

SENSORAMIENTO REMOTO SATELITAL

MARIO ALEJANDRO AGUILERA PAYARES

JAVIER MAURICIO HERRERA CASTRO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ÁREA DE AUTOMATIZACIÓN

CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C

2007

SENSORAMIENTO REMOTO SATELITAL

MARIO ALEJANDRO AGUILERA PAYARES

JAVIER MAURICIO HERRERA CASTRO

MONOGRAFÍA PARA OPTAR A LOS TITULO DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

DIRECTOR:

EDUARDO GÓMEZ VÁSQUEZ

MAGÍSTER EN CIENCIAS COMPUTACIONALES

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ÁREA DE AUTOMATIZACIÓN

CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C

2007

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	10
1. CONCEPTO DE SENSORAMIENTO REMOTO SATELITAL	13
1.1. ELEMENTOS DE UN PROCESO DE SENSORAMIENTO REMOTO.....	15
1.2. RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.....	17
1.3. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.....	20
1.4. INTERACCIONES ATMOSFÉRICAS.....	23
1.5. INTERACCIONES DEL OBJETIVO	28
2. SISTEMAS DE SENSORES.....	30
2.1. SISTEMAS GLOBALES DE ADQUISICIÓN.....	31
2.1.1. CÁMARAS AÉREAS.....	31
2.1.2. LA CÁMARA VIDICÓN CON RETORNO DE RAYO	32
2.2. SISTEMAS DE ADQUISICIÓN SECUENCIAL	33
2.2.1. SENSORES PASIVOS	33
2.2.2 SENSORES ACTIVOS	40

3. PLATAFORMAS DE SENSORES REMOTOS	48
3.1. BARCOS.....	48
3.2. GLOBOS.....	49
3.3. AVIONES.....	49
3.3.1. VENTAJA DE LOS AVIONES.....	50
3.3.2. DESVENTAJA DE LOS AVIONES	50
3.4. SATÉLITES	51
3.4.1. PARÁMETROS ORBITALES.....	52
3.4.2. PLATAFORMAS SATELITALES	57
4. FUNCIONAMIENTO Y ANATOMIA DE LOS SATÉLITE	69
4.1. COMO FUNCIONAN LOS SATÉLITES.....	70
4.2. ANATOMÍA DE UN SATÉLITE.....	72
4.2.1. SUBSISTEMA DE ESTRUCTURA	74
4.2.2. SUBSISTEMA DE PROPULSIÓN	75
4.2.3. SUBSISTEMA DE CONTROL DE ORIENTACIÓN.....	75
4.2.4. SUBSISTEMA DE POTENCIA	76
4.2.5. SUBSISTEMA DE TELEMETRÍA SEGUIMIENTO Y ÓRDENES	77
4.3. RESOLUCIÓN DE LOS DATOS DE LOS SATÉLITE	78

4.3.1	RESOLUCIÓN ESPACIAL, TAMAÑO DEL PIXEL, Y ESCALA.....	78
4.3.2.	RESOLUCIÓN ESPECTRAL.....	80
4.3.3.	RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA.....	81
4.3.4.	RESOLUCIÓN TEMPORAL	83
5.	RECEPCIÓN DE DATOS, TRANSMISIÓN Y PROCESAMIENTO.....	86
5.1	ADQUISICIÓN DE DATOS MEDIANTE SATÉLITES DE ESCANEEO.....	88
5.1.1.	FORMATO DE LA IMAGEN	88
5.2.	PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.....	90
5.2.1.	IMÁGENES DIGITALES.....	91
5.2.2	DESPLIEGUE DE LOS DATOS	92
5.2.3	PROCESAMIENTO DE IMAGEN.....	93
5.2.4.	INTERPRETACIÓN DE LA IMAGEN.....	98
5.3.	RECONOCIMIENTO DE PATRONES.....	98
5.4.	TRANSFORMACIONES DE LA IMAGEN	99
6.	APLICACIONES	100
6.1.	AGRICULTURA.....	101
6.1.1.	SENSORAMIENTO REMOTO EN LA AGRICULTURA.....	102
6.2.	GEOLOGÍA.....	103

6.2.1. <i>SENSORAMIENTO REMOTO EN LA GEOLOGÍA</i>	103
6.3.1 <i>SENSORAMIENTO REMOTO EN LA HIDROLOGÍA</i>	104
6.4 <i>DETECCIÓN DEL DERRAMAMIENTO DEL ACEITE</i>	105
6.4.1 <i>SENSORAMIENTO REMOTO EN EL DERRAMAMIENTO DEL ACEITE</i>	106
6.5. <i>DETECCIÓN DE INCENDIOS</i>	107
6.5.1. <i>EL SENSORAMIENTO REMOTO EN LA DETECCIÓN DE INCENDIOS</i>	108
6.5.2. <i>UNIDADES DE VIGILANCIA</i>	111
6.6. <i>SENSORES REMOTOS EN EL CIOH</i>	116
7. <i>CONCLUSIONES</i>	122
8. <i>BIBLIOGRAFÍA</i>	124
9. <i>GLOSARIO</i>	127

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. Sensoramiento Remoto satelital, Fuente: http://www.esa.int/.....</i>	13
<i>Figura 2. Proceso del sensoramiento Remoto, Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca</i>	15
<i>Figura 3. Onda Electromagnética, Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca.....</i>	18
<i>Figura 4. Diferentes frecuencias de ondas electromagnéticas,</i>	19
<i>Figura 5. Espectro electromagnético, Fuente: Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca</i>	22
<i>Figura 6. Interacción Atmosférica, Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca.....</i>	23
<i>Figura 7. Interacción Atmosférica, Fuente: Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca... </i>	24
<i>Figura 8. Distancia que viaja la radiación solar Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca</i>	25
<i>Figura 9. Dispersión no selectiva - Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca</i>	26
<i>Figura 10. Absorción - Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca.....</i>	27
<i>Figura 11. Reflexión especular, Fuente: http://www.fao.org</i>	29
<i>Figura 12. Sensores Pasivos, Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca</i>	33
<i>Figura 13. Componentes de una señal pasiva de microondas. Fuente: http://www.fao.org</i>	34
<i>Figura 14. Diagrama de un explorador de barrido, Fuente: www.escet.urjc.es</i>	36

<i>Figura 15. Diagrama de un explorador de empuje, Fuente: www.escet.urjc.es.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 16. Diagrama de un sensor de vidicón</i>	<i>38</i>
<i>Figura 17. Figura de Sensor Activo, Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 18. Lidar en diferentes superficies, Fuente: http://www.dielmo.com.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 19. Satélites para sensoramiento remoto</i>	<i>51</i>
<i>Figura 20. Orbita Geosincrónica, Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca</i>	<i>53</i>
<i>Figura 21. Orbita Heliosincrónicas, Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca</i>	<i>55</i>
<i>Figura 22. Satélite Landsat, Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca</i>	<i>58</i>
<i>Figura 23. Satélite NOAA, Fuente: http://library01.gsfc.nasa.gov</i>	<i>61</i>
<i>Figura 24. Satélite Nimbus, Fuente: http://jwocky.gsfc.nasa.gov.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 25. Satélite Goes/Meteosat, Fuente: www-istp.gsfc.nasa.gov/.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 26. Satellite SPOT - HRS, Fuente: www.sat.cnpm.embrapa.br.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 27. SPOT-HRV, Brasilia/DF, Fuente: www.sat.cnpm.embrapa.br</i>	<i>66</i>
<i>Figura 28. Satélite Sputnik 1, Fuente: www.galeon.com.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 29. Configuración del LANDSAT, Fuente: http://www.fao.org.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 30. Resolución Espacial, Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 31. Resolución Espectral, Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca</i>	<i>80</i>
<i>Figura 32. Resolución radiométrica, Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 33. Resolución temporal, Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca</i>	<i>84</i>
<i>Figura 34. Recepción de datos, transmisión y procesamiento,.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 35. Esquema de la ordenación de los datos en una imagen satelital,</i>	<i>88</i>
<i>Figura 36. Procesamiento digital, Fuente: http://www.fao.org.....</i>	<i>90</i>

<i>Figura 37. Transformación de la imagen, Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca.....</i>	99
<i>Figura 38. Terreno agrícola supervisado satelitalmente. Fuente:</i>	
<i>http://www.ccrs.nrcan.gc.ca</i>	101
<i>Figura 39. Imagen satelital. Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca.....</i>	104
<i>Figura 40. Imagen satelital de derramamiento de petróleo. Fuente:</i>	
<i>http://www.ccrs.nrcan.gc.ca</i>	105
<i>Figura 41. Imágenes de Satélite de las zonas de Estudio, Cartagena LANDSAT7</i>	
<i>1997, Golfo de Morrosquillo LANDSAT7 1998, Golfo de urabá (Bahía Colombia)</i>	
<i>SPOT 1989,</i>	121

INTRODUCCIÓN

El sensoramiento remoto satelital es un proceso que ha alcanzado altos niveles de desarrollo tecnológico, esta técnica que permite realizar observaciones desde posiciones diferentes a las efectuadas al nivel de la tierra, sirve de apoyo a diversas ciencias de cara a un conocimiento más avanzado del espacio que nos circunda.

El sensoramiento remoto ocupa un lugar notable en aplicaciones industriales, agrícolas, ambientales, catastrales, militares y de ordenamiento territorial, lo cual subraya el interés de este proceso para una amplia gama de disciplinas que pone de manifiesto la necesidad de esta tecnología, donde también constituye un apoyo muy conveniente para reducir costos y realización de proyectos que de otra manera no se podrían ser llevados a cabo.

El acelerado crecimiento de las aplicaciones de los sensores remotos en diferentes sectores de la ciencia se debe en gran parte a la disponibilidad y accesibilidad de la información así como de herramientas, hardware y software para el tratamiento y elaboración de datos.

La naturaleza de la obtención de datos mediante el sensoramiento remoto esta influenciada por la interacción de las diferentes partes, constituyentes de un sistema, tales como:

La fuente de energía, en la cual influyen el ángulo de elevación y la divergencia solar.

La cubierta terrestre, en la que intervienen las características físicas, químicas y la rugosidad de la superficie en un instante de tiempo.

El sensor, el cual influye en la geometría de la toma de la calidad de datos.

Y la atmosfera, especialmente en lo que se refiere a la dispersión de la radiación electromagnética.

Todos estos factores ponen en manifiesto la complejidad intrínseca de la observación remota, ya que modifican las firmas espectrales características de los diferentes tipos de cobertura. Aun así en las actualidad una de las grandes ventajas de las imágenes por satelitales es que, dado su formato, permiten su manipulación con computadoras.

El tratamiento digital permite llevar a cabo gran cantidad de análisis, que antes era imposible de realizar mediante interpretación visual debido a su complejidad, tiempo requerido, etc. El procesamiento digital incluye el análisis estadístico y matemático de las características de los datos.

Los modelos que se elaboran para interpretar los datos de sensoramiento remoto, deberán tener como objetivo eliminar los efectos ocasionados por la variabilidad en las condiciones de captación, la distorsión provocada por la atmósfera, y la influencia de parámetros tales como la posición del Sol, pendiente, exposición, y altitud.

El sensoramiento remoto satelital ofrece grandes posibilidades para la fácil obtención de información de la superficie terrestre, aunque todavía no se ha logrado todo lo que de ella se esperaba, se deben realizar mejoras en el nivel de resolución espacial, espectral y temporal de los datos. Además, es necesario un mayor rigor científico en la interpretación de los resultados obtenidos.

El contenido de la monografía es desarrollada por capítulos, en los primeros capítulos encontramos los conceptos fundamentales para el entendimiento del sensoramiento remoto satelital, posteriormente se realiza un estudio de los tipos de sensores y las plataformas donde pueden ser ubicados, luego se abordan temas claves como son los satelites, resolución de datos en los satélites, recepción de datos, transmisión y procesamiento, para finalizar se muestran algunas aplicaciones del sensoramiento remoto satelital desmostrando que este proceso es muy util en muchos campos.

1. CONCEPTO DE SENSORAMIENTO REMOTO SATELITAL¹

El sensoramiento remoto es una técnica que ha ido evolucionando aceleradamente durante las últimas décadas con la llegada de la tecnología satelital, sus orígenes se ubican con el inicio de las actividades aeronáuticas a principio de siglo XX para ir evolucionando con el desarrollo de las actividades espaciales. Hoy en día, las definiciones de teledetección se utilizan para describir las actividades que realizan los satélites, trasbordadores espaciales o determinado tipo de aviones. Las siguientes definiciones establecen algunos parámetros de lo que la comunidad científica considera a la palabra teledetección o sensoramiento remoto:



Figura 1. Sensoramiento Remoto satelital, Fuente: <http://www.esa.int/>

¹ Teledetección <<http://www.ciat.cgiar.org/dtmradar/teledeteccion-concepto.htm>>

- La percepción remota o teledetección o tele-observación (del inglés: remote sensing) es la ciencia y el arte de obtener información útil (espacial, espectral y temporal) de un objeto, área o fenómeno a través del análisis e interpretación de datos de imágenes adquiridos por un equipo que no está en contacto físico con el objeto, área o fenómeno bajo investigación.
- Obtención de imágenes u otro tipo de información acerca de un objeto, utilizando técnicas y mediciones hechas a distancia, además de procesar y analizar los datos.
- El sensoramiento remoto es la colección de información de un objeto sin estar en contacto físico con el objeto. Aeroplanos, aviones y satélites son las plataformas más comunes desde donde las observaciones remotas son realizadas. El término percepción remota es restrictivo a métodos que emplean energía electromagnética como medio de detección y medición de las características de un objeto (Sabins, 1978)

1.1. ELEMENTOS DE UN PROCESO DE SENSORAMIENTO REMOTO

En el proceso del sensoramiento remoto se involucra la interacción entre ondas incidentes y los objetos de interés. El uso de sistemas de capturas de datos puede verse en la **Figura 2**. Sin embargo, el sensoramiento remoto también involucra la percepción de energía emitida y el uso de sensores que no producen imágenes.

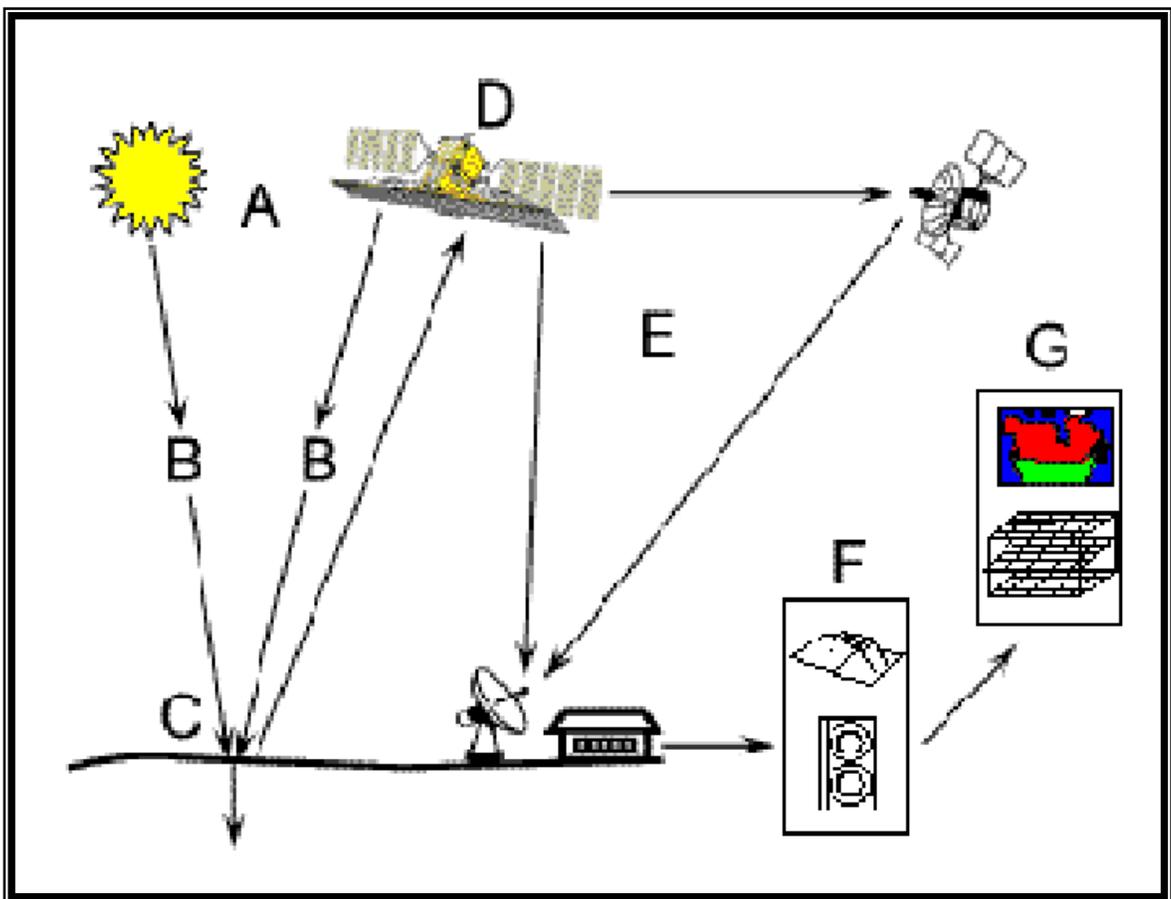


Figura 2. Proceso del sensoramiento Remoto, Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

- A. Fuentes de energía o iluminación.** Es el primer requerimiento en el sensoramiento remoto es disponer de una fuente de energía que ilumine o provea energía electromagnética al objeto de interés.
- B. Radiación y la atmosfera.** Ya que la energía “viaja” desde la fuente al objeto, entrara en contacto e interaccionara con la atmosfera. Esta interacción tiene lugar una segunda vez cuando la energía “viaja” desde el objeto al sensor.
- C. Interacción con el objeto.** La energía interactúa con el objeto dependiendo de las propiedades de este y de la radiación incidente.
- D. Detección de la energía por el sensor.** Necesitamos un sensor remoto que recoja y grabe la radiación electromagnética reflejada o emitida por el objeto o la atmosfera.
- E. Transmisión, recepción y procesamiento.** La energía grabada por el sensor debe ser transmitida, en forma electrónica, a una estación de recepción y procesamiento donde los datos donde serán convertidos a imágenes digitales.
- F. Interpretación y análisis.** La imagen procesada es interpretada, visualmente, digitalmente o electrónicamente, con el fin de extraer información acerca del objeto que fue iluminado.

G. Aplicación. El paso final en el proceso del sensoramiento remoto se alcanza en el momento en que aplicamos la información extraída de las imágenes del objeto para un mejor conocimiento del mismo, revelando nuevas informaciones y ayudándonos a resolver un problema en particular.

Estos siete elementos presentados anteriormente abarcan el proceso de sensoramiento remoto de principio a fin. Iremos abarcándolos de manera secuencial en los próximos cinco capítulos.

1.2. RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Como se describió anteriormente el primer requisito es una fuente de energía que ilumine el objetivo (Mientras el objetivo no emita la energía sensada). Esta energía es en forma de radiación electromagnética².

*“La **radiación electromagnética** es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro. A diferencia de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética se puede propagar en el vacío.”*

² <es.wikipedia.org/wiki/Radiacion_electromagnetica>

Toda radiación electromagnética tiene principios y comportamientos predecibles de acuerdo a las bases de la teoría ondulatoria. La radiación electromagnética consiste en un campo eléctrico (E) que varia en su magnitud en una dirección perpendicular a la que viaja la radiación, y un campo magnético (M) perpendicular al eléctrico. Ambos campos viajan a la velocidad de la luz (c). (Ver **Figura 3**)

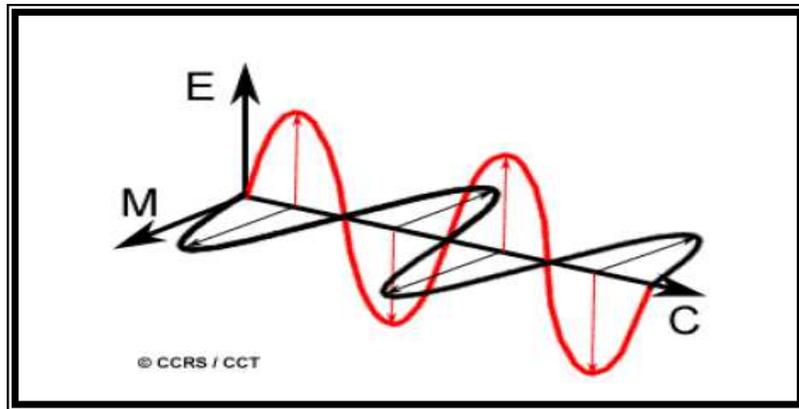


Figura 3. Onda Electromagnética, Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

Dos características de la radiación electromagnética importantes para la comprensión del sensoramiento remoto son **longitud de onda** y **frecuencia**.

