fotografías aéreas*. Bogotá. Colombia.
- (1978). *Manual de percepción remota en geografía física*. Bogotá. Colombia.
- (1984). *Manual de percepción remota en geografía física*. Bogotá. Colombia.
- Joly, F. (1988). *La cartografía*. Oikos-tan, S.A. Barcelona. España.
- Lillesand, M. T. y Kiefer, W. R. (1994). *Remote sensing and image interpretation*. New York.
- Mather, P. M. (1991). *Computer applications in geography*, John Wiley and sons. New York.
- MOLINA, L. C. (1973). *El uso del radar en estudios de evolución de recursos naturales*. Bogotá. Colombia.
- Strhaller, A. (1988). *Geografía Física*. Barcelona. España.
- Strandberg, C. (1975). *Manual de fotografía aérea*. Ed. Omega. Barcelona. España.