La **longitud de onda** es el tamaño de un ciclo de la onda. Puede ser medido como la distancia entre dos crestas de la onda. La longitud de onda se denota usualmente por la letra griega Lambda (λ), se mide en metros (m) o factores de este como nanómetros (nm, 1×10^{-9} m), micrómetros (μ m, 1×10^{-6} m) o centímetros (cm, 1×10^{-2} m). (Ver **Figura No. 4**)

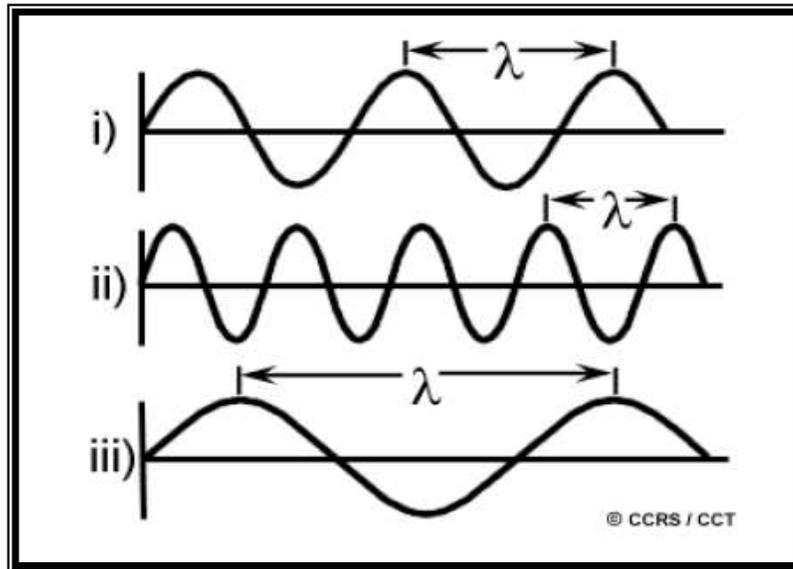


Figura 4. Diferentes frecuencias de ondas electromagnéticas,

Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

La **frecuencia** se refiere al número de ciclos de una onda que pasan por un determinado punto por unidad de tiempo, se expresa generalmente en Hertz (Hz) que equivale a un ciclo por segundo.

La longitud de onda y la frecuencia se relacionan en la siguiente formula:

$$c = F * \lambda$$

c = Velocidad de la Luz (3×10^8 m/s)

λ = Longitud de Onda (m)

F = Frecuencia (Hertz)

Por lo tanto, su relación es inversa. Cuanto más corta es la longitud de onda, más alta es la frecuencia. Cuanto más larga es la longitud de onda, más baja es la frecuencia. Entender las características de la radiación electromagnética en términos de su longitud de onda y frecuencia es crucial a entender la información que se extraerá de los datos del sensoramiento remoto. Examinaremos la manera en la cual la radiación electromagnética se clasifica para este propósito.

1.3. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El espectro electromagnético se extiende de las longitudes de onda más cortas (incluyendo las gamma y radiográficas) a las longitudes de onda más largas (incluyendo microondas y las ondas de radio difusión). Hay varias regiones del espectro electromagnético que son útiles para el sensoramiento remoto.

El ultravioleta o UV, es la porción del espectro que tiene la más corta de las longitudes de onda, esto las hace muy prácticas para el sensoramiento remoto. Esta radiación es justo más allá de la porción violeta de las longitudes de onda visibles, por lo que se debe su nombre. Ciertos materiales de la superficie de la tierra, sobre todo rocas y minerales, cuando son iluminados por la radiación UV despiden luz fluorescente o emiten luz visible.

La luz que nuestros ojos pueden detectar, nuestros sensores remotos solo es la parte visible del espectro. Es importante reconocer cómo la porción visible es pequeña en comparación al resto del espectro. Mucha parte de la radiación alrededor de nosotros es invisible a nuestros ojos, pero se puede detectar con instrumentos de sensoramiento remoto y utilizarlo para nuestras ventajas. Las longitudes de onda visibles cubren una gama de aproximadamente 0.4 a 0.7 μm . La más larga de las longitudes de onda visible es roja y la más corta es violeta. Longitudes de onda comunes que nosotros percibimos como los colores particulares de la porción visible del espectro se enumeran a continuación. Es importante observar que ésta es la única porción del espectro que podemos asociar con el concepto de colores.

- **Violeta:** 0.4 - 0.446 μm
- **Azul:** 0.446 - 0.500 μm
- **Verde:** 0.500 - 0.578 μm
- **Amarillo:** 0.578 - 0.592 μm
- **Naranja:** 0.592 - 0.620 μm
- **Rojo:** 0.620 - 0.7 μm

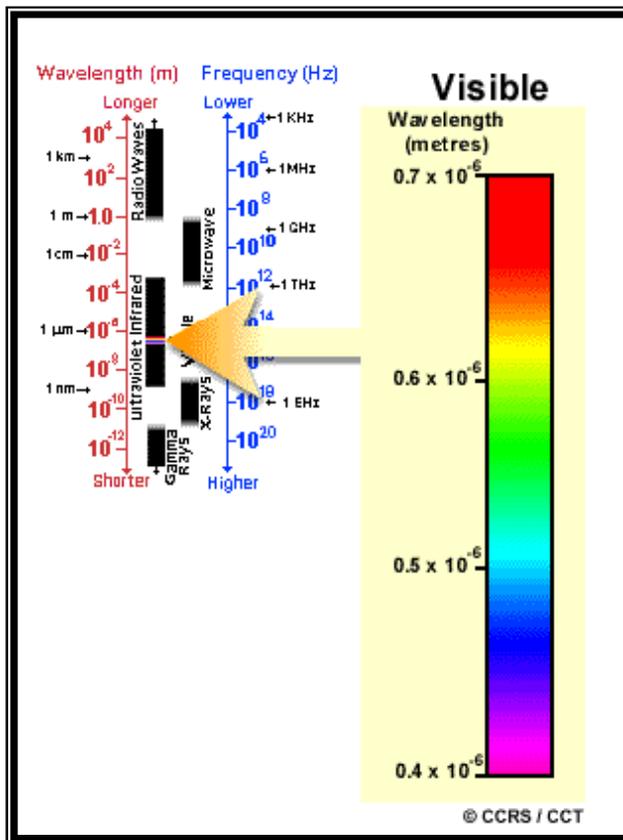


Figura 5. Espectro electromagnético, Fuente: [Fuente: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca)

Azul, verde y rojo son colores primarios o longitudes de onda del espectro visible. Se definen como tal porque ningún color primario se puede crear de los otros dos, pero el resto de los colores pueden ser formados por combinar azul, verde y rojo en varias proporciones. Aunque vemos la luz del sol como color uniforme u homogéneo, está integrado realmente por varias longitudes de onda de radiación sobre todo el ultravioleta visible y porciones infrarrojas del espectro. La porción visible de esta radiación se puede demostrar en los colores que la componen cuando la luz del sol se pasa a través de un prisma, que dobla la luz en diferentes cantidades según su longitud de onda.

1.4. INTERACCIONES ATMOSFÉRICAS

La radiación usada en el sensoramiento remoto, para que alcance la superficie de la tierra tiene que viajar una cierta distancia de la atmósfera terrestre (**Figura 6**). Las partículas y los gases en la atmósfera pueden afectar la luz y la radiación entrante. Estos efectos son causados por los mecanismos de la dispersión y de la absorción.

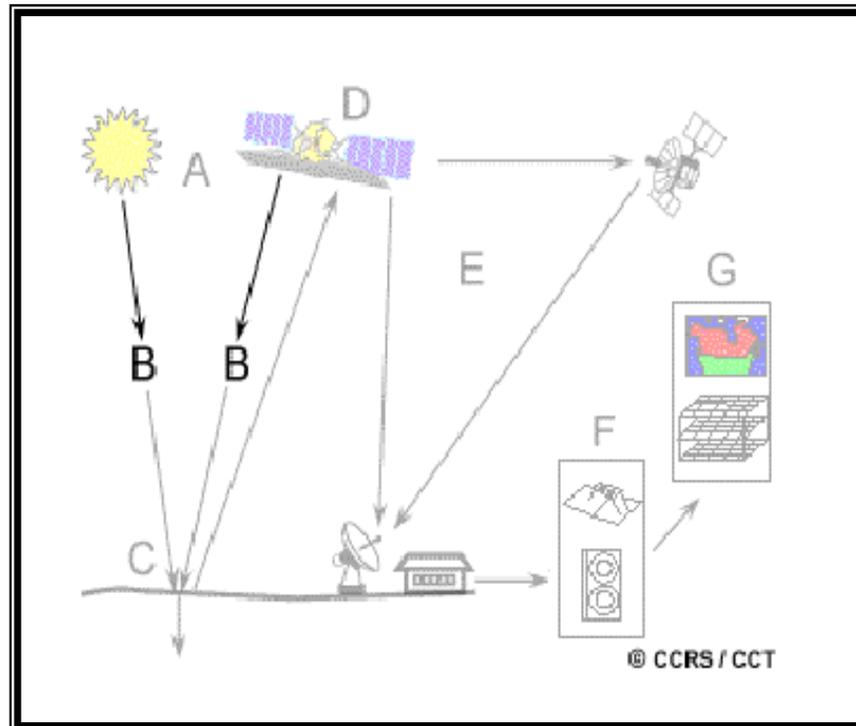


Figura 6. Interacción Atmosférica, Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

La dispersión ocurre cuando las partículas o las moléculas grandes del gas presentes en la atmósfera interactúan con la radiación electromagnética y hacen

que pierdan su trayectoria o se dirijan a su trayectoria original (**Figura 7**). La dispersión depende de varios factores incluyendo la longitud de onda de la radiación, la abundancia de partículas o los gases, y la distancia de la radiación que viaja a través de la atmósfera. Hay tres (3) tipos de dispersión:

1. La dispersión de Rayleigh
2. La dispersión de Mie
3. La dispersión no selectiva.

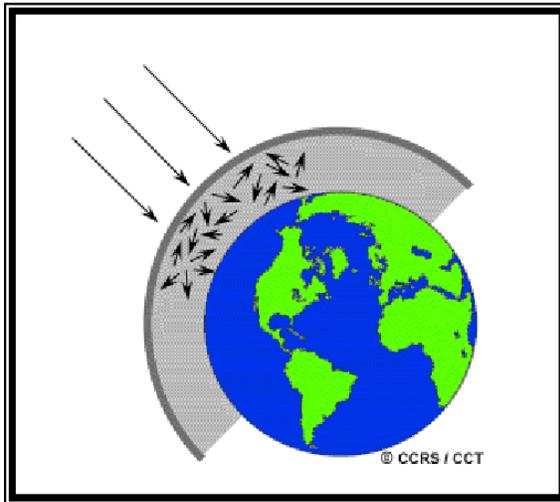


Figura 7. Interacción Atmosférica, Fuente: Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

1. **LA DISPERSIÓN DE RAYLEIGH**, ocurre cuando las partículas son muy pequeñas comparadas a la longitud de onda de la radiación. Éstas podrían ser partículas tales como motas pequeñas del polvo o de las moléculas del nitrógeno y de oxígeno.

La dispersión de Rayleigh es el mecanismo dominante de la dispersión en la atmósfera superior. El hecho de que el cielo aparece “azul” durante el día es debido a este fenómeno. Mientras que la luz del sol pasa a través de la atmósfera, las longitudes de onda más cortas (es decir azul) del espectro visible se dispersan más que las otras longitudes de onda visibles (más largas). En la salida del sol y la puesta del sol la luz tiene que viajar más lejos a través de la atmósfera que en el mediodía y la dispersión de las longitudes de onda más cortas es más completa; esto sale de una mayor proporción de las longitudes de onda más largas para penetrar la atmósfera (**Ver Figura 8**).

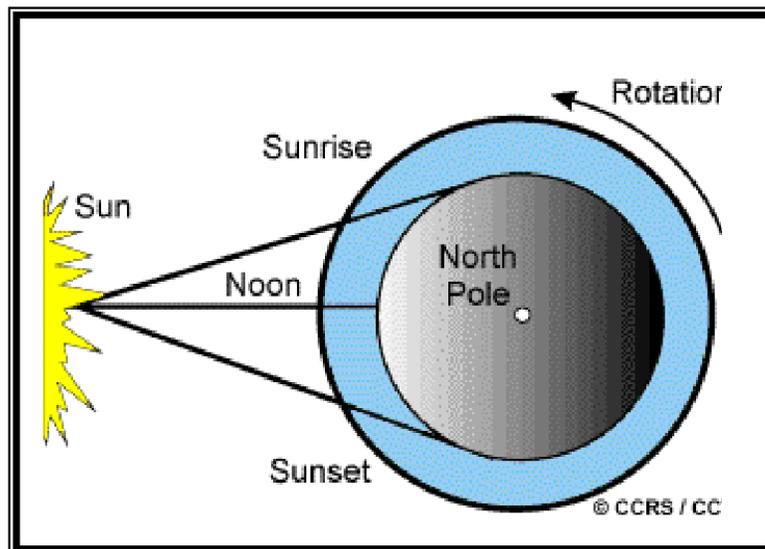


Figura 8. Distancia que viaja la radiación solar Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

2. **LA DISPERSIÓN DE MIE**, ocurre cuando las partículas son de tamaños casi igual a la longitud de onda de la radiación. El polvo, el polen, el humo y el vapor de agua son causas comunes de la dispersión de Mie que tiende a afectar

longitudes de onda más largas que las afectadas por la dispersión de Rayleigh. La dispersión de Mie ocurre sobre todo en las porciones más bajas de la atmósfera donde la cantidad de partículas grandes es mayor, y domina cuando el cielo está nublado.

3. Otro tipo de dispersión que debemos tener en cuenta se llama **DISPERSIÓN NO SELECTIVA**. Esto ocurre cuando las partículas son mucho más grandes que la longitud de onda de la radiación. Gotitas de agua y partículas grandes de polvo pueden causar este tipo de dispersión. La dispersión no selectiva consigue su nombre del hecho de que todas las longitudes de onda se dispersan alrededor igualmente. Este tipo de dispersión hace la niebla y las nubes blancas a nuestros ojos porque la luz azul, verde y roja toda se dispersa en cantidades aproximadamente iguales: (luz azul + verde + roja = la luz blanca).

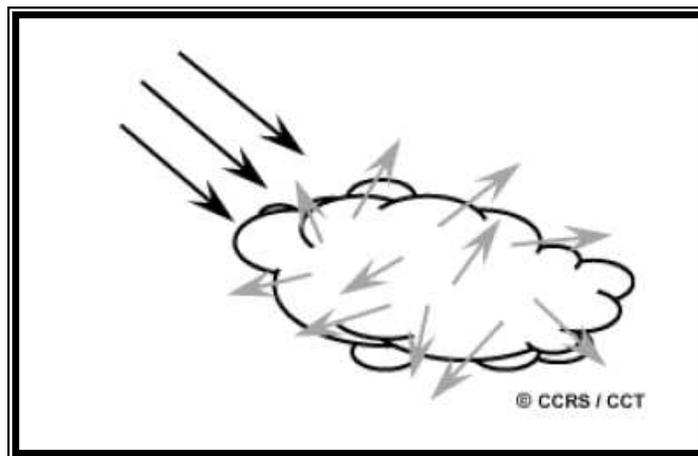


Figura 9. Dispersión no selectiva - Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

La absorción es el otro mecanismo presente cuando la radiación electromagnética interactúa con la atmósfera. En contraste con la dispersión, este fenómeno causa que las moléculas en la atmósfera absorban la energía de las varias longitudes de onda presentes en la atmósfera (**Ver Figura 10**).

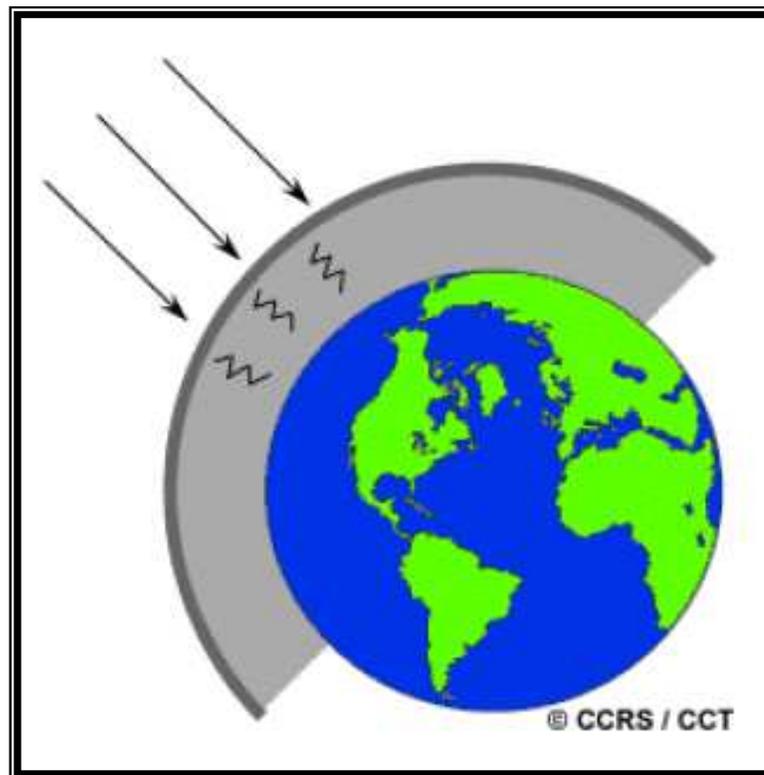


Figura 10. Absorción - Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

1.5. INTERACCIONES DEL OBJETIVO³

Cuando la EMR interacciona con la materia puede ser reflejada, absorbida o transmitida. En la sección previa, estas interacciones fueron discutidas en referencia a la atmósfera. El sensoramiento remoto, sin embargo, se ocupa primariamente de cómo la EMR es modificada por los medios terrestre.

La reflexión de energía desde una superficie, es generalmente descrita como especular o difusa, **Figura 11. La reflexión especular** ocurre cuando la energía que es reflejada por la superficie, continúa viajando en una dirección y el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia. Este es el tipo de reflexión que es observada en espejos, en longitudes de onda visibles. En la reflexión difusa, la energía reflejada, en contraste, es rota o emparejada en todas direcciones. En realidad, la mayoría de las superficies no son reflectores ni perfectamente especulares ni perfectamente difusos sino que caen en algún punto entre estos dos extremos.

Con fines de sensoramiento remoto, es el contenido espectral de la reflexión difusa el que generalmente provee la mayor parte de la información, cuando menos con respecto a la composición de los materiales de la superficie. La reflexión especular, sin embargo, es útil en los estudios de objetivos terrestres.

³ Butler, M., M. Mouchot, V. Barale, C. LeBlanc. . The application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual. FAO Fisheries Technical.

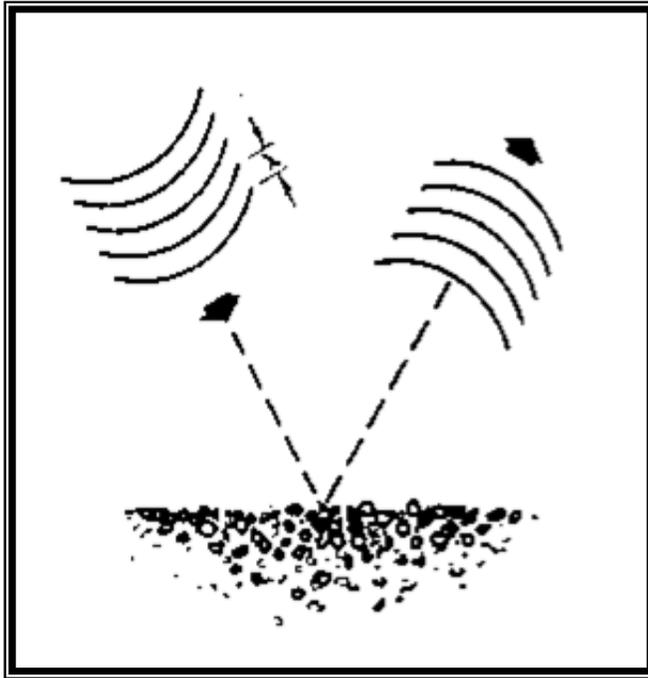


Figura 11. Reflexión especular, Fuente: <http://www.fao.org>

En la mayoría de las aplicaciones, sin embargo, la reflectancia especular, es un impedimento más que una ventaja. Es el patrón de reflectancia espectral, más que la aspereza de la superficie, el que usualmente permite una determinación de los procesos químicos o biológicos que están activos en la superficie. Cuando la EMR alcanza un objeto, algunas de las longitudes de onda son reflejadas mientras que otras son absorbidas o transmitidas. En el espectro visible esta reflectancia selectiva de ciertas longitudes de onda es percibida como color. La cantidad de energía que es reflejada por un objeto en diferentes longitudes de onda (relativa a la energía que recibe) es denominada la reflectancia espectral que es una propiedad intrínseca de cada material.

2. SISTEMAS DE SENSORES

Un sensor es el aparato que reúne la tecnología necesaria para captar datos a distancias y que es transportado en una plataforma. Puede captar información para diferentes regiones del espectro y cada una de estas regiones se denomina canal o banda.

Los sistemas de sensores pueden ser divididos en dos categorías principales⁴:

Sistemas Globales De Adquisición: Es un sistema que graba una escena completa instantáneamente.

Sistemas De Adquisición Secuencial: Este es un sistema que adquiere información línea por línea del objetivo. Esta segunda categoría es generalmente dividida en:

- **Sensores Pasivos**, cuando se limitan a recibir la energía proveniente a un foco exterior a ellos
- **Sensores Activos**, cuando son capaces de emitir su propio haz de energía.

⁴ Butler, M., M. Mouchot, V. Barale, C. LeBlanc. . The application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual. FAO Fisheries Technical.

2.1. SISTEMAS GLOBALES DE ADQUISICIÓN

Los sensores globales de adquisición comúnmente utilizados son: cámaras aéreas, vidicones y cámaras subacuáticas.

2.1.1. CÁMARAS AÉREAS

Las cámaras aéreas son unas de las formas más simples de sistemas de captura de datos utilizadas en estudios para obtener información en objetivos terrestres. El detector es una película la cual es sensible a las partes visibles o al infrarrojo cercano del espectro electromagnético.

Lo más notable de las cámaras aéreas es su gran tamaño y peso, en correspondencia con el de la película. La cámara, en el interior del avión, se fija al piso del mismo mediante un sistema de acoplamiento que incluye una suspensión cardan, el sistema evita transmitir vibraciones y asegura la verticalidad. Un orificio permite que la luz procedente del exterior llegue al objetivo de la cámara.

Los objetivos de las cámaras aéreas son de alta calidad y prácticamente exentos de distorsiones.

Una de las principales desventajas en el uso de cámaras aéreas es la restricción impuesta por condiciones adversas del tiempo.

2.1.2. LA CÁMARA VIDICÓN CON RETORNO DE RAYO

La cámara vidicón con retorno de rayo (RPV) es capaz de reproducir imágenes sinópticas (esto es, todas las partes de área barrida son vistas por el detector al mismo tiempo) como lo hace la cámara aérea. El principio básico de operación de una cámara vidicón es similar a la de una cámara de televisión. Un objeto distante es enfocado por un lente convergente hacia un objetivo fotoconductor. La imagen producida en el objetivo fotoconductor, es mantenida eléctricamente hasta que un rayo de electrón barre la imagen congelada para leer los elementos línea por línea. Habiendo barrido la imagen, el objetivo es borrado para recibir una nueva imagen.

La cámara RPV produce imágenes con una alta resolución espacial comparada con otros sensores electrónicos y los datos pueden ser transmitidos a la tierra vía señales de radio.

2.2. SISTEMAS DE ADQUISICIÓN SECUENCIAL

2.2.1. SENSORES PASIVOS

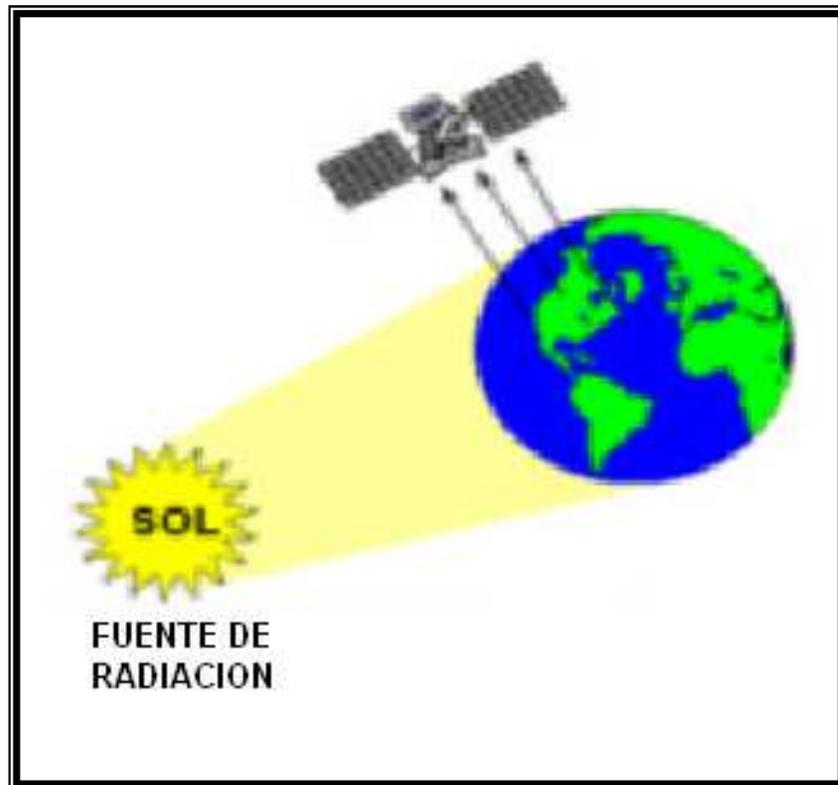
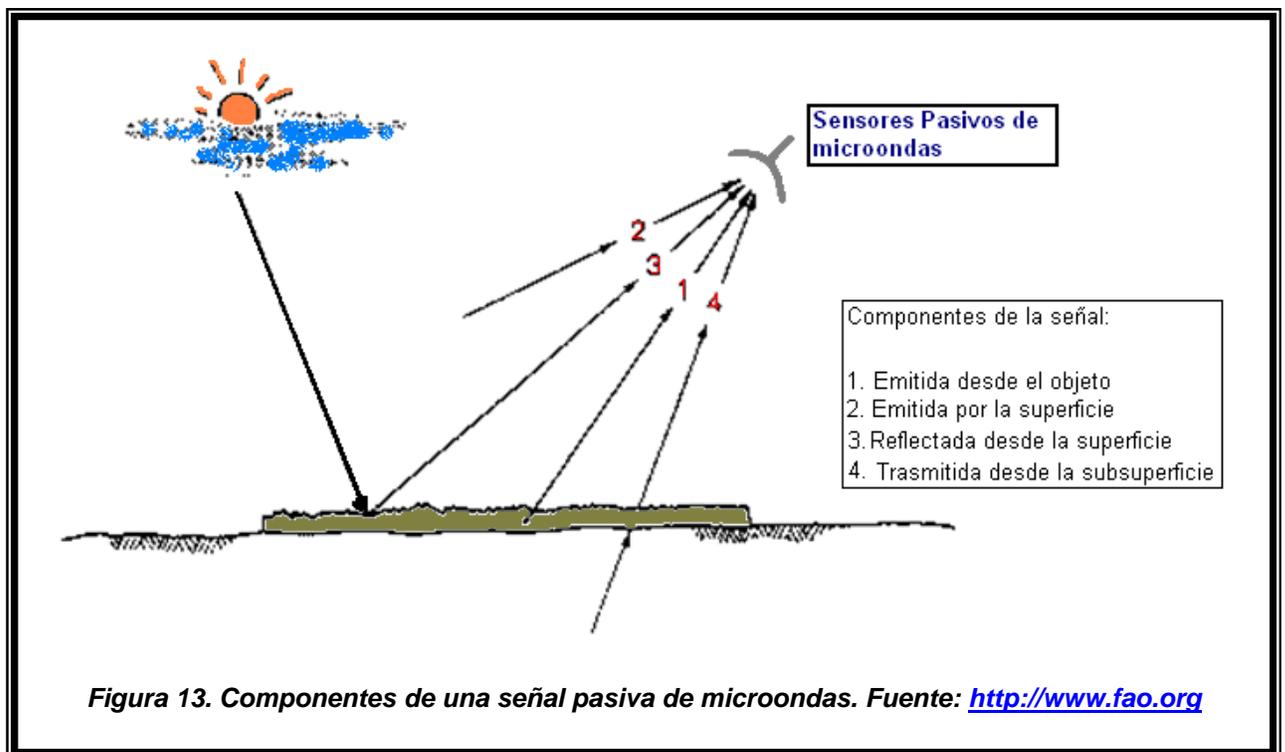


Figura 12. Sensores Pasivos, Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

Sistemas de percepción remota los cuales usan la porción visible del espectro electromagnético. Estos sistemas de teledetección reciben la señal de una fuente de luz o energía externa reflejada por la superficie de los cuerpos. Estos sensores están incluidos sobre la mayoría de los satélites que manejan las bandas del espectro visible

Los sensores pasivos se limitan a recoger la energía electromagnética procedente de la tierra y la atmosfera, ya sea ésta reflejada de los rayos solares⁵, (**Ver Figura. 12**). Dependiendo del tipo de detector utilizado, los sensores pasivos pueden grabar diferentes partes de la EMR dentro de longitudes de onda ultravioleta a microondas.



Algunas categorías de los sensores pasivos incluyen:

⁵ Laboratorio de Teledetección – SIG, Teledetección Aplicada a la Evaluación de Recursos Naturales

2.2.1.1. EXPLORADORES DE BARRIDO⁶

Se han diseñado otro tipo de sensores, denominados genéricamente óptico-electrónicos, ya que combinan una óptica más o menos similar a la fotografía, con un sistema de detección electrónica, que evita la dependencia de una superficie sólida. Entre estos sensores, los más habituales en teledetección espacial son los exploradores o rastreadores de barrido (*scanners*). Un espejo móvil, que oscila perpendicularmente a la dirección de la trayectoria, les permite explorar una franja de 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 amplifican y convierten a una señal eléctrica. Esta, a su vez, se transforma a un valor numérico, que puede almacenarse a bordo o transmitirse a la red de antenas receptoras (**Figura. 14**). La información recibida por éstas se graba en cintas compatibles con ordenador (CCT), para su posterior proceso.

⁶ Laboratorio de Teledetección – SIG, Teledetección Aplicada a la Evaluación de Recursos Naturales

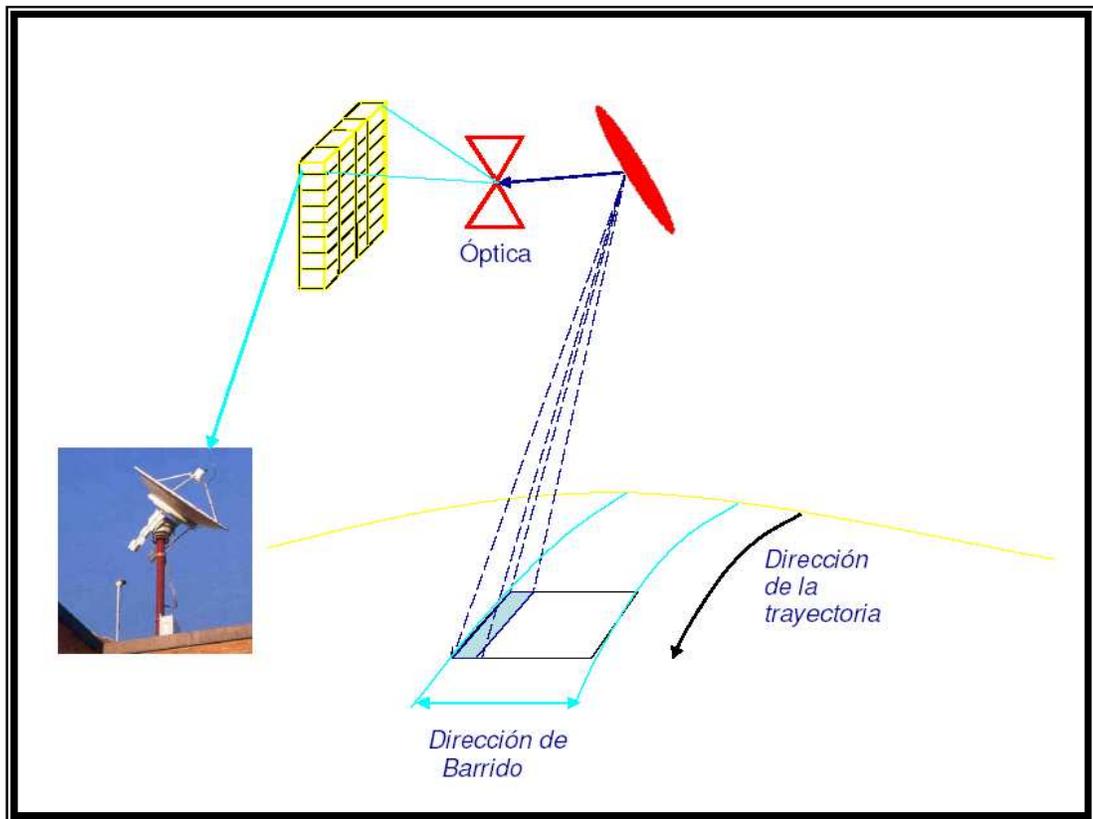


Figura 14. Diagrama de un explorador de barrido, Fuente: www.escet.urjc.es

Las ventajas más claras de los equipos de barrido multiespectral, en relación con los sensores fotográficos, pueden sintetizarse en los siguientes puntos:

- Permiten ampliar la banda del espectro detectada a longitudes de onda 0.4 a 0.9 μ m, incluyendo el infrarrojo medio y el térmico.
- Mayor facilidad en la calibración y en la corrección radiométrica de los datos.
- Posibilidad de realizar coberturas sistemáticas, y de grandes espacios, gracias a su capacidad de transmitir datos en tiempo real.
- Grabación digital de la información, que asegura su fiabilidad y permite su tratamiento asistido por ordenador.

2.2.1.2. EXPLORADORES DE EMPUJE⁷

En los últimos años se ha puesto a punto una nueva tecnología de exploración, denominada por empuje (*pushbroom*). En estos equipos se elimina el espejo oscilante, gracias a disponer de una cadena de detectores que cubre todo el campo de visión del sensor (**Figura 15**).

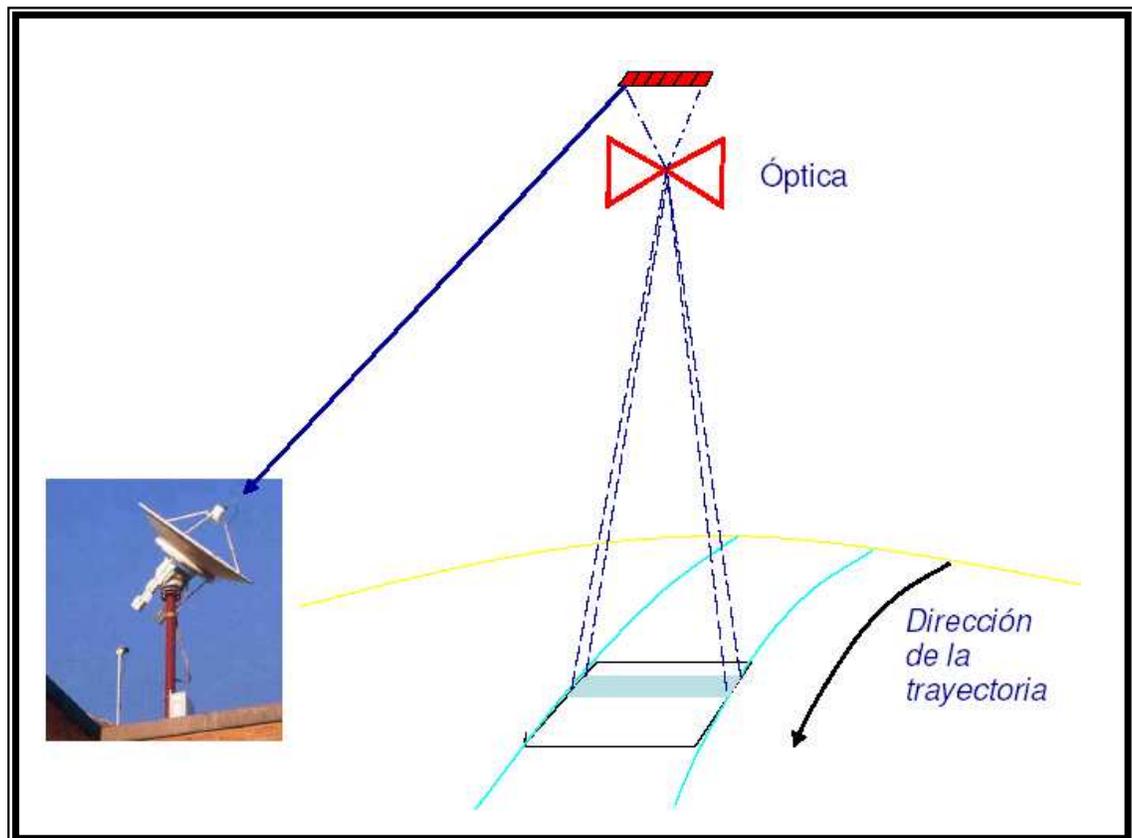


Figura 15. Diagrama de un explorador de empuje, Fuente: www.escet.urjc.es

⁷ Laboratorio de Teledetección – SIG, Teledetección Aplicada a la Evaluación de Recursos Naturales

2.2.1.3. TUBOS DE VIDICÓN⁸

Los tubos de vidicón son otros de los sistemas pasivos de mayor uso en estudios observación terrestre es la cámara de vidicón. Se trata de un sistema análogo a la cámara de televisión, que puede trabajar en forma pancromática o multibanda.

(Figura. 16)

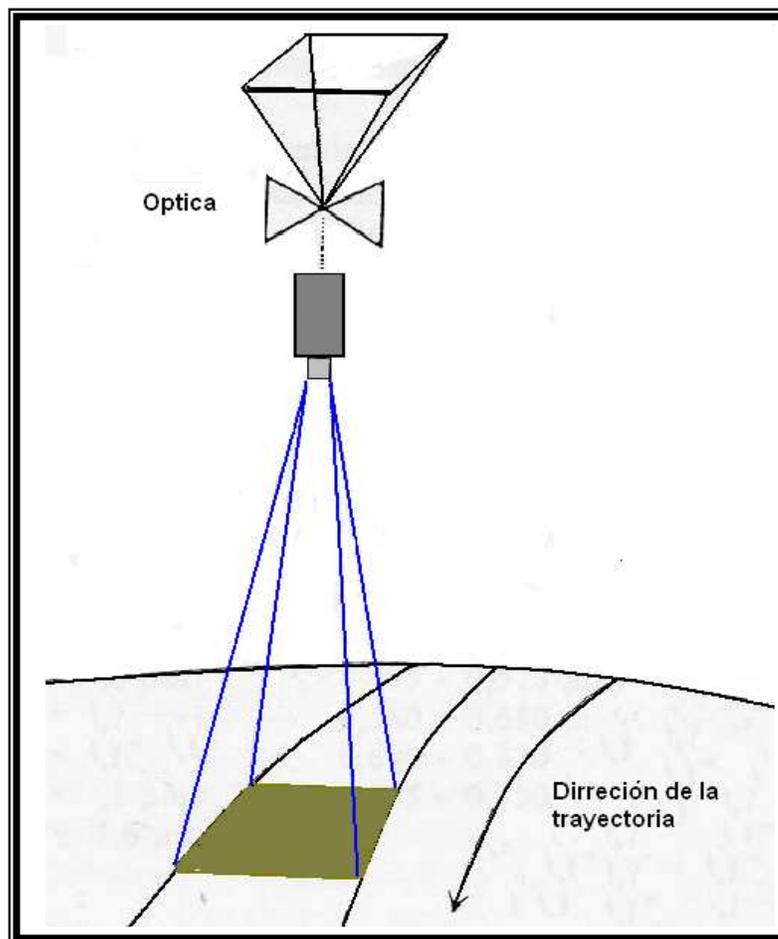


Figura 16. Diagrama de un sensor de vidicón

⁸ Laboratorio de Teledetección – SIG, Teledetección Aplicada a la Evaluación de Recursos Naturales

2.2.1.4. RADIÓMETROS DE MICROONDAS

Los radiómetros de microondas son sensores que operan en el rango del espectro correspondiente a longitudes de onda largas, normalmente entre 1 y 100 mm. Por ello, no está afectado por la situación atmosférica ni por las condiciones de iluminación⁹.

- **Radiómetros Barredores:** Sensores que capturan los datos a través del uso de un espejo rotativo para “barrer” la vista perpendicular a la línea de vuelo. El movimiento hacia adelante del satélite produce líneas subsecuentes de datos.
- **Radiómetros De Barrido Accionado:** Este sensor posee varios detectores con una línea de adquisición que puede ser vista instantáneamente sin ningún movimiento mecánico lo cual es una mejora significativa respecto a los radiómetros de barrido.

⁹ Laboratorio de Teledetección – SIG, Teledetección Aplicada a la Evaluación de Recursos Naturales

2.2.2 sensores activos

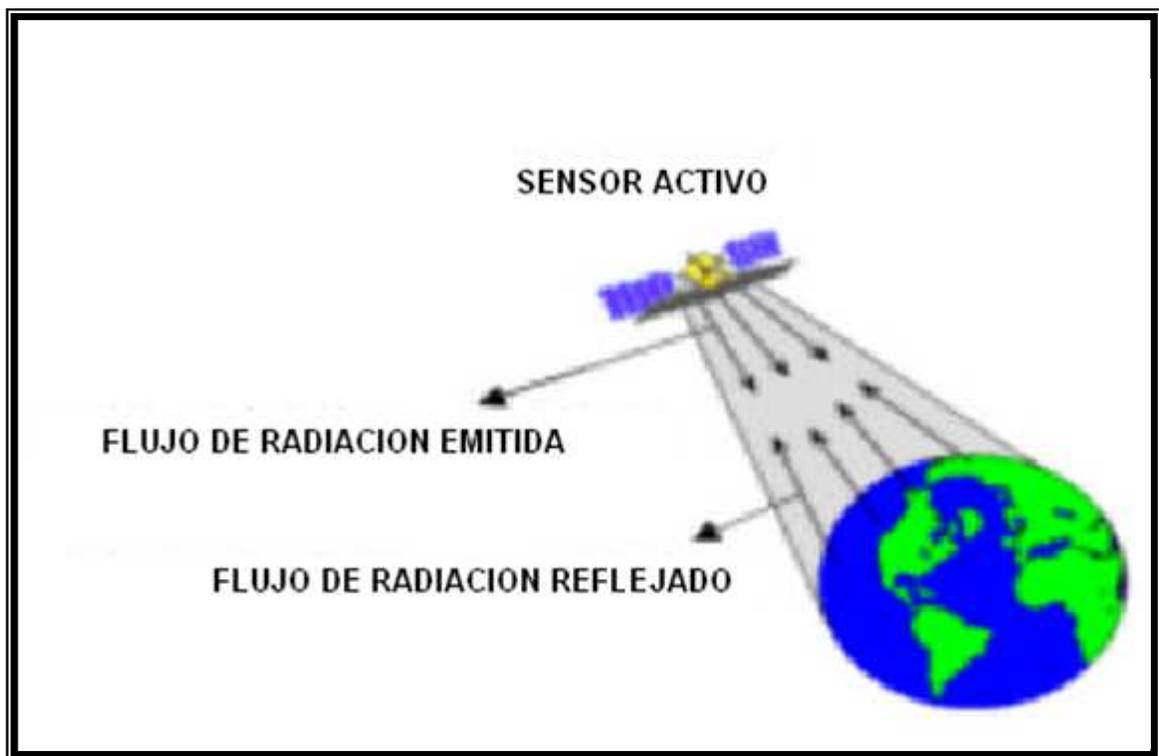


Figura 17. Figura de Sensor Activo, Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

Los sensores activos son capaces de iluminar un objetivo con su propia fuente de radiación. La iluminación va a inducir a un objeto a emitir radiación o causar que refleje la radiación producida por el sensor. Los sensores activos son utilizados frecuentemente cuando la radiación natural en una banda particular del espectro no es suficiente para iluminar adecuadamente al objetivo, **Figura 17**.

2.2.2.1 ECOSONDAS Y SONARES¹⁰

Los ecosondas y los sonares son sensores remotos activos que están basados en el principio de dirigir las ondas acústicas hacia un objetivo y recibir el eco reflejado. El ecosonda envía un rayo vertical y fijo de sonido mientras que el rayo del sonar puede ser orientado. Los principales componentes de un ecosonda y un sonar son: el transmisor, el transductor, el receptor y la unidad de despliegue.

Transmisor: La función del transmisor es producir energía en forma de pulsos de oscilaciones eléctricas.

Transductor: En este se encuentra la energía eléctrica que es convertida a energía de sonido en el agua y, contrariamente, las ondas de sonido de los ecos que regresan son convertidas de nuevo a energía eléctrica.

El Receptor: Amplifica las oscilaciones eléctricas débiles producidas en el transductor por el eco, de tal forma que pueden ser grabados en papel desplegados en un CRT (Tubo de Rayos Catódicos) o transmitido como una señal escuchable.

¹⁰ Butler, M., M. Mouchot, V. Barale, C. LeBlanc. The application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual. FAO Fisheries Technical.

2.2.2.2. RADARES

El radar (Radio Detection And Ranging) es un sistema activo que emite un haz energético de microondas y registra la energía reflejada luego de interactuar con la superficie u objetos. Los radares también son denominados radiómetro activo de microondas y trabajan en banda comprendida entre 0.1cm y 1m del espectro electromagnético. Este proceso requiere transmitir pequeños pulsos de energía de microondas en la dirección de interés y grabar la fuerza y el origen de las reflexiones recibidas desde objetos dentro del campo de visión del sistema. El poder de resolución del radar, está determinado por la longitud de onda transmitida por el radar. La transparencia de la atmósfera para las microondas le permite al radar adquirir datos independientemente de las condiciones del tiempo. Las microondas penetran nubes y no son dispersadas por neblina o lluvia.

Los radares pueden ser instalados sobre aviones (aéreo transportados) o sobre plataformas espaciales (satélites), éstos poseen una antena que transmite y/o recibe señales generando imágenes a alta resolución, donde pueden observarse características físicas de la superficie de la tierra.

Los radares pueden ser:

RADARES DE IMÁGENES

Los radares de imágenes despliegan las características de dispersión de la superficie de la tierra en forma de una banda de mapa o una fotografía de un área seleccionada. Para lograr una resolución espacial útil en una imagen del objetivo deseado desde la altitud de un satélite, requeriría de una antena con longitud de varios kilómetros.

RADAR DE APERTURA SINTÉTICA (SAR)

El radar de apertura sintética fue desarrollado para superar el problema de los radares de imágenes. El SAR toma señales sucesivas transmitidas y recibidas por una pequeña antena y las usa para reconstruir la señal que hubiera sido recibida si la antena tuviera varios kilómetros de longitud.

Adicionalmente, la reconstrucción de la imagen de un objeto en movimiento obtenida de datos de SAR involucra la consideración del efecto de Doppler.

Detalles más finos del objetivo pueden ser vistos en una imagen producida con microondas de longitudes de onda más cortas.

RADARES SIN IMÁGENES

A diferencia de los radares de imágenes, este tipo de radares graba un parámetro físico específico. Ejemplos de radares sin imágenes, incluyen el radar medidor de reflexiones múltiples y el altímetro del radar. El medidor de reflexiones múltiples de un radar, mide la aspereza de la superficie del mar, icebergs, etc. En un barrido amplio de cada lado de la nave espacial. El altímetro del radar utiliza una microonda de rayo de lápiz que mide la distancia vertical entre la nave espacial y la tierra.

2.2.2.3. ALTÍMETROS LÁSER

Esta técnica se conoce también con los nombre ingleses láser-scanning o LIDAR (de Laser Image Detection And Ranging).

El altímetro láser permite medir un gran número de puntos sobre el terreno, a partir de los cuales, se puede confeccionar un modelo digital del terreno muy preciso y en muy poco tiempo. Al ser el rendimiento tan alto, estos modelos pueden resultar muy económicos. El tiempo que se tarda desde que se vuela hasta la generación del modelo es menor que en el caso de los modelos generados mediante fotogrametría aérea.

El principio de funcionamiento del altímetro es el siguiente: un rayo láser emite pulsaciones y se calcula el tiempo que tarda la señal en llegar al suelo y volver al sensor. De esta manera se mide la distancia del sensor a un punto del suelo. El rayo se desvía perpendicularmente en la trayectoria del avión con un espejo rotatorio y barre el terreno a medida que el avión avanza. La posición del avión se mide con GPS diferencial con una estación en el suelo y, los ángulos de orientación, se determinan con un sistema inercial de navegación. Con toda esta información se pueden calcular las coordenadas de los puntos del suelo.

Los modelos del terreno que se pueden obtener con esta técnica son extremadamente precisos.

Se utiliza la combinación de dos técnicas diferentes:

1. **INS** (Sistema de Navegación Inercial): permite medir la orientación exacta del sensor. Este sistema mide los ángulos con una precisión de 0.001 grados, lo que permite compensar los movimientos bruscos que sufre el sensor a bordo del avión, pudiendo calcular en cada momento las coordenadas exactas del punto que estamos midiendo en el terreno.

2. **GPS**: Permite medir la posición exacta del sensor.

Cuando el rayo láser llega al terreno se comporta de forma diferente dependiendo de las características de los objetos que se encuentre (**ver Figura. 18**):

- **SUPERFICIE SÓLIDA:** El rayo se refleja sin ningún problema y regresa al satélite.
- **AGUA:** El rayo láser es absorbido rápidamente y no vuelve al satélite, por lo que no se obtiene ninguna información.
- **VEGETACIÓN:** El rayo choca en primer lugar con la copa del árbol. En este momento parte del rayo se refleja y vuelve al avión, pero al tratarse de una superficie no sólida, hay otra parte del rayo que atraviesa la vegetación hasta llegar al suelo y vuelve al avión. El sistema guarda el primer y último pulso.

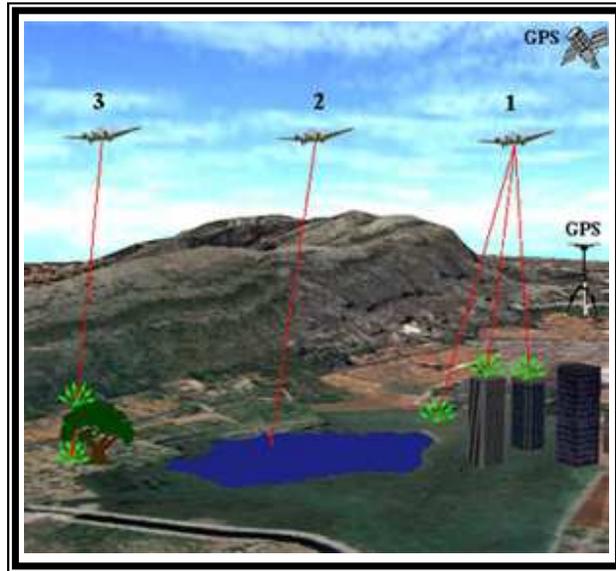


Figura 18. Lidar en diferentes superficies, Fuente: <http://www.dielmo.com>

Con la combinación de las técnicas anteriores forma se obtienen las alturas del terreno con una precisión en alturas del orden de 15 cm. Si el sensor trabaja con una frecuencia de 33 KHz, el proceso de medida descrito anteriormente se repite 33000 veces por segundo, lo que permite obtener modelos de alta calidad, con una resolución espacial de 1 metro por pixel.

3. PLATAFORMAS DE SENSORES REMOTOS

Se entiende por plataforma los satélites o aviones que transportan los aparatos necesarios para captar, almacenar y transmitir imágenes a distancia (sensores).

Los sensores terrestres son de uso frecuente para registrar la información detallada sobre la superficie cuál se compara con la información recogida de los sensores que se encuentran en los satélites. Algunas plataformas de sensores remotos son:

3.1. BARCOS¹¹

Los barcos, boyas, submarinos y otros sumergibles han estado en uso como plataformas para el sensoramiento remoto por cincuenta años, fundamentalmente en conjunto con ecosondas y sonares. Ahora, sin embargo, el sonar con sistema de audio se está volviendo popular y es un método rápido y efectivo de transmitir información. Ahora, sin embargo, el sonar con sistema de audio se está volviendo popular y es un método rápido y efectivo de transmitir información.

¹¹ Butler, M., M. Mouchot, V. Barale, C. LeBlanc. The application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual. FAO Fisheries Technical.

3.2. GLOBOS¹²

Los globos flotantes o anclados fueron los precursores de la observación de la superficie terrestre en planos superiores, estos han sido utilizados de manera limitada para la fotografía aérea de cuerpos de agua tales como bahías y lagos para seguir o trazar la circulación del agua, la sedimentación, etc. Los globos son de uso limitado para el sensoramiento remoto de superficies vastas de la tierra debido a su inestabilidad y su baja velocidad, Actualmente se utilizan en proyectos de investigación y meteorología.

3.3. AVIONES

Los aviones han sido utilizados extensivamente como plataformas para el sensoramiento remoto para la extracción de datos de determinadas áreas, estudios en la tierra. Este es uno de los métodos más eficientes de sensoramiento remoto de la superficie de la tierra a grandes escalas.

¹² Butler, M., M. Mouchot, V. Barale, C. LeBlanc. The application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual. FAO Fisheries Technical.

3.3.1. VENTAJA DE LOS AVIONES

- Optimizan la adquisición de datos al proveerle el operador acceso a la instrumentación del sensoramiento remoto.
- Permiten un amplio rango de parámetros de adquisición.
- Puede realizarse misiones de sensoramiento remoto sobre un área particular en un momento específico y puede ser repetido bajo condiciones controladas.

3.3.2. DESVENTAJA DE LOS AVIONES

- Son la inestabilidad de la plataforma
- La cobertura geográfica limitada (debido a la relativamente baja altitud del avión),
- El alto costo y la dependencia de las condiciones ambientales.

3.4. SATÉLITES¹³



Figura 19. Satélites para sensoramiento remoto

Con el uso de satélites como plataformas del sensoramiento remoto, ha sido posible superar algunas de las dificultades enfrentadas en el sensoramiento remoto con aviones. Los satélites pueden monitorear el total de la superficie de la tierra sobre bases periódicas, cubriendo una sección suficientemente grande en cada revolución. Los satélites diseñados para el sensoramiento remoto sobre bases operacionales son generalmente no tripulados, ver **Figura 19**.

¹³ Butler, M., M. Mouchot, V. Barale, C. LeBlanc. The application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual. FAO Fisheries Technical.

3.4.1. PARÁMETROS ORBITALES

La órbita teórica de un satélite es una elipse. Sin embargo, esta elipse es generalmente considerada como un círculo teniendo a la tierra como su centro.

Las órbitas de los satélites son las siguientes:

- Ecuatorial: Teniendo una órbita dentro del plano del ecuador.
- Polar: Teniendo una órbita dentro del plano de los ejes de la tierra.
- Polar Cercano: Teniendo una órbita oblicua a los ejes de la tierra.

La mayoría de los satélites de comunicación tienen órbitas ecuatoriales, mientras que las series de satélites de observación de la tierra tales como TIROS, NOAA y NIMBUS tienen órbitas polares o polares cercanas. Las órbitas polares son preferidas para ver zonas longitudinales con luz del día o durante la noche.

La inclinación orbital ecuatorial puede ser definida como el ángulo formado por el plano orbital y el plano ecuatorial.

Los satélites orbitales polar cercano pueden ser de dos tipos:

- **Progrado:** Los cuales se mueven en la misma dirección de la rotación de la tierra, esto es, "Ecuatorial" es menor que 90° ;
- **Retrogrado:** Los cuales se mueven en dirección opuesta a la rotación de la tierra, "Ecuatorial" está entre 90° y 180° .

3.4.1.1. ORBITA GEOSINCRÓNICA

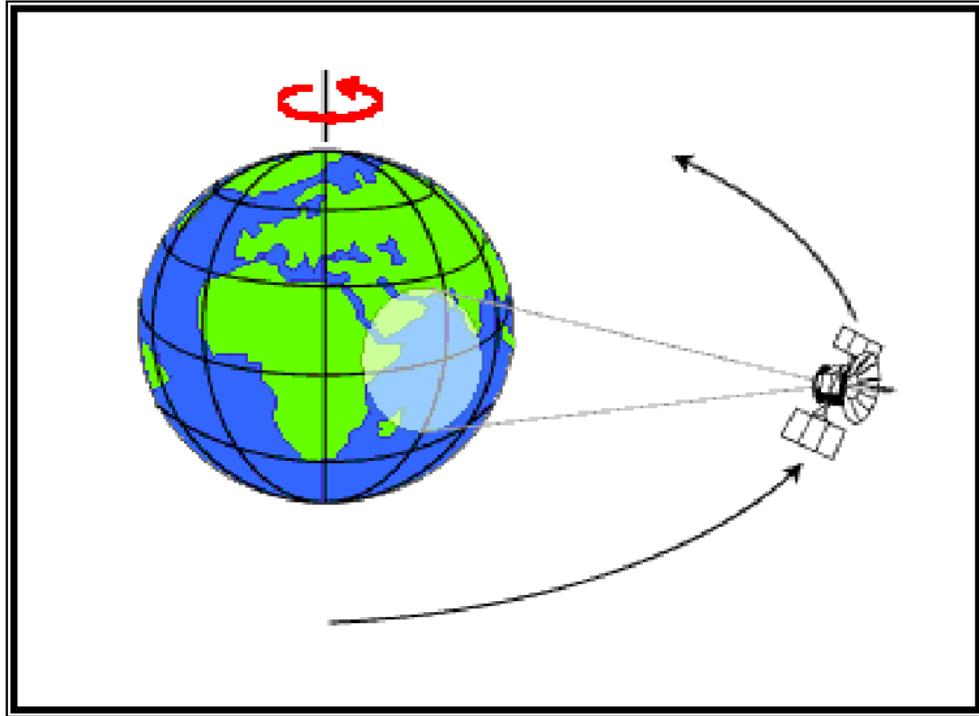


Figura 20. Órbita Geosincrónica, Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

Las órbitas geosincrónicas tienen altitudes de hasta 3600 km. Los satélites en estas órbitas se mueven en la misma dirección de la rotación de la tierra (Progrado), (**Ver Figura 20**), y sus velocidades son ajustadas para mantener la posición de los satélites sobre un punto designado sobre la superficie de la tierra. Cuando el satélite geosincrónico fluctúa en el plano ecuatorial (inclinación orbital ecuatorial igual a cero), es llamado un satélite geoestacionario.

Los satélites geoestacionarios no pueden tomar imágenes de la tierra en latitudes mayores a 80°. Son generalmente capaces de tomar imágenes y leer toda su área visible (1/3 de la superficie de la tierra) cada 30 minutos. El área visible grande y la repetitividad de la adquisición de datos, han hecho este tipo de satélites muy populares para estudios meteorológicos y oceanográficos.

Las principales ventajas del satélite geosincrónico son:

- La más frecuente observación posible de la región iluminada de la tierra desde un sistema orbital.
- La posibilidad de barrer el mismo punto de la tierra repetidamente, generando series de imágenes espacialmente coregistradas.
- La más grande cobertura de área posible desde un sistema orbital;
- El uso efectivo de telecomunicaciones.

Las principales desventajas de un satélite geosincrónico son:

- La baja repetitividad de su cobertura
- La pérdida de oportunidades de obtener imágenes debido a la presencia de nubes, no poseen mucha área de cobertura y baja repetitividad.

3.4.1.2. ORBITA HELIOSINCRÓNICA

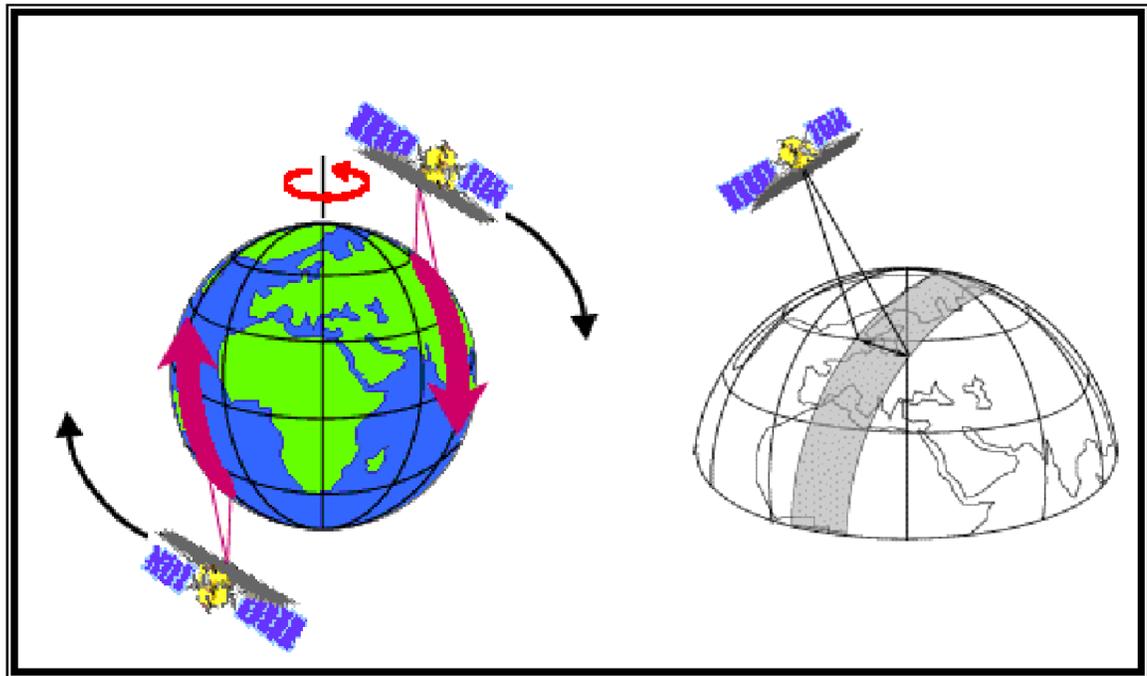


Figura 21. Órbita Heliosincrónicas, Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

Esta es un órbita mucho más baja (alrededor de 900 km) que la órbita geosincrónica. La inclinación de la órbita es relativa a la del ecuador es cercana a los 90° los satélites que cruzan el ecuador a la misma hora solar cada día (**Ver Figura. 21**). Esto significa que un punto particular de la tierra es visto regularmente a la misma hora, lo cual es útil para análisis comparativo de datos multitemporales. Al seleccionar una órbita particular es posible no solamente obtener una cobertura repetida de toda la superficie de la tierra, sino que permite seleccionar los intervalos entre observaciones de un sitio específico. Esto es

logrado por satélites de bajo nivel con órbitas heliosincrónicas polares o polares cercanas.

Las principales ventajas de los satélites heliosincrónicos son:

- La factibilidad económica y tecnológica de poner un sistema de órbita baja y de obtener rendimiento o comportamiento adecuado de los sensores llevados a bordo (alta resolución espacial en el orden de diez metros).
- La posibilidad de darle servicio al sistema orbital con sistemas espaciales tripulados.

Las principales desventajas de los satélites heliosincrónicos son:

- La baja repetitividad de su cobertura
- La pérdida de oportunidades de obtener imágenes debido a la cobertura de nubes, pequeña área de cobertura y baja repetitividad.

3.4.2. PLATAFORMAS SATELITALES

Esta sección se describe algunas de las plataformas satelitales que actualmente están en el espacio, sus sensores y su uso potencial para estudios de la tierra. Los principales satélites en operación al día de hoy son:

1. **LANDSAT – (E.U.A).**
2. **TIROS – (E.U.A).**
3. **NOAA – (E.U.A).**
4. **NIMBUS – (E.U.A).**
5. **SEASAT-A – (E.U.A). (Fuera de operación)**
6. **GOES/METEOSAT – (E.U.A./ E.S.A).**
7. **SPOT – (FRANCIA)**
8. **BHASKARA – (INDIA)**
9. **MOS-1 – (JAPON)**

3.4.2.1. SATÉLITE LANDSAT¹⁴

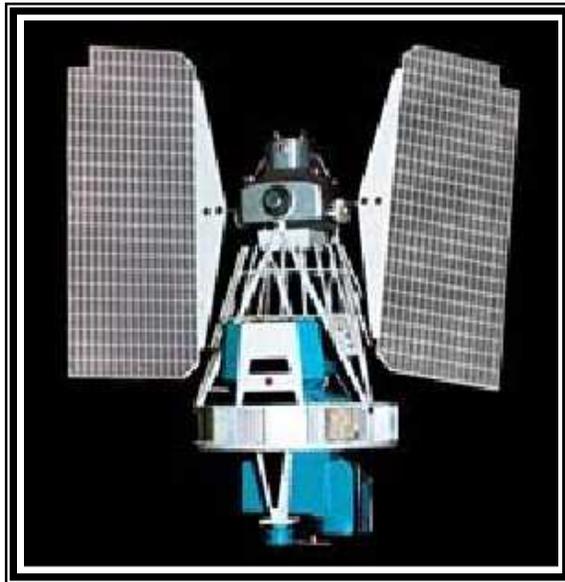


Figura 22. Satélite Landsat, Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

El programa LANDSAT fue conocido como Satélites de Tecnología de Recursos de la Tierra (ERTS. El nombre LANDSAT es un mal nombre ya que los satélites LANDSAT tienen una aplicación significativa al océano y a los estudios costeros), Ver **Figura. 22**. Los primeros tres satélites Landsat tenían el peso total del sistema aproximado de 960Kg., su órbita era heliosíncrona polar y levemente inclinada (99.1 grados). Con una altura orbital de media de 917 Km, circundaba la tierra cada 103 minutos, con lo que realizaba 14 órbitas diarias para volver sobre la misma porción de la superficie terrestre a los 18 días, y a la misma hora local.

¹⁴ Butler, M., M. Mouchot, V. Barale, C. LeBlanc. The application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual. FAO Fisheries Technical.

LANDSAT transportan dos tipos de sensores de imágenes:

- El Barredor Multiespectral (MSS);
- Cámara de Retorno de Rayos Vidicón (RBV).

La RBV se encuentra descrita brevemente en el capítulo 2.

3.4.2.1.1. BARREDOR MULTIESPECTRAL (MSS)¹⁵

El sensor MSS es un equipo de barrido óptico-electrónico que permite explorar una franja de terreno de 185 Km, divididos a ambos lados de la vertical de la traza. Las señales analógicas que producen los detectores son amplificadas, convertidas a formato digital y grabado en CCT o enviadas directamente a las estaciones receptoras, desde donde se inicia la distribución de las imágenes.

Una escena adquirida por el sensor MSS comprende 2.340 líneas de barrido y 3.240 columnas por línea. Trabajaba en 4 bandas, 3 visibles y una infrarroja cercana, de 6 a 8 bits. Cada pixel corresponde a una superficie real de 79 m de lado (0.62ha.), si bien en la transformación digital se le asigna un formato nominal de 57 x 79m.

¹⁵ Butler, M., M. Mouchot, V. Barale, C. LeBlanc. The application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual. FAO Fisheries Technical.

3.4.2.1.2. MAPEADOR TEMÁTICO (TM)¹⁶

El TM tiene tres bandas visibles, una infrarroja cercana y dos medianas con una resolución terrestre de 30 metros de tamaño de celda y una banda IR térmica con un tamaño de celda de 120 metros de resolución terrestre. El TM tiene la capacidad para monitorear un amplio rango de bandas espectrales (azul a infrarroja) y por lo tanto, tiene un amplio rango de aplicaciones, por ejemplo:

1. Mapeo de aguas costeras (Banda 1);
2. Identificación de vegetación saludable a través de reflectancia verde (Banda 2).
3. Diferenciación de plantas a través de mapeo de clorofila (Banda 3);
4. Delineación de cuerpos de agua (Banda 4);
5. Mediciones de nieve y nubes (Banda 5);
6. Mapeo térmico (Banda 6);
7. Mapeo hidrotérmico (Banda 7).

El TM proporciona una resolución global de 30 metros. Esta alta resolución es lograda por detectores sensitivos y por una cuantización de 8 bits en el proceso de conversión analógico a digital (256 niveles de gris). En contraste, la MSS tiene únicamente 6 bits de cuantización (64 niveles de gris). Esto significa que las escenas del TM contienen mayor número de pixeles con mayor rango

¹⁶ Butler, M., M. Mouchot, V. Barale, C. LeBlanc. The application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual. FAO Fisheries Technical.

radiométrico. Esto resulta también en una alta tasa de datos de bits de 84.9 megabytes por segundo.

3.4.2.2. SATÉLITE NOAA¹⁷



Figura 23. Satélite Noaa, Fuente: <http://library01.gsfc.nasa.gov>

Este satélite, constituye uno de los múltiples programas diseñados para adquirir información meteorológica a la superficie terrestre. (*National Oceanic and Atmospheric Administration Satellite*). El satélite NOAA se diseñó para ofrecer un ciclo de cobertura muy corto: una imagen cada doce horas, ver **Figura 23**. Este ciclo se mejora a seis horas gracias a la sincronización entre los dos satélites que

¹⁷ *Laboratorio de Teledetección – SIG, Teledetección Aplicada a la Evaluación de Recursos Naturales*

operan simultáneamente. Su altura orbital es de 833 a 870Km, cubriendo en una imagen un área aproximada de 3.000 Km de lado.

El sensor más interesante, para nuestros objetivos, se denomina AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), diseñado para proporcionar imágenes con una resolución de 1,1 Km (en el nadir), en 5 bandas de espectro. Gracias a su buena cobertura temporal y bajo costo, el sensor AVHRR ha ganado un creciente interés para abordar estudios medio ambientales de pequeña escala.

3.4.2.2.1. RADIÓMETRO AVANZADO DE MUY ALTA RESOLUCIÓN (AVHRR)¹⁸

El AVHRR es un radiómetro barredor de cuatro o cinco canales (dependiendo de la versión), que opera en la banda visible y en las bandas infrarroja cercana y térmica.

¹⁸ Butler, M., M. Mouchot, V. Barale, C. LeBlanc. . The application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual. FAO Fisheries Technical.

3.4.2.3. SATÉLITE NIMBUS¹⁹

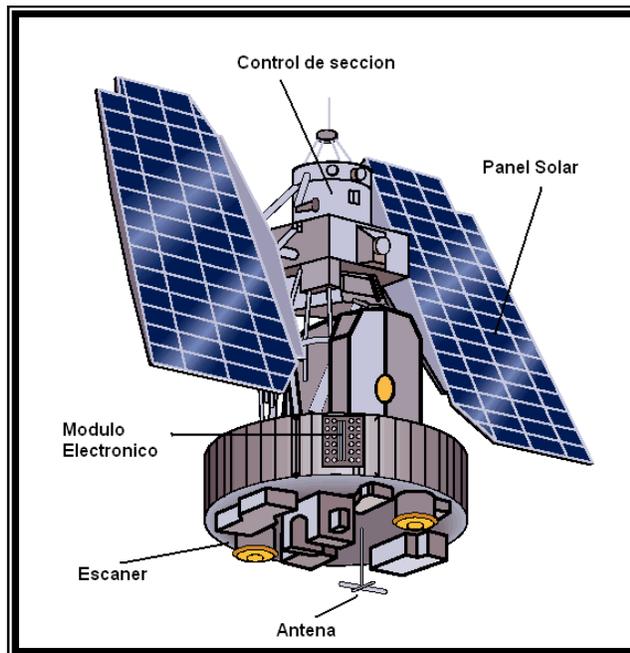


Figura 24. Satélite Nimbus, Fuente: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

El programa del satélite NIMBUS fue iniciado por NASA en 1960 para estudiar la atmósfera y la superficie de la tierra. El último de esta serie de satélites, el NIMBUS-7 fué lanzado en Noviembre de 1978. Este satélite es uno de los pocos dedicados a estudios oceanográficos. La órbita heliosincrónica polar cercana del NIMBUS-7 tiene un ángulo de inclinación de 99°, ver **Figura 24**. El satélite tiene un período de 104 minutos y realiza de 13 a 14 revoluciones por día con una distancia entre rutas de 2904 km. Se sobrepone a la misma ruta cada 6 días y

¹⁹ Laboratorio de Teledetección – SIG, Teledetección Aplicada a la Evaluación de Recursos Naturales

transporta nueve sensores, dos de los cuales son importantes para realizar estudios de la tierra: el Barredor de Color de la Zona Costera (CZCS) y el Radiómetro Barredor de Microondas Multicanales (SMMR).

3.4.2.3.1. BARREDOR DE COLOR DE LA ZONA COSTERA (CZCS)²⁰

El CZCS es un radiómetro de 6 canales diseñado específicamente para el mapeo de los colores del océano. Cinco de estas bandas pueden percibir la energía solar, por lo tanto, el color del agua afectado por la absorción y la dispersión debidos a la clorofila, los sedimentos y la substancia amarilla. La clorofila absorbe fuertemente la energía en las bandas de microondas centradas a 0.44 y 0.52 micrómetros (Bandas 1 y 2) respectivamente. La longitud de onda de 0.50 micrómetros (Banda 3) es el punto principal, la longitud de onda de mínima absorción. Los datos del CZCS son procesados para producir mapas de los materiales anteriormente medidos.

²⁰ Butler, M., M. Mouchot, V. Barale, C. LeBlanc. . The application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual. FAO Fisheries Technical.

3.4.2.4. SATÉLITE GOES-METEOSAT²¹



Figura 25. Satélite Goes/Meteosat, Fuente: www-istp.gsfc.nasa.gov/

Estos satélites geoestacionarios de gran altitud (36,000 km) son utilizados para observaciones meteorológicas globales y para comunicaciones. Los aspectos de la meteorología que son el foco de estos satélites, incluyen el mapeo de nubes e imágenes infrarrojas y visibles de la superficie de la tierra, para detectar cambios de gran escala en parámetros oceánicos, ver **Figura 25**.

²¹ Butler, M., M. Mouchot, V. Barale, C. LeBlanc. . The application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual. FAO Fisheries Technical.

3.4.2.5. SATÉLITE SPOT

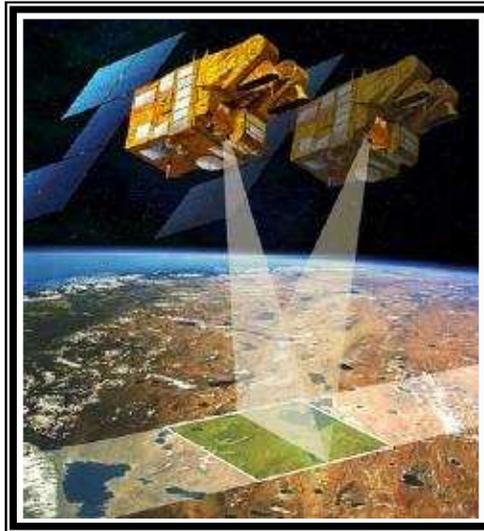


Figura 26. Satellite SPOT - HRS, Fuente: www.sat.cnpm.embrapa.br



Figura 27. SPOT-HRV, Brasilia/DF, Fuente: www.sat.cnpm.embrapa.br

Uno de los proyectos de teledetección espacial más novedosos, frente al estándar marcado por el programa Landsat, ha sido el proyecto SPOT (*Systeme Probatoire d'Observation de la Terre*), desarrollado por el CNES francés, en colaboración con

Bélgica y Suecia. El primer satélite SPOT se lanzó en 1986, mientras el segundo se ha puesto en órbita a inicios de 1990, ver **Figura 26**.

Estos sensores permiten obtener imágenes en dos modalidades: pancromático y multibanda (verde, rojo e infrarrojo cercano), con una resolución espacial de 10 y 20 m, **Figura 27**. Otra importante novedad del satélite SPOT es su capacidad para variar el ángulo de observación, gracias a un dispositivo móvil instalado en el equipo óptico. La mejora en resolución espacial frente al sensor TM hace a las imágenes SPOT idóneas para tareas de análisis visual, especialmente en el medio urbano.

PRINCIPALES APLICACIONES

- Impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente.
- Monitoreo de fenómenos naturales.
- Acompañamiento del uso de tierras agrícola.
- Apoyo y monitoreo de las áreas de la preservación.
- Actividades mineras.
- Cartografía y actualización de mapas.
- Dinámica de urbanización.
- Monitoreo de la cubierta vegetal.
- Inundaciones y sequias.

El satélite SPOT transporta un sensor que le permite la obtener las imágenes:

3.4.2.5.1. RADIÓMETRO DE ALTA RESOLUCIÓN VISIBLE (HRV)²²

La característica especial de este barredor es que tiene una resolución terrestre multiespectral (3 bandas) de 20 metros. Los barredores son apuntables también por control terrestre para permitir la obtención de imágenes de la misma escena desde diferentes rutas orbitales con un ángulo de incidencia desde 0° hasta un máximo de 27°. Las imágenes son obtenidas utilizando dos radiómetros idénticos HRV los cuales permiten imágenes estereoscópicas.

²² Butler, M., M. Mouchot, V. Barale, C. LeBlanc. . The application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual. FAO Fisheries Technical.

4. FUNCIONAMIENTO Y ANATOMÍA DE LOS SATÉLITES

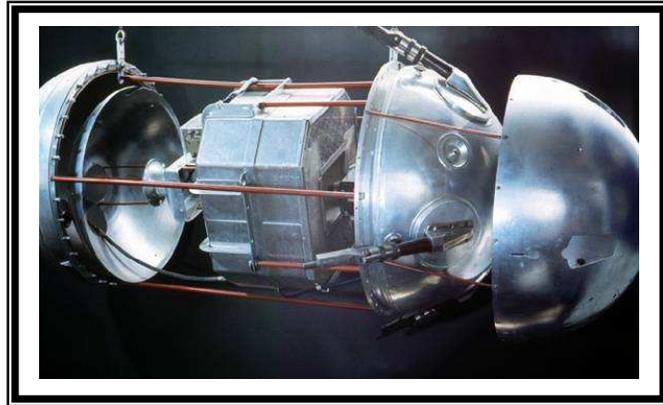


Figura 28. Satélite Sputnik 1, Fuente: www.galeon.com

"Un satélite es un cuerpo que gira alrededor de otro".

Un satélite es vehículo destinado a girar en torno a un planeta, especialmente la Tierra, con gran variedad de fines, industriales, científicos, tecnológicos y militares. Que se coloca en órbita mediante un cohete polietápico (de varias etapas) o desde otro vehículo espacial, (Primer satélite espacial, **Ver figura. 28**).

4.1. COMO FUNCIONAN LOS SATÉLITES²³

Como se ha visto en los capítulos anteriores sabemos que las microondas viajan en línea recta, como un fino rayo a la velocidad de la luz, no debe haber obstáculos entre las estaciones receptoras y emisoras.

Por la curvatura de la tierra, las estaciones localizadas en lados opuestos del globo no pueden conectarse directamente, sino que han de hacerlo vía satélite. Un satélite situado en la órbita geoestacionaria (a una altitud de 36 mil km) tarda aproximadamente 24 horas en dar la vuelta al planeta, lo mismo que tarda éste en dar una vuelta sobre su eje, de ahí que el satélite permanezca más o menos sobre la misma parte del mundo. Como queda a su vista un tercio de la tierra, pueden comunicarse con él las estaciones terrenas receptoras y transmisoras de microondas que se encuentran en ese tercio.

Los lugares muy distantes se conectan vía satélite por medio de una estación terrestre que está bajo la cobertura de un satélite le envía una señal de microondas, denominada enlace ascendente.

Cuando la recibe, el transponedor (*aparato emisor-receptor*) del satélite simplemente la retransmite a una frecuencia más baja para que la capture otra estación, esto es un enlace descendente. El camino que recorre esa

²³ Satélites Artificiales, < <http://ciberhabitat.gob.mx> >

comunicación, equiparándolo con la longitud que ocuparía un cable, es de unos 70 mil km, lo cual equivale, más o menos, al doble de la circunferencia de la Tierra, y sólo le toma alrededor de 1/4 de segundo cubrir dicha distancia.

4.2. ANATOMÍA DE UN SATÉLITE

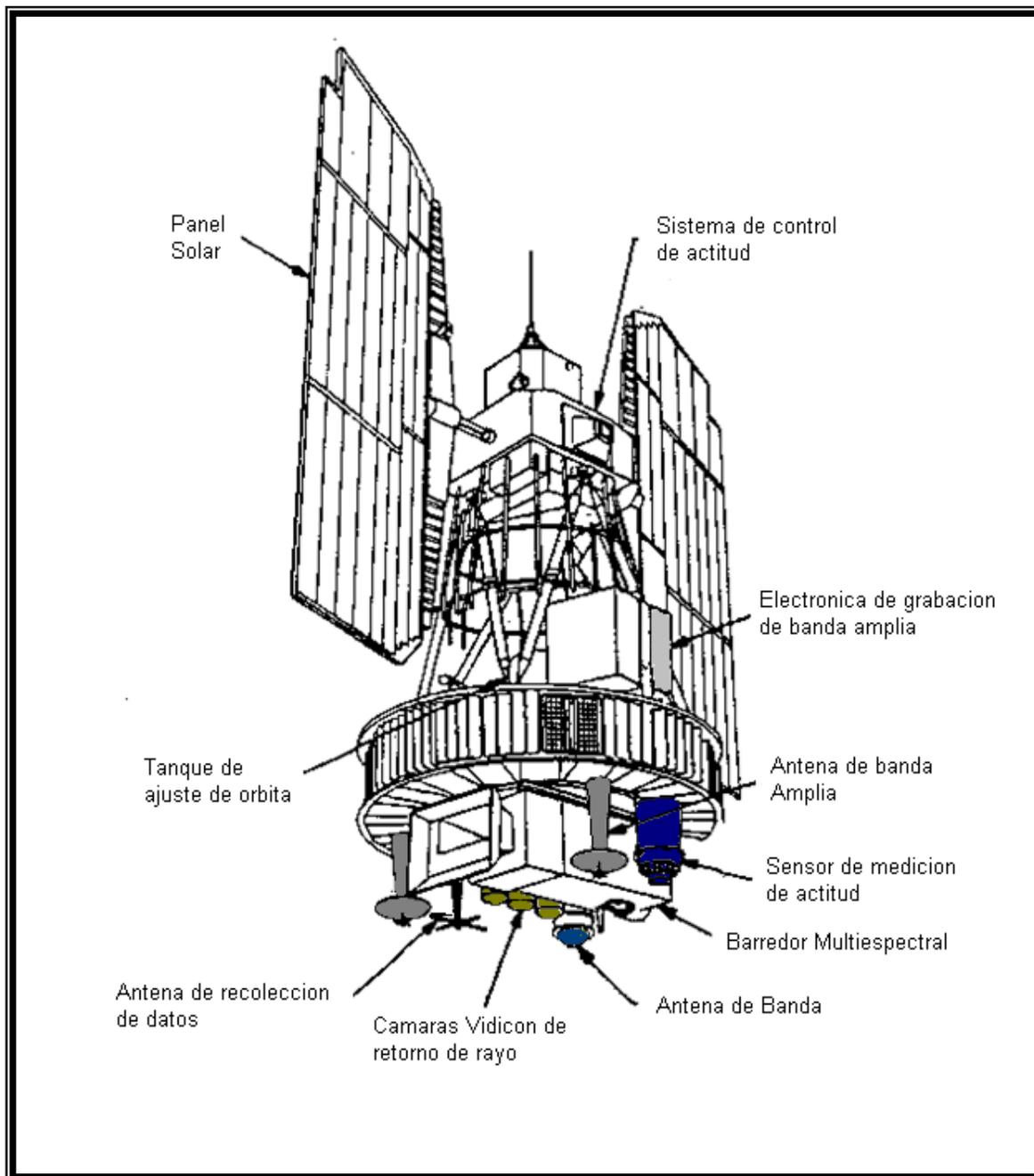


Figura 29. Configuración del LANDSAT, Fuente: <http://www.fao.org>

El diseño de los satélites ha evolucionado desde aquellos años del Sputnik I, hasta la actualidad; sin embargo, su razón de ser sigue siendo la misma, así como la de la mayor parte de sus elementos. El paso del tiempo y los logros en las tecnologías han proporcionado instrumentos más precisos, sistemas de provisión de energía eléctrica más potentes y componentes de menor peso, pero todos ellos, en esencia, no han cambiado mucho.

Los satélites pueden dividirse de manera conveniente en dos elementos principales, **la carga útil y la plataforma**. La carga útil es la razón de ser del satélite, es aquella parte del satélite que recibe, amplifica y retransmite las señales con información útil; pero para que la carga útil realice su función, la plataforma debe proporcionar ciertos recursos:

- La carga útil debe estar orientada en la dirección correcta.
- La carga útil debe ser operable y confiable sobre cierto periodo de tiempo especificado.
- Los datos y estados de la carga útil y elementos que conforman la plataforma deben ser enviados a la estación terrestre para su análisis y mantenimiento.
- La órbita del satélite debe ser controlada en sus parámetros.

- La carga útil debe de mantenerse fija a la plataforma en la cual está montada.
- Una fuente de energía debe estar disponible, para permitir la realización de las funciones programadas.

Cada uno de estos requerimientos es proporcionado por los siguientes conglomerados de elementos conocidos como *subsistemas*:

4.2.1. SUBSISTEMA DE ESTRUCTURA

La estructura satelital debe tener como cualidades más importantes la resistencia, ligereza y larga duración.

El subsistema de estructura es el soporte de todos los dispositivos que forman el satélite y da la seguridad suficiente para contrarrestar las fuerzas y aceleraciones a las que se ve sujeto el satélite desde el momento en que deja la superficie terrestre.

La masa de la estructura puede tener una gama que varía entre el 10% y el 20% del total de la masa del satélite.

4.2.2. SUBSISTEMA DE PROPULSIÓN

El subsistema de propulsión esta compuesto por múltiples motores o impulsores de bajo empuje, que sirven al satélite para realizar pequeñas correcciones y cambios de velocidad para controlar su orientación en el espacio y proporcionar el control adecuado de los parámetros de la órbita. Últimamente, se están usando en estos motores otros métodos de propulsión como la eléctrica o iónica, cuyo bajo empuje, pero elevado impulso específico, los hace más eficientes y muy económicos en cuanto al consumo de combustible.

4.2.3. SUBSISTEMA DE CONTROL DE ORIENTACIÓN

Este subsistema es el que trabaja contra las perturbaciones a las que está sometido el aparato, como el viento solar. Este sistema permite al satélite saber constantemente donde está y hacia donde debe orientarse para emisiones lleguen a la zona deseada, considerando su natural movimiento Norte-Sur y Este-Oeste alrededor de un punto. Además, orienta los paneles solares hacia el Sol, sin importar cómo esté posicionado el satélite. La computadora a bordo, que lleva una serie de programas capaces de reaccionar ante una variada gama de problemas: si algo grave o inesperado ocurre, desconectará automáticamente todos los sistemas no esenciales, se orientará hacia el Sol para garantizar una adecuada iluminación de las celdas solares e intentará comunicarse con la Tierra o esperar

órdenes procedentes de ella. Esta fase se denomina modo seguro y puede salvar la vida a muchos satélites dando tiempo a la intervención humana.

4.2.4. SUBSISTEMA DE POTENCIA

Como fuente de energía secundaria, las baterías proveen energía suficiente para alimentar a los sistemas e instrumentos cuando la energía proveniente del Sol no puede ser aprovechada, esto ocurre en algunos casos como es durante los eclipses; éstas son cargadas poco antes del lanzamiento y de ellas depende la vida del satélite. La fuente primaria de energía para el satélite lo constituyen las celdas solares que son colocadas en grupos para conformar lo que se conoce como panel solar. Los paneles, por sus grandes dimensiones y su relativa fragilidad, deben permanecer plegados durante el despegue. Su apertura añade otro factor de incertidumbre durante la puesta en órbita del satélite. Una vez en posición y perfectamente orientados, empiezan a proporcionar energía a los sistemas, que hasta entonces han debido usar baterías. Esta energía es administrada por un sistema especial que regula el voltaje y la distribuye de forma adecuada al resto de componentes. Cuanto mayor es el número de celdas agrupadas, más potencia puede generarse. Aunque es verdad que éstas suelen deteriorarse con el paso del tiempo, ahora los constructores de satélites colocan

un número suplementario de ellas para garantizar que proporcionarán suficiente electricidad, incluso, durante el último periodo de su vida útil.

4.2.5. SUBSISTEMA DE TELEMETRÍA SEGUIMIENTO Y ÓRDENES

Es el encargado de hacer contacto con las estaciones terrenas con el fin de recibir órdenes de ellas y darles seguimiento. Esto permite el correcto mantenimiento de los subsistemas del satélite.

4.3. RESOLUCIÓN DE LOS DATOS DE LOS SATÉLITE

La salida de radiación (emitida o reflejada) de la superficie terrestre es un fenómeno continuo en 4 dimensiones (espacio, tiempo, longitud de onda y radiancia). Un sensor debe muestrear este proceso continuo discretizándolo. El modo en que esta discretización se lleva a cabo define los cuatro tipos de resolución con los que se trabaja en el sensoramiento remoto:

4.3.1. RESOLUCIÓN ESPACIAL, TAMAÑO DEL PIXEL, Y ESCALA

Para algunos instrumentos del sensoramiento remoto, la distancia entre el objetivo que es reflejado y las plataformas, juega un papel grande en la determinación del detalle de la información obtenida y del área total reflejada por el sensor. Los sensores a bordo de las plataformas lejanas a sus objetivos, ven típicamente un área más grande, pero no pueden proporcionar el detalle.

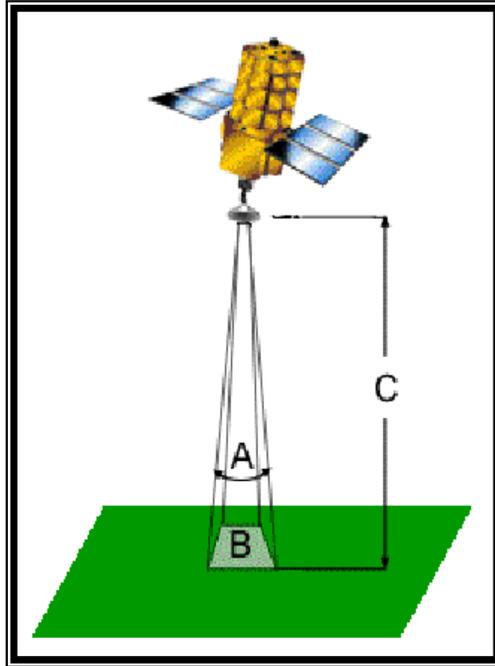


Figura 30. Resolución Espacial, Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

La resolución espacial de los sensores pasivos depende sobre todo de su campo visual instantáneo (IFOV). El IFOV es el cono angular de la visibilidad del sensor (A) y determina el área en la superficie de la tierra que se considera de una altitud dada en un momento particular a tiempo (B), **Ver Figura 30.**

El tamaño del área vista es determinado multiplicando el IFOV por la distancia de la tierra al sensor (C). Esta área en la tierra se llama la célula de resolución y determina la máxima resolución espacial de un sensor.

4.3.2. RESOLUCIÓN ESPECTRAL

La resolución espectral indica el ancho de banda de un sensor o número de bandas que puede detectar un sensor, expresado en longitud de onda. Un sensor será mejor mientras más bandas proporcionen y mientras más estrechas sean éstas.

Entre los sensores espaciales, la menor resolución espectral corresponde al sistema de detección y el ordenamiento de radio.

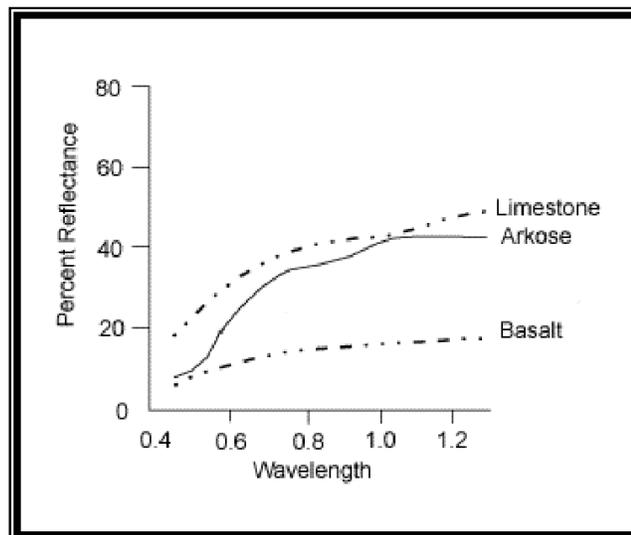


Figura 31. Resolución Espectral, Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

La resolución Espectral describe la capacidad de un sensor de definir intervalos finos las longitudes de onda. Cuanto más fina es la resolución espectral, más estrecha es la gama de longitud de onda para un canal o banda.

Muchos sistemas de sensoramiento remotos registran el excedente de la energía separadas en varias gamas de longitud de onda en varias resoluciones espectrales. Éstos se refieren como sensores multispectral. Los sensores multispectral avanzados son llamados sensores hiperespectrales, detectan centenares de bandas espectrales muy estrechas a través de las porciones visibles, cercano al infrarrojo y mediados del infrarrojo, del espectro electromagnético. Su resolución espectral muy alta facilita la discriminación fina entre diversos blancos basadas en su respuesta espectral en cada uno de estas bandas.

4.3.3. RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA

La resolución radiométrica hace mención a la sensibilidad del sensor, esto es, a la capacidad de detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. El número máximo de niveles digitales que puede detectar un sensor óptico-electrónico es lo que recibe el nombre de resolución radiométrica. Los primeros sensores ofrecían 64 o 128 niveles digitales, actualmente ofrecen más de 1024.

Mientras que el arreglo de píxeles describe la estructura espacial de una imagen, las características radiométricas describen el contenido de información real en una imagen. Cada vez que una imagen es adquirida por un sensor, su sensibilidad a la magnitud de la energía electromagnética determina la resolución radiométrica. La resolución radiométrica de un sistema de la proyección de imagen describe su capacidad de discriminar diferencias muy leves en energía cuanto más fina es la resolución radiométrica de un sensor, más sensible es a detectar diferencias pequeñas en energía reflejada o emitida. Ver **Figura 32**.



Figura 32. Resolución radiométrica, Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

Los datos imaginarios son representados por números digitales positivos que varían a partir del 0 hasta una energía seleccionada de 2. Este rango corresponde al número de bits usados para los números de código en formato binario. Cada bit registra un exponente de la energía 2 (Ejemplo. 1 bit = $2^1 = 2$). El número máximo de nivel de brillo disponible depende del número de bits usados en la

representación de la energía registrada. Así, si un sensor utilizara 8 bits para registrar los datos, habría $2^8 = 256$ valores digitales disponible, extendiéndose en un rango a partir del 0 hasta 255. Sin embargo, si solamente 4 bits fueran utilizados, Entonces solo sería $2^4 = 16$ el rango de valores disponibles va desde 0 hasta 15. Así, la resolución radiométrica sería mucho menor. Los datos de la imagen se exhiben generalmente en una gama de tonos grises, con el negro que se representa el número digital 0 y blanco que representa el valor máximo (por ejemplo, 255 en 8 datos del bit). Comparando una imagen de 2 bits con una imagen de 8 bits, podemos ver que hay una diferencia grande en el nivel del detalle perceptible dependiendo de sus resoluciones radiométricas.

4.3.4. RESOLUCIÓN TEMPORAL

Además de la resolución espacial, la resolución espectral, y radiométrica, el concepto de la resolución temporal es también importante de considerar en un sistema de sensoramiento remoto. La Resolución temporal es la periodicidad con que el sensor adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre. Esta en función de las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad e inclinación) y del diseño del sensor (ángulo de observación y ángulo de cobertura). El ciclo de recubrimiento es el tiempo que tarda el sensor en pasar

sobre la misma porción de la Tierra, el periodo orbital es el tiempo que él tarda en circundar la tierra.

Por lo tanto la resolución temporal absoluta de un sistema de sensoramiento remoto para captura de datos exactamente iguales de una misma área y con mismos ángulos de vista en un segundo periodo serán iguales los datos a un periodo anterior.

La resolución temporal de un sensor depende de una variedad de factores, incluyendo la capacidad del sensor/satélite y la latitud

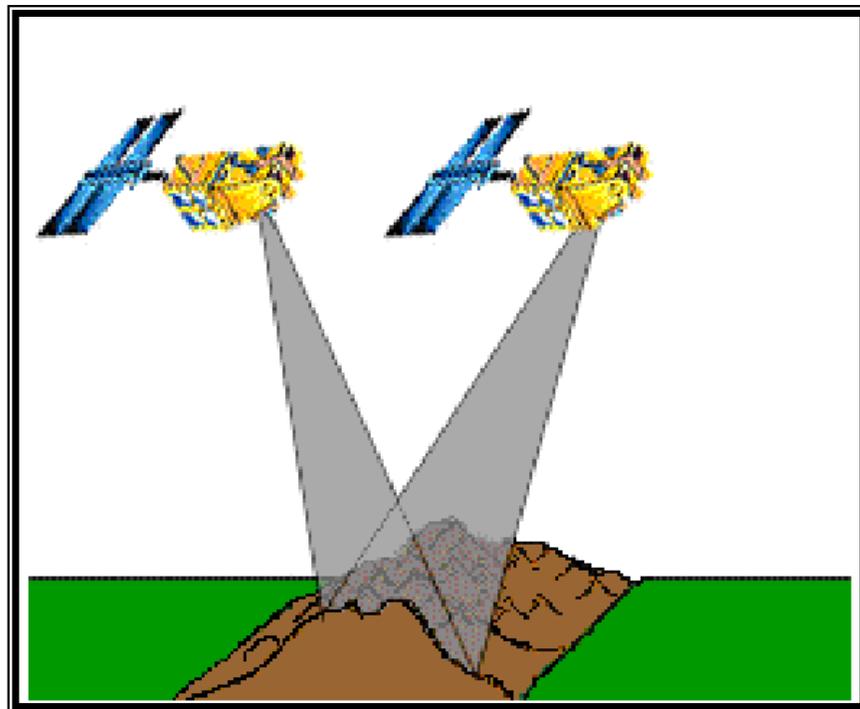


Figura 33. Resolución temporal, Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

La capacidad de recoger imágenes de la misma área de la superficie de la tierra en diversos períodos del tiempo es uno de los elementos más importantes para las aplicaciones de recolección de datos en el sensoramiento remotos. Características espectrales pueden cambiar en el tiempo y estos cambios pueden ser detectados por el comparador multi-temporal de datos.

5. RECEPCIÓN DE DATOS, TRANSMISIÓN Y PROCESAMIENTO

Los datos adquiridos de plataformas satélites necesitan ser transmitidos electrónicamente a la tierra, puesto que el satélite continúa permaneciendo en órbita durante su tiempo de vida operacional.

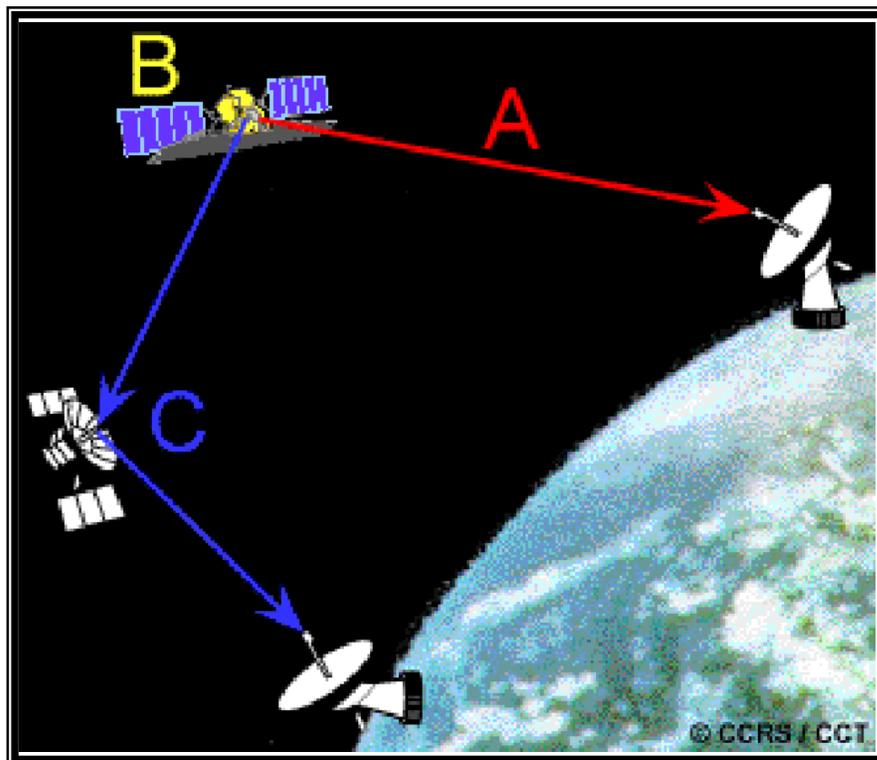


Figura 34. Recepción de datos, transmisión y procesamiento,

Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

Hay tres opciones principales para la transmisión de datos adquiridos por los satélites:

1. Los datos se pueden transmitir directamente a la tierra si una estación de recepción en tierra (GRS) está en la línea de vista al satélite (A).
2. Si éste no es el caso, los datos pueden ser registrados a bordo del satélite (B) para la transmisión a un GRS en un periodo próximo de tiempo.
3. Los datos también pueden ser retransmitidos al GRS, a través sistema satelital de búsqueda de dato (TDRSS) (C), el cual consiste en una serie satélites de comunicaciones en la órbita Geosincrónica. Los datos son transmitidos desde un satélite a otro hasta encontrar el apropiado GRS.

Los datos que se reciben en el GRS llegan en un formato digital crudo. Se procesan para corregir distorsiones sistemáticas, geométricas y atmosféricas, y se traducen a un formato estandarizado. Los datos se escriben en cierta forma en un medio de almacenaje tal como cinta, disco o CD.

5.1. ADQUISICIÓN DE DATOS MEDIANTE SATÉLITES DE ESCANEEO²⁴

El sensor de escaneo (scanner) apunta su dirección de mirada hacia la tierra, toma una medición, rota en el sentido de escaneo, toma la siguiente medición y así sucesivamente hasta que llega al final de su barrida (swath). Luego de eso se devuelve para comenzar una nueva línea de escaneo, habiéndose desplazado una distancia igual a la dimensión Norte-sur del IFOV en tierra, gracias al movimiento orbital del satélite.

5.1.1. FORMATO DE LA IMAGEN

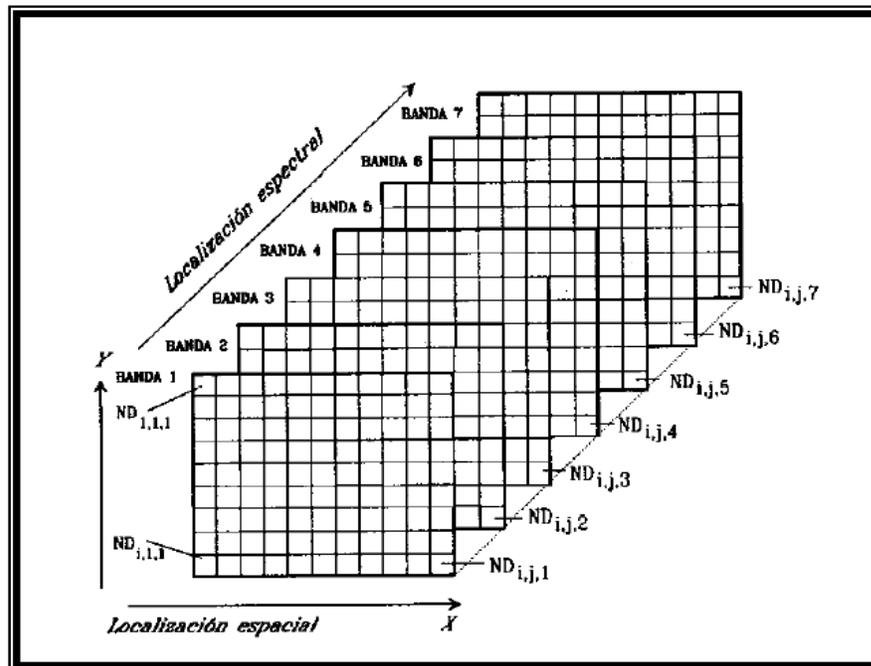


Figura 35. Esquema de la ordenación de los datos en una imagen satelital,

Fuente: <http://www.fao.org>

²⁴ Introducción a la percepción remota del océano, < <http://home.antares.ws> >

La imagen adquirida por el sensor remoto estará en formato digital. Ésta será una matriz con filas y columnas, donde cada elemento es llamado pixel (picture element). Por cada una de las bandas existirá una de estas matrices (**Figura 35**) Al terminar una fila de escaneo usualmente se incorporan parámetros de geolocalización y calibración del sensor. La cantidad y tipo de esta información dependerá del formato de imagen. Además, al comienzo de la imagen suelen ir los "headers" que le indicaran al computador el formato de la imagen, cantidad de líneas, columnas y la cantidad de bits que ocupa cada pixel.

La cantidad de bits usada por el pixel determinará finalmente cuanta información puede llevar este pixel. Un pixel de 1 bit, sólo puede tener 2 niveles de información "encendido" o "apagado", uno de 2 bits tendrá 4 niveles y uno de N bits tendrá 2^n niveles de información. En el sensoramiento remoto lo más usual es encontrar pixeles entre 8 y 10 bits. Una imagen de 8 bits es capaz de almacenar 256 niveles de información, Ejemplo: si la imagen es en escala de grises, serán 256 tonos de gris.

Un byte son 8 bits, por lo tanto al calcular el tamaño que una imagen ocupará en disco se debe corregir por el número de bits de la imagen.

$$1024 \text{ filas} * 512 \text{ columnas} = 524288$$

$$\text{Píxeles} * \mathbf{8\text{bits/pixel}} = 4194304 \text{ bits} / 8 \text{ bits/byte} = 524288 \text{ bytes.}$$

$$1024 \text{ filas} * 512 \text{ columnas} = 524288$$

$$\text{Píxeles} * \mathbf{10\text{bits/pixel}} = 5242880 \text{ bits} / 8 \text{ bits/byte} = 655360 \text{ bytes.}$$

5.2. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES²⁵

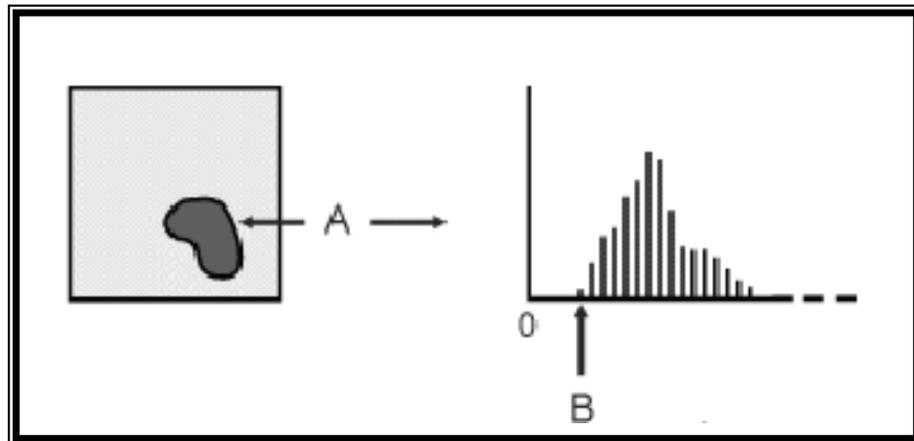


Figura 36. Procesamiento digital, Fuente: <http://www.fao.org>

Procesamiento de imágenes es el término usado para denominar las operaciones desarrolladas sobre un set de datos de imagen para mejorarlas de alguna forma, para ayudar a su interpretación o para extraer algún tipo de información útil de ella, **Figura 36**.

Es obvio que el procesamiento de imágenes no puede producir información a partir de nada. Si en el set de datos no existe información concerniente a una aplicación o interpretación en particular, entonces no importa que cantidad de complicadas rutinas de procesamiento apliquemos, no se podrá obtener información.

²⁵ < <http://www.profc.udec.cl> >

Es de gran importancia tener en cuenta que lo que estamos observando **es una representación gráfica de números**, de igual forma podríamos representar los datos de satélite en forma de tabla.

Los datos satelitales, dependiendo de su tamaño pueden venir en CCT (Computer Compatible Tape), cintas de 8 o 4 mm (DAT), CD-ROM o descargarse por FTP (File Transfer Protocol, el cual corre en protocolo TCP/IP). El medio a seleccionar dependerá del tamaño del archivo usado y la frecuencia de acceso a dichos datos. Si los datos serán usados con frecuencia un CD-ROM es lo más conveniente, pero si serán archivados como base de datos histórica, la elección se inclina hacia las cintas.

5.2.1. IMÁGENES DIGITALES

Previamente vimos que los sistemas adquieren los datos pixel a pixel. La imagen es guardada como una grilla de pixeles. La radiancia (sensores visibles e IR) de cada uno de esos pixeles es registrada por el detector y entonces es digitalizada para permitir su manipulación por parte del computador. Las radiancias podrán tomar cualquier valor entre 0 y R_{max} , el que es el número de intervalos digitales que están disponibles y dependen del número de bits del convertidor análogo-digital $R_{max}=2^n-1$, donde n es el número de bits.

El proceso de digitalización transforma datos análogos continuos en datos digitales discretos, Ejemplo: un número finito de valores enteros es usado para representar todos los valores de los datos originales y continuos.

5.2.2. DESPLIEGUE DE LOS DATOS

En esta etapa, los datos han sido grabados, digitalizados y almacenados en cintas magnéticas en forma de una cuadrícula de pixeles, asignándole a cada pixel un valor entero entre 0 y 2^n . Si los datos han sido adquiridos con un sistema de imágenes, deben ser representados como una imagen en un monitor.

Para que los datos sean mostrados en pantalla, el computador asigna a cada valor entero (o rango de ellos) un color en particular, de forma tal que pueda ser distinguido visualmente. Existen diferentes métodos de codificar los datos en color.

- Codificación (paleta) arcoíris (rainbow encoding): Cada valor digital es asignado a un color diferente, arbitrariamente elegido.

Ejemplo: 0 = rojo, 1= azul, 255 = amarillo.

- Codificación (paleta) en escala de grises: A cada valor se le asigna un nivel de gris, generalmente en un orden ascendente.

Ejemplo: 0 = negro, 1 = gris oscuro, 254 = gris claro, 255 = blanco

- Codificación (paleta) en escala de colores: A cada valor se le asigna un solo nivel de color, generalmente en un orden ascendente.

Ejemplo: 0 = rojo oscuro, 255= rojo claro.

La codificación de la escala del color es utilizada cuando es necesario desplegar más de una imagen al mismo tiempo. En este caso, cada imagen es codificada en un color particular (por ejemplo, rojo, verde, azul) y la imagen final es un compuesto de color de las imágenes originales. Las imágenes originales pueden ser la misma escena adquirida a diferentes longitudes de onda (análisis multiespectral) o a diferentes períodos de tiempo (análisis multitemporal).

5.2.3. PROCESAMIENTO DE IMAGEN

La digitalización deja los datos con un formato adecuado para su manipulación por parte del computador. Éstos pueden ser ahora transformados en cualquier función matemática elegida. Cada sistema de procesamiento de imágenes tiene su propio software asociado, cada uno desarrollando una tarea diferente. La secuencia de tareas aplicadas a una imagen se denomina como procesamiento de imágenes, la cual puede variar dependiendo de las metas que se tengan en vista. A continuación se da una lista de técnicas básicas actualmente usadas en procesamiento de imágenes.

5.2.3.1. CORRECCIONES RADIOMÉTRICAS

La radiancia del objetivo es alterada por la atmósfera a través de la cual pasa la radiancia en su ruta hacia el sensor. El sensor en sí mismo, distorsiona también esta radiancia que ha llegado a él.

Existe una variedad de técnicas utilizadas para la corrección atmosférica: la técnica más simple incluye “la sustracción de píxeles oscuros” y el “apareamiento de histogramas” los cuales son más propensos al error. Las técnicas más complejas involucran la modelación matemática de las condiciones atmosféricas en el tiempo y el lugar de la imagen, las cuales frecuentemente requieren información tomada en el sitio de la imagen y en el momento en que esta imagen fue tomada.

La corrección del ruido del sensor es de dos tipos, relativa y absoluta. Una vez más, la calibración absoluta es únicamente necesitada si se va a realizar análisis cuantitativo o análisis de imágenes múltiples. Información auxiliar enviada desde el satélite es utilizada para realizar la calibración absoluta

La corrección relativa para el “bando” del sensor es generalmente realizada cuando el CCT es producido por el usuario. El fenómeno de “bando” ocurre cuando un sólo canal en un sensor realmente contiene varios detectores. Durante la construcción del sensor, los detectores son apareados en términos de

sensibilidad tanto como sea posible. La sensibilidad del detector va a cambiar lentamente con el tiempo, haciendo un detector más (o menos) sensible a la radiancia, que su vecino. El resultado aparente es que el mismo objetivo será captado con diferente brillantez por detectores con diferente sensibilidad. De nuevo, los datos auxiliares del sensor son utilizados en la etapa de pre-procesamiento (en tierra) para corregir este defecto de la imagen.

5.2.3.2. CORRECCIONES GEOMÉTRICAS

La distorsión geométrica es producida por la curvatura de la tierra, el movimiento no uniforme del barredor, la no linealidad del espejo del barredor y el movimiento rotacional de satélite.

La corrección de estas distorsiones geométricas puede ser lograda en dos formas:

Las posiciones reales de los elementos de la fotografía son cambiadas pero los elementos mantienen sus valores de intensidad. Dada su limitada precisión, este método es utilizado únicamente para correcciones geométricas simples tales como distorsiones.

La imagen es remuestreada, esto es, una imagen digital, geoméricamente distorsionada, es transformada a una fotografía sobre una cuadrícula no

distorsionada igualmente espaciada. Los valores de intensidad de los píxeles de la cuadrícula derivada, deben de ser determinados por interpolación utilizando pixeles vecinos de la imagen distorsionada.

5.2.3.3. REALCE DE IMAGEN

Los métodos de realce son usualmente aplicados a una imagen en la cual la degradación de la imagen (radiométrica y geométrica) ha sido corregida. Los realces son diseñados para ayudar al analista humano en la extracción e interpretación de información pictórica. Esto es logrado al enfatizar las características o patrones de interés, por ejemplo, el sistema visual humano puede discriminar muchos más colores que sombras de gris, por lo tanto un despliegue de color puede representar información más detallada, esto es, codificación de arco iris en lugar de codificación de escala de gris.

5.2.3.3.1. REALCE DE CONTRASTE

El realce de contraste es un proceso de acentuación de la intensidad relativa de los elementos de una imagen. Esto es logrado en una variedad de formas dependiendo de las necesidades de la tarea específica, por ejemplo:

- Modificación lineal $y = a \cdot x + b$
- Modificación de logarítmica $y = b \cdot \log(ax) + c$
- Modificación exponencial $y = b \cdot \exp(ax) + c$
- Modificación externa no-lineal $y = f(x)$

Donde x representa el valor de un elemento en la imagen cruda, y es el valor modificado y a , b y c son constantes. El resultado del realce del contraste es una imagen donde distinciones sutiles entre sombras de gris han sido enfatizadas y por lo tanto más fáciles de ser distinguidas por el ojo.

5.2.4. INTERPRETACIÓN DE LA IMAGEN

Después del realce, la imagen tiene que ser interpretada, para poder extraer el significado real de los datos digitales

5.2.4.1. CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES

Una imagen puede ser dividida en clases distintas, de tal forma que los píxeles que tienen propiedades espectrales similares son agrupados en la misma clase. La separación de estas clases, es realizada con métodos estadísticos o geométricos. La separación de clases o “clasificación” es más exitosa si los objetivos son muy diferentes espectralmente. La precisión de la clasificación es afectada cuando los objetivos a ser separados tienen características espectrales muy similares. Un conocimiento representativo en el área a ser mapeada, es un prerrequisito para una aplicación exitosa de las técnicas de clasificación de imágenes.

5.3. RECONOCIMIENTO DE PATRONES

Un patrón puede ser definido como una imagen que tiene un carácter espacial o geométrico en dos o tres dimensiones. Por ejemplo, la estela de un barco moviéndose en la superficie del mar, hace un patrón por el cual puede ser

identificado en una fotografía aérea. Similarmente, estructuras hechas por el hombre, o características naturales, pueden ser identificadas por sus formas geométricas. Cuando la identificación de un patrón o estructura es llevada a cabo por la computadora, éste es referido como reconocimiento del patrón.

5.4. TRANSFORMACIONES DE LA IMAGEN

Son operaciones dirigidas a crear bandas artificiales, a partir de combinaciones entre las bandas originales de los datos; con el objeto de mejorar la discriminación de algunos aspectos temáticos dentro de la imagen. Obviamente, estas transformaciones no proporcionan información que no estuviera ya disponible en las bandas originales. No obstante, permiten mejorar la disposición de los datos, de forma que sean más evidentes determinados fenómenos de interés, (**Ver Figura 39**).

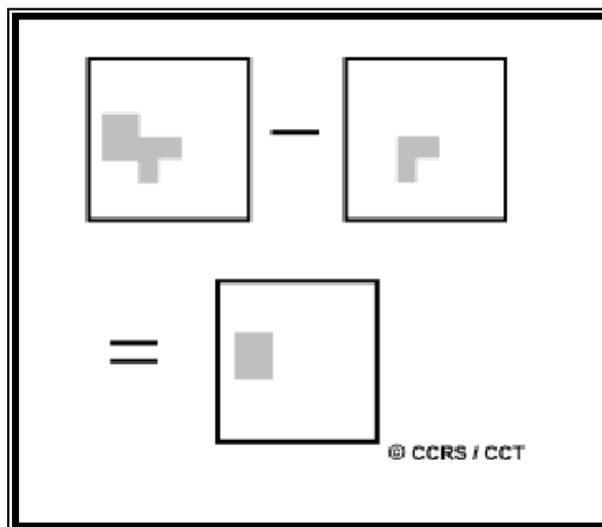


Figura 37. Transformación de la imagen, Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

6. APLICACIONES

Las aplicaciones son la última etapa en el proceso del sensoramiento remoto se alcanza en el momento en que analizamos la información extraída de las imágenes del objeto para un mejor conocimiento del mismo, revelando nuevas informaciones ayudándonos a resolver un problema particular.

Las principales aplicaciones en este proceso son las siguientes:

- Agricultura
- Geología
- Hidrografía
- Detección de derramamientos de aceites
- Detección de incendios

El **CIOH** (Centro De Investigaciones Oceanográficas E Hidrográficas) ubicado en la escuela naval de la ciudad de Cartagena es el encargado de muchas investigaciones entre las cuales esta los sensores remotos, al final de este de capítulo se hablara de lo desarrollo por el CIOH acerca de los sensores remotos y sus aplicaciones.

6.1. AGRICULTURA

La agricultura desempeña un papel dominante en economías de países desarrollados y subdesarrollados. Si la agricultura representa una industria que es negocio substancial para un país económicamente fuerte o simplemente subsana el hambre de territorios superpoblados, en todos los aspectos desempeña un papel significativo en casi todos los países.

Las imágenes basadas en los satélites son las herramientas que se utilizan como proceso para identificar y para clasificar cosechas, para examinar su salud y viabilidad, y para supervisar prácticas agrícolas, **Figura 38**.

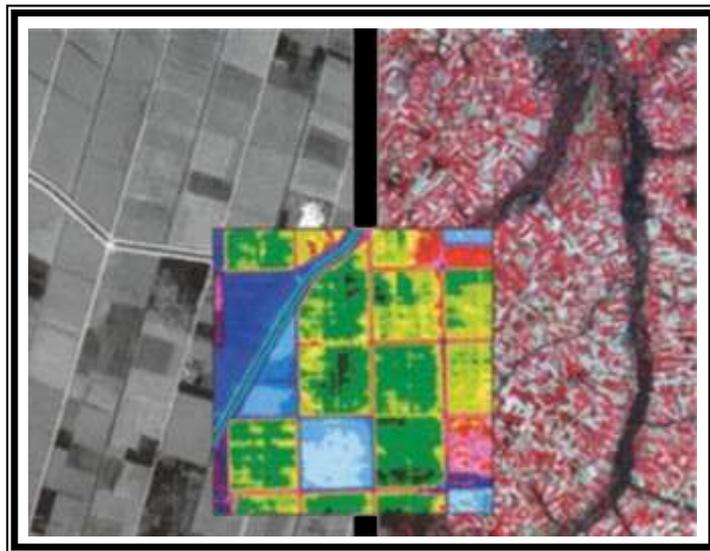


Figura 38. Terreno agrícola supervisado satelitalmente. Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

6.1.1. SENSORAMIENTO REMOTO EN LA AGRICULTURA

El sensoramiento remoto ofrece medios eficientes y confiables de recoger la información requerida, para el mapeo del tipo de la cosecha y el área cultivada. Además de proporcionar una visión sinóptica, el sensoramiento remoto puede proporcionar la información de la estructura sobre la salud de la vegetación. La reflexión espectral de un campo variará con respecto a cambios en el crecimiento, el tipo de la etapa, y la salud de la cosecha, y se puede medir y supervisar así por los sensores multispectral. El radar es sensible a la estructura, a la alineación, y al contenido de agua de la cosecha, y puede proporcionar así la información complementaria a los datos ópticos. Combinar la información de estos dos tipos de sensores aumenta la información disponible para distinguir cada clase de la blanco y su firma respectiva, y hay así una ocasión mejor de realizar una clasificación más exacta.

6.2. GEOLOGÍA

La geología implica el estudio de las formas de la tierra, estructuras, y la superficie inferior, para entender los procesos físicos que crean y que modifican la corteza de tierra.

6.2.1. SENSORAMIENTO REMOTO EN LA GEOLOGÍA

Se utiliza el sensoramiento remoto en la geología como una herramienta para extraer la información sobre la estructura de la superficie de la tierra, la composición o el subsuperficie, se combina a menudo con otras fuentes de datos que proporcionan medidas complementarias. El radar proporciona una expresión de la topografía y de las asperezas superficiales, y es así extremadamente valioso, especialmente cuando está integrado con otra fuente de datos para proporcionar relevación detallada. El sensoramiento remoto no se limita para dirigir los usos en la geología, también se utiliza para apoyar logística, tal como planeamiento de la ruta para el acceso en un área que mina, monitoreo, y generación de mapas.

6.3 HIDROLOGÍA

La hidrología es el estudio del agua en la superficie de la tierra, si fluye sobre la tierra, congelada en hielo o nieve, o conservada por el suelo. **(Figura 39).**



Figura 39. Imagen satelital. Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

6.3.1 SENSORAMIENTO REMOTO EN LA HIDROLOGÍA

Las técnicas del el sensoramiento remoto se utilizan para medir y supervisar el grado regional de las áreas inundadas, para señalar eficientemente esfuerzos del rescate y para proporcionar las estimaciones cuantificables de la cantidad de tierra y de infraestructura afectadas. Incorporar datos remotamente detectados en los GIS permite cálculos y asistencias rápidos para los niveles del agua, daños, y de áreas que hacen frente a peligro potencial de la inundación. Los usuarios de este

tipo de datos son las agencias del pronóstico de la inundación, las compañías de la hidroelectricidad, los departamentos del planeamiento de ciudad y de la respuesta de emergencias, y las compañías de seguros (para la remuneración de la inundación).

6.4. DETECCIÓN DEL DERRAMAMIENTO DEL ACEITE

Los derramamientos del aceite pueden destruir vida marina así como el hábitat para los animales y los seres humanos de la tierra. La mayoría de los derramamientos de aceites marinos resultan de las naves que vacían sus tanques del villaje antes o después que entran al puerto. Amplias áreas de aceite derramado resultan de rupturas de tanques petroleros o colisiones con los filones, bajíos rocosos, u con otras embarcaciones. Estos derramamientos causan daños ambientales de gran impacto para los ecosistemas, (**Ver Figura 40**).

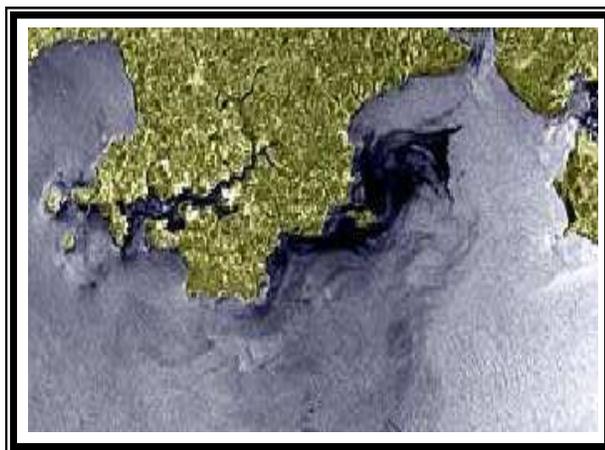


Figura 40. Imagen satelital de derramamiento de petróleo. Fuente: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>

6.4.1. SENSORAMIENTO REMOTO EN EL DERRAMAMIENTO DEL ACEITE

El sensoramiento remoto ofrece la ventaja de poder observar acontecimientos en telecontrol y áreas a menudo inaccesibles.

Por ejemplo, el aceite desborda tuberías rotas, puede ir desenfrenado para un período del tiempo debido a la incertidumbre de la localización exacta del derramamiento, y el conocimiento limitado del grado del derramamiento.

El sensoramiento remoto se puede utilizar de dos formas detección y supervisión de los derramamientos.

Para los derramamientos del océano, los datos en el sensoramiento remoto pueden proporcionar la información en el índice y la dirección del movimiento del aceite con proyección de imagen multi-temporal.

Los dispositivos del el sensoramiento remoto usados incluyen el uso de vídeo infrarrojo y la fotografías de plataformas aerotransportadas, proyección de imagen infrarroja termal, sensores ópticos aerotransportados de los fluoruro sensores laser, aerotransportados y espaciales, así como el SAR aerotransportado y plataformas espaciales. Los sensores del SAR tienen sensores ópticos de un excedente de la ventaja en que pueden proporcionar datos bajo condiciones atmosféricas pobres y durante oscuridad. Los usuarios de los datos remotamente detectados para los usos del derramamiento del aceite incluyen a guardacostas, las agencias, los departamentos de la protección del medio ambiente nacionales,

las compañías petroleras, la industria de envío, la industria de seguro, la industria de pesca, los departamentos nacionales de industrias pesqueras y de los océanos y los departamentos de la defensa.

6.5. DETECCIÓN DE INCENDIOS

La llegada del verano muchas partes del mundo va acompañada de la inexorable y fatal compañía de los incendios forestales, una cruel plaga devastadora que año tras año destruye miles de hectáreas de arbolado, pastos y cultivos, de muy difícil y lenta recuperación. La repercusión de los efectos ambientales en las zonas quemadas es tremendamente negativa, alcanzando algunas veces las fatalidades de estos hechos hasta la pérdida de vidas humanas y materiales. Existen dos factores básicos en la capacidad de destrucción propia de un incendio forestal que se deben analizar de forma detallada:

1. Los medios humanos y técnicos, en actuación coordinada, empleados en su extinción y la rapidez con que éstos se pongan en marcha y acceden al foco generador del incendio.
2. La rapidez en la detección del incendio, de forma que se pueda realizar la intervención en su extinción antes de que haya alcanzado una extensión considerable de terreno.

Todo aquel método, sistema o herramienta que haga posible la mejora de la detección inmediata o la extinción de cualquier incendio tendrá cruciales beneficios ecológicos y evitará la pérdida de vidas humanas de amplio alcance y perjuicios ecosociales.

6.5.1. EL SENSORAMIENTO REMOTO EN LA DETECCIÓN DE INCENDIOS²⁶

El sensoramiento ofrece la ventaja de trabajar en forma continua y debido a la independencia de las ubicaciones del punto de observación y del Centro de Vigilancia y Control, se pueden vigilar las zonas más recónditas.

El sistema de detección satelital permite la detección inmediata de incendios, en de una extensión de 1 a 2 m (en función de la distancia) y desde un margen de hasta 20 kilómetros, y realiza la transmisión vía satélite en tiempo real de señales de alarmas de presencia de potenciales incendios e imágenes de video de la evolución del suceso.

El conjunto de estas alarmas e imágenes, recibidas de forma inmediata en un Centro de Vigilancia y Control de Incendios, permiten la rápida organización de los elementos logísticos imprescindibles para la extinción antes, de que el incendio alcance magnitudes insospechadas.

²⁶ Revista electrónica de difusión científica, Universidad Sergio Arboleda, <http://www.usergioarboleda.edu.co/civilizar>

Este sistema ubicado, en una serie de puntos estratégicos de la zona que se debe vigilar, de un conjunto de unidades de vigilancia compuestas por dos sensores motorizados y una unidad de proceso de señales, más una Estación Terrestre VSAT de transmisión por satélite.

El Sistema se compone de tres partes en su configuración esencial:

6.5.1.1. UNIDADES DE VIGILANCIA

Esta parte se compone de una torre de vigilancia giratoria, en la que se integra una cámara sensora de rayos infrarrojos, una cámara de video y un sistema de control de la Unidad de Vigilancia.

La torre de vigilancia realiza continuos giros barriendo un ángulo de 360° en acimut y un ángulo variable en elevación, en función de las condiciones orográficas del horizonte. Desde el mismo instante en que el sistema de procesamiento da señal, a partir de los datos suministrados por la cámara de infrarrojos detecta un nivel de calor superior al umbral prefijado en una dirección determinada, y envía una alarma al Centro de Control. De forma simultánea, la torre de vigilancia detiene su giro y la cámara de video empieza la grabación en la dirección del foco de calor, proporcionando al Centro de control imágenes reales del foco de calor.

En el armario batidor se alojan los equipos de proceso digital de las señales captadas por ambas cámaras, los equipamientos de comunicaciones

procesadores del protocolo de la aplicación, y los motores que hacen girar las cámaras. Todo este conjunto de elementos se integran de forma organizada, y están para funcionar al aire libre y diseñado para ser alimentados por paneles solares.

6.5.1.2. RED VSAT DE COMUNICACIONES POR SATÉLITE

La Red VSAT (Very Small Aperture Terminals), es el medio de comunicación entre las Unidades de Vigilancia y el Centro de Control.

La VSAT usada dota al sistema de un canal de comunicaciones vía satelital direccional a 19,2 Kbit/s entre las Unidades de Vigilancia y el Centro de Control, con suficiente capacidad para cursar todo tipo de señales, supervisión y control.

Todas las redes VSAT implantadas con estos sistemas son supervisadas y se muestran operativas desde el Centro de Control de Redes por Satélite, atendido de forma permanente por personal especializado en Comunicaciones por Satélite.

6.5.1.3. CENTRO DE VIGILANCIA (CENTRO DE CONTROL).

El Centro de Control permanece la aplicación software que recibe en tiempo real todas las alarmas y las imágenes de video, realiza un procesado y presentación, por un lado en un soporte de cartografía digital que hace posible la localización exacta del foco de calor, y por el otro, muestra las imágenes de video recibidas en uno o varios monitores, lo que permite distinguir la naturaleza y evolución del problema que se presente y discernir de forma rápida si se trata de un problema real o de una falsa alarma.

6.5.2. UNIDADES DE VIGILANCIA

Las Unidades de Vigilancia forman esencialmente los elementos remotos de un Sistema de Detección Automática. La Unidad de Vigilancia se divide en 4 subsistemas:

- Subsistema de sensorización.
- Subsistema de control.
- Subsistema de comunicación.
- Subsistema de supervisión y alarmas.

6.5.2.1. SUBSISTEMA DE SENSORIZACIÓN

La parte principal componente de este subsistema está constituida por una cámara de TV de imagen infrarroja de alta sensibilidad. Se trata de una cámara de nuevo diseño, totalmente en estado sólido (sensor CCD) y de bajo consumo.

Además de la cámara, existe otra de imagen normal de alta sensibilidad (válida para el día y la noche) también en estado sólido y de bajo consumo. Las dos cámaras están solidariamente fijadas a un eje de giro, que está asociado a un decodificador de posición mediante el que se conoce en cada momento los ángulos de posición de las cámaras o, lo que es lo mismo, la dirección del eje óptico de las mismas.

El sistema de cámaras procede a un barrido continuo de un área programada por el operador. El operador de control puede pasar a modo manual cuando estime oportuno, y en ese momento deja el barrido y queda centrado en la posición en que se encontraba cuando recibió la petición.

6.5.2.2. SUBSISTEMA DE CONTROL

Este subsistema está igualmente ubicado en la Unidad de Vigilancia. Sus funciones básicas son las siguientes:

- Control del movimiento de las cámaras y barrido de un área de detección determinada.

- Digitalización de la imagen que es ofrecida por cualquiera de las dos cámaras.
- Análisis de la imagen digitalizada de infrarrojos para la detección de focos calientes.
- Transmisión de las imágenes digitalizadas de cualquiera de las cámaras.
- Detección e indicación de alarmas.

6.5.2.3. MONITORIZACIÓN Y CONTROL

El control local de cada Unidad de Vigilancia se realiza mediante un programa residente en la CPU de configuración, control y proceso. Esta CPU tiene montada una tarjeta digitalizadora en la que la imagen de video procedente de la cámara IR se digitaliza. Una vez realizada esta operación, la imagen es sometida a un proceso de análisis que determina la posibilidad de que se haya iniciado un incendio.

A la CPU de proceso le llegan los datos de posición de la cámara en simultaneidad con la imagen. La producción de una alarma de incendio actúa sobre una salida del sistema que controla una Estación Terrena de satélite. A continuación pasará a modo manual de operación, para que las cámaras de la Unidad de Vigilancia puedan ser gobernadas de forma remota por el Operador Vigilante.

6.5.2.4. CONTROL DEL MOVIMIENTO DE CÁMARAS

El Subsistema de Control se encarga también del movimiento automático de la cámara de IR en el margen de variación angular fijado por el procedimiento de configuración (cuando ese procedimiento finaliza, el ordenador hace la transferencia de datos de variación angular correspondientes a las zonas a vigilar). Cuando se produce una alarma de incendio, el sistema transfiere los datos de posición correspondientes a la zona donde se ha producido el incendio.

6.5.2.5. SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN

Este Subsistema está constituido en las Unidades de Vigilancia por una Estación Terrena VSAT de Comunicaciones por Satélite, de pequeño diámetro (90 cm.), que forma parte de una Red VSAT y que facilita un canal de comunicaciones por satélite con capacidad bidireccional permanente, suficiente para cursar el tráfico que se genera entre cada Unidad de Vigilancia y el Centro de Vigilancia y Control de Incendios, tanto cuando se envían alarmas como cuando se envía señal de video digitalizada.

6.5.2.6. SUBSISTEMA DE SUPERVISIÓN Y ALARMA

Cuando se acaba cada barrido este Subsistema comprueba automáticamente el correcto funcionamiento de su cámara de infrarrojos; para ello procede a la

generación y detección de un foco caliente externo. En caso de anomalía dará la alarma de que la cámara de infrarrojos funciona incorrectamente, y el sistema pasará a modo manual de operación.

6.5.2.7. OPERATIVIDAD-ALCANCE: FACTORES LIMITATIVOS

El Sistema de detección Automática de Incendios forestales **VIGÍA 2000** por Satélite, está desarrollado y fabricado para trabajar de forma continua. Debido a la independencia de las ubicaciones del punto de observación y del Centro de Vigilancia y Control, se pueden vigilar las zonas más recónditas. Es importante destacar el bajo consumo de los equipos que componen la Unidad de Vigilancia, pudiendo ser alimentados sin ningún problema por paneles solares.

6.6. SENSORES REMOTOS EN EL CIOH²⁷

El Centro de Investigaciones a través de los años de desarrollo que ha tenido en todas las áreas de trabajo en que ha incursionado, los Sensores remotos no han quedado al margen de ser utilizados como herramientas de análisis en los distintos proyectos que se han realizado durante esta última década en el **CIOH**. Al comienzo como todas las cosas desconocidas y que no se manejan trae sus complicaciones, falta de experiencia en el manejo de paquetes para el tratamiento de las imágenes utilizadas, encontrar la verdadera razón de utilización de los Sensores remotos y que sirviera de herramientas para el desarrollo de estudios a nivel Oceanográfico, Costero.

El CIOH poco a poco ha encontrando el rumbo y con la colaboración de expertos extranjeros y capacitación de personal se ha logrado implantar el uso de los Sensores remotos como una Herramienta útil, rápida y confiable en la toma de decisiones institucionales.

Los principales proyectos en la utilización de Sensores Remotos en el CIOH son los siguientes:

²⁷ Sensores Remotos en el Centro De Investigaciones Oceanográficas E Hidrográficas, <http://www.cioh.org.co>

- 1. Estudio de la oceanografía costera, bahía de barbacoas canal del dique, islas del rosario y cartografía bioecológica de isla tesoro aplicando sensoramiento remoto**

- 2. El sensoramiento remoto aplicado para determinar la circulación de las aguas superficiales del golfo de urabá y las variaciones de su línea de costa.**

- 3. Dinámica marina y sus efectos sobre la geomorfología del golfo de morrosquillo aplicando sensoramiento remoto**

6.6.1. ESTUDIO DE LA OCEANOGRAFÍA COSTERA, BAHÍA DE BARBACOAS CANAL DEL DIQUE, ISLAS DEL ROSARIO Y CARTOGRAFÍA BIOECOLÓGICA DE ISLA TESORO APLICANDO SENSORAMIENTO REMOTO.

En este proyecto se presentan los resultados de un estudio Geomorfológico Oceanográfico y Biológico, realizado con el fin de identificar los rasgos o características morfológicas que constituyen el relieve costero de las áreas de Barú e Islas del Rosario, efectuado con base en la interpretación fotogeológica y

verificaciones de campo que permitieron establecer que además de los problemas de sedimentación, la zona está afectada por fenómenos erosivos ocasionados por la dinámica marina, el tráfico marítimo, la pesca indiscriminada con dinamita, las construcciones habitacionales y la influencia del turismo.

La información Oceanográfica sirvió de base para la calibración de las señales recibidas por el satélite SPOT, utilizando para tal fin una imagen SPOT multiespectral captada sobre el área en el mes de Julio, tratada para visualizar la circulación de las aguas superficiales usando como trazador las plumas turbias de los caños Lequerica y Matunilla, a través de las cuales el Canal del Dique drena sus aguas a la Bahía y Barbacoas y establecer de esta forma la influencia de la turbidez sobre el parque natural de las Islas del rosario.

6.6.2. EL SENSORAMIENTO REMOTO APLICADO EN LA CIRCULACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL GOLFO DE URABÁ Y LAS VARIACIONES DE SU LÍNEA DE COSTA.

Este proyecto es una continuación del proyecto "estudio Geológico e Hidrológico del Golfo de Urabá" realizado en cooperación con la misión técnica francesa a partir de 1988 con una duración de dos años.

En el centro de Investigaciones a través del programa ANIM del center National de Recherches Scientifiques (CNRS) se efectuó el procesamiento de una imagen SPOT captada sobre el área en época media (Febrero 1989), con el fin de determinar la circulación de las aguas superficiales en el Golfo Durante ese tiempo usando como trazador las plumas turbias (distribución del material en suspensión) de los ríos que desembocan allí (Atrato, León, Turbo).

En la Universidad de Bordeaux (1991) se realizó el tratamiento de esta imagen con el programa para la visualización del contorno costero del Golfo y la incidencia del frente de olas en las proximidades de Bocatarena, con el propósito de analizar en esta última la disipación y concentración de la energía de la ola en este tramo de la costa.

Los cambios morfológicos costeros (erosión, sedimentación) ocurridos en esta área en los últimos años se obtuvieron a partir de comparaciones de la línea de costa de las cartas náuticas de 1938 y 1983 y del contorno costero de la imagen SPOT de 1989.

6.6.3. DINÁMICA MARINA Y SUS EFECTOS SOBRE LA GEOMORFOLOGÍA DEL GOLFO DE MORROSQUILLO APLICANDO EL SENSORAMIENTO REMOTO.

En este proyecto del CIOH se presentan los resultados obtenidos a partir de un estudio meteorológico y sedimentológico del Golfo de Morrosquillo durante la época seca (febrero/93), cuando la velocidad y dirección del viento actuaron como factores determinantes en la circulación de las aguas, la cual se definió a partir de los siguientes parámetros. Distribución de los campos halinos y térmicos, tránsito de los sedimentos depositados sobre la superficie del lecho marino, repartición horizontal y vertical de la turbidez, determinada con base en muestras de campo y calibración, análisis de una imagen de satélite SPOT.

El análisis morfológico efectuado mediante la comparación del trazado de la línea de costa sobre imágenes de satélite y fotografías aéreas a diferentes años permitió establecer las principales variaciones morfológicas en estas zonas. Por efecto de difracción y refracción del oleaje frente a Punta San Bernardo y de compensación al llegar a la flecha de Mestizos, el flujo originado por estos vientos produce dos direcciones principales de corrientes: Una en sentido sureste a partir de la punta San Bernardo, que se desplaza por la Costa este del Golfo y la otra en dirección este, bordeando la costa sur u sureste.

Los principales cambios morfológicos de la línea de sota se presentaron en el sector sur del Golfo. Como resultado de los procesos de acrecimiento sedimentario se originó a partir de 1938 el delta del río Sinú al desembocar por la zona de Tinajones, el cual actualmente continúa su evolución. Los fenómenos erosivos han afectado considerablemente el cuerpo de la flecha de mestizos, la terraza marina al este de la espiga y el sector de playas entre Coveñas y Tolú.

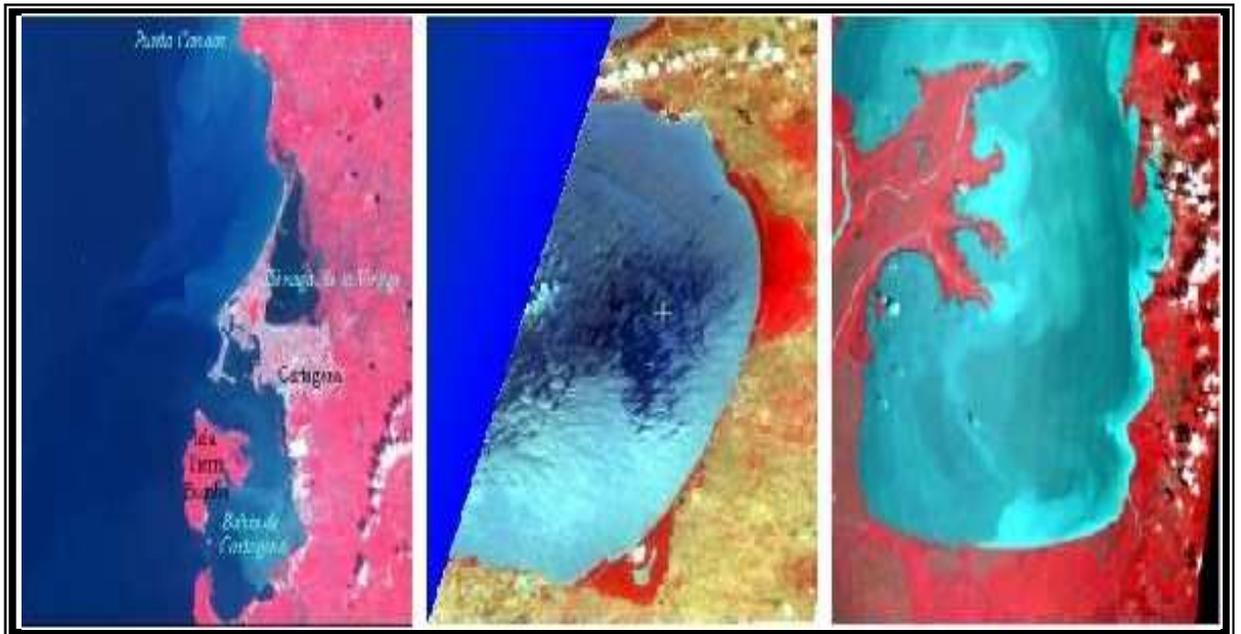


Figura 41. Imágenes de Satélite de las zonas de Estudio, Cartagena LANDSAT7 1997, Golfo de Morrosquillo LANDSAT7 1998, Golfo de urabá (Bahía Colombia) SPOT 1989,

Fuente: www.cioh.org.co

7. CONCLUSIONES

- Luego de haber realizado la investigación acerca del sensoramiento remoto satelital, se puede concluir que esta es una ciencia que necesita de conocimientos teóricos fundamentales para el entendimiento o comprensión de la misma, tales como el estudio de la radiación electromagnética, espectro electromagnético, interacciones con la atmosfera y los objetos de la superficie de la tierra, los cuales proporcionan la base teórica de este estudio.
- Los satélites en el sensoramiento remoto satelital son elementos indispensables, puesto que estos poseen la capacidad de tener una gran área de cobertura para la captura de mayor información con alta resolución espacial, dado que se encuentran ubicados en el espacio. Además los satélites poseen sensores de gran avance tecnológico que facilitan el proceso de obtención y procesamiento de datos, los cuales son adquiridos en el mismo o diferente lugar de la tierra.
- El sensoramiento remoto satelital es una técnica de alta tecnología que brinda apoyo en muchos campos (la agricultura, geología, hidrografía, detección de derramamientos de aceites y detección de incendios, entre otros.) debido a su capacidad de realizar funciones como son supervisión y control, recolección de

información, apoyo logístico, monitoreo, detección inmediata, unidades de vigilancias que permiten rápida localización de alguna falla o problema.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Butler, M., M. Mouchot, V. Barale, C. LeBlanc. 1988. The application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual. FAO Fisheries Technical, Paper 295. Capítulo 4.
- Chuvieco, E. 1990. Fundamentos de la Teledetección Espacial. Capítulo 6, Colección Monografías y Tratados GER, Ediciones Rialp, S.A., Madrid. 453 pp.
- ELACHI, CH. Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing. John Wiley and Sons. 1987.
- González Alonso, F., y Cuevas Gózaló, J. M., (1982), Los satélites de recursos naturales y sus aplicaciones en el campo forestal, Ed. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Madrid.
- KAJIWARA, K. y TATEISHI, R. (1990): Integration of Satellite Data and Geographic Data of Global Land Cover Analysis. Proceedings, ISPRS Commission IV. Tsukuba. Japan. pp. 221-229

- KAUFMAN, Y.J. The Atmospheric Effect on Remote Sensing and its Corrections. Ed. Asrar, G. Theory and Applications of Optical Remote Sensing. John Wiley and Sons. 1989.
- Leese, J.A., Novak, C.S., Clarke, B.B. (1971) "An automated technique for obtaining cloud motion from geosynchronous satellite data using cross-correlation", J. Appl. Meteorol., 10, pp. 118-132.
- Montoya, J. A. 1986. Percepción remota. Clasificación de los sensores remotos. Plataformas utilizadas en Percepción Remota. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia, 80 pp.

DIRECCIONES DE INTERNET

- Introducción al Sensoramiento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales, Disponible en Internet: <http://www.herbario.com.br/fotomicrografia07/inntrodsensoramentoremoto.htm>
- Percepción Remota Satelital Aplica al Mar, Pontificia Universidad Católica de Chile, Disponible en Internet: http://www.puc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h53.html

- Sensores remotos y procesamiento de imágenes, Servicio Geológico Mexicano, *Disponible en Internet:* <http://www.coremisgm.gob.mx/especialidad/esensores.html>
- Remote Sensors, Department of Geography, Faculty of Environmental Studies, University of Waterloo, 7 de September 2003, Disponible en internet: http://www.fes.uwaterloo.ca/crs/geog165/rs_sensors.htm
- Percepción Satelital, Organización de las Naciones Unidas, *8 de diciembre de 1999, Disponible en Internet:* <http://www.fao.org/NoticiaS/1999/9911rs-s.htm>
- Theoretical, and Technical Perspectives of Remote Sensing; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 15 March 2006, Disponible en Internet: <http://rst.gsfc.nasa.gov/Front/tofc.html>
- The Use of Satellite Remote Sensing, Institute at Columbia University, The Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Disponible en internet: <http://www.ciesin.org/TG/RS/RS-home.html>

9. GLOSARIO

ABSORCIÓN: Proceso por el cual la radiación es convertida a otros tipos de energía.

ANALÓGICO: Forma de desplegar datos en la cual los valores es presentada en forma gráfica, tales como curvas. También es una forma de computarizar en la cual los valores son representados por cantidades medibles directamente tales como voltajes y resistencias. Los métodos de computación analógica contrastan con los métodos digitales en los cuales los valores son tratados numéricamente.

ATMOSFERA: Capa de gases que rodea algunos planetas.

BANDA: Intervalo de longitud de onda en el espectro electromagnético.

BIT: En terminología de computadoras digitales, éste es un dígito binario que es un exponente de la base 2.

BITE: Grupo de 8 bits de datos digitales.

CÁMARA MULTIESPECTRAL: Sistema que adquiere simultáneamente fotografías de la misma escena a diferentes longitudes de onda. También es llamada cámara de multibanda.

DATOS DIGITALES: Datos desplegados, grabados o almacenados en notación binaria.

DETECTOR: El componente de un sistema de percepción remota que convierte la radiación electromagnética en una señal que es grabada.

DIGITALIZACIÓN: Proceso de convertir una imagen a formato numérico.

DIGITALIZADOR: Dispositivo para barrer una imagen y convertirla en elementos fotográficos numéricos.

DISTORSIÓN: En una imagen, ésta se refiere a los cambios en forma y posición de los objetos con respecto a su forma y posición verdaderos.

ESTACIÓN RECEPTORA TERRESTRE: Instalación que graba datos de imágenes transmitidas por sensores aéreos o espaciales.

IMAGEN: La representación de una escena como es grabada por un sistema de percepción remota. Aunque imagen es un término genérico, está comúnmente restringido a representaciones adquiridas por métodos no fotográficos.

LASER: Amplificación de la luz por emisión de radiación estimulada.

LIDAR: Fluctuación y Detección de la Luz.

LONGITUD FOCAL: En cámaras, es la distancia medida a lo largo del eje óptico, desde el centro óptico del lente, hasta el plano en el cual la imagen de un objeto distante es enfocada.

MICROONDA: Región del espectro electromagnético en el rango de longitud de onda desde 1 mm hasta más allá de un metro.

PERCEPCIÓN REMOTA: La recolección de información acerca de un objeto o evento sin estar en contacto físico él. La percepción remota está restringida a métodos que graban la radiación electromagnética reflejada o radiada desde un objeto, la cual excluye estudios magnéticos o de gravedad que graban campos de fuerza.

PÍXEL: Término derivado de "Picture Element" en una representación digital para indicar la posición espacial de una muestra en un archivo de imagen, el cual consiste en un arreglo espacial de números digitales y corresponde a la unidad fundamental e indivisible de representación raster. Un ensamble bidimensional de píxeles forma la matriz que conforma la imagen. El parámetro fundamental que describe dicha cuadrícula es el espaciamiento entre píxeles en cada una de las dos direcciones de la imagen. El espaciamiento de píxel, se refiere a menudo como píxel o tamaño de píxel.

PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES: Manipulación computarizada de los valores digitales de los elementos fotográficos de una imagen.

PROCESAMIENTO INTERACTIVO: Método de procesamiento de datos a través del cual el operador observa los resultados preliminares y puede alterar las instrucciones al computador para obtener óptimos resultados.

RADAR: Radio Detección y Fluctuación.

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA (EMR): Energía propagada a través del espacio o a través de medios materiales en forma de una interacción avanzada entre campos eléctricos y magnéticos.

RESOLUCIÓN: La habilidad de distinguir objetos cercanamente espaciados en una imagen o fotografía. Comúnmente expresado como el espaciamiento, en pares de líneas por unidad de distancia, de las líneas más cercanamente espaciadas que pueden ser distinguidas.

RUIDO: Eventos aleatorios o repetitivos que obscurecen o interfieren con la información deseada.

SATÉLITE: Un objeto en órbita alrededor de un cuerpo celestial.

SENSOR: Un dispositivo que recibe radiación electromagnética y la convierte en una señal que puede ser grabada y desplegada como datos numéricos o como una imagen.