Satélites de Observación utilizados en percepción remota y sus aplicaciones en la Investigación Marítima

Capitán de Fragata
Guillermo Hasembank Rotta

INTRODUCCIÓN

Los avances en las telecomunicaciones, las ciencias aerospaciales, la informática y la cartografía, vienen posibilitando el desarrollo de modernas tecnologías como la Percepción Remota y los Sistemas que nos permiten tener bases de datos gráficas relacionales automatizadas, denominados Sistemas de Información Geográfica (SIG), capaces de facilitarnos las labores relacionadas con el estudio de los recursos naturales, el medio ambiente, los estudios oceanográficos y la seguridad. Hoy, a puertas del siglo XXI, para nadie es secreto el salto gigantesco que ha dado la humanidad en los últimos años en lo que se refiere a la exploración de la tierra desde el espacio exterior basado en el empleo de la Percepción Remota. Recordando el significado de esta tecnología, vemos que no es otra cosa que la obtención de información de un objeto, área o fenómeno con el empleo de equipos e instrumentos, sin estar en contacto con ellos, con la consiguiente interpretación y análisis que realizamos al respecto. Tenemos como un ejemplo claro, simplemente, la acción de tomar una fotografía. Definitivamente, para todos los que tenemos que ver con la seguridad y la ciencia, tenemos la oportunidad de contar con instrumentos que nos permiten conseguir información, en tiempo real, de grandes áreas del planeta en sitios inhóspitos, ya sea con el uso de satélites, de aviones, de boyas, y otros medios, y con ello se han reducido los grandes esfuerzos que se realizaba en la antigüedad en diferentes actividades, como es el caso, entre éstas, de la investigación marítima.

IMPORTANCIA DEL EMPLEO DE SATÉLITES DE OBSERVACIÓN EN LA INVESTIGACIÓN MARÍTIMA

El desarrollo sostenido del propio espacio oceánico y costero es una de las principales tareas de las Marinas de hoy; en otras palabras, este desarrollo debe insertarse dentro del concepto amplio de una verdadera planificación marítima integral, de un proceso permanente y dinámico, orientador de un crecimiento que nos permita una ocupación real y efectiva de este estratégico territorio, y en donde la información y el conocimiento deben ser administrados adecuadamente, siendo necesario, dentro de este marco, hacer esfuerzos comunes para maximizar el empleo y crecimiento de la investigación marítima, uno de los intereses marítimos vitales en el mundo actual. Como sabemos, esta investigación se apoya en general en las "ciencias del mar", que son por excelencia "ciencias de la observación"; es por eso que, con la ayuda principalmente de satélites de observación como plataforma, la Percepción Remota nos permite hoy realizar en la actualidad estos estudios y análisis en períodos relativamente cortos, con mayor eficiencia y a un menor costo, permitiéndonos avanzar en diversos conocimientos. Por ejemplo, la contaminación marina, los procesos de alteración de la geomorfología del litoral costero, el desarrollo de la infraestructura costera, la pesquería, el tráfico marítimo, etc.

CLASIFICACIÓN DE LOS SATÉLITES

Diferentes plataformas son empleadas en la Percepción Remota, pero es indudable que las más espectaculares lo constituyen los satélites artificiales, que se clasifican en satélites de órbita polar y satélites geoestacionarios. Los primeros, por lo general, se sitúan a una altitud promedio de 1,000 kilómetros y, en el curso de una órbita, pasan cerca a los dos polos, norte y sur. Tardan cerca de una hora y tres cuartos en girar en torno a la tierra, y, con la ayuda de instrumentos capaces de captar, de lado a lado, parte determinada de la tierra puede verse ésta por lo menos dos veces cada 24 horas. En cambio los satélites geoestacionarios, como su nombre lo indica, permanecen estacionarios con respecto a la tierra, de tal modo que siempre ven la misma zona de superficie del globo; operan a una altitud de cerca de 36,000 kilómetros aproximadamente. Con la ventaja que le proporciona la distancia, una sola de éstas puede servir para ver una zona circular de más de un cuarto de la superficie de la tierra; además, cuentan, a diferencia de las polares, con luz solar el 99 por ciento del tiempo. Los

satélites geoestacionarios sirven para la observación meteorológica, formando una red que cubre totalmente el globo terrestre.

PROGRAMAS SATELÍTICOS MÁS IMPORTANTES

Creyendo conveniente dar algunos detalles de los programas más importantes, mencionaremos principalmente los que se aplican para el estudio de los recursos naturales, como son el SPOT, el LANDSAT y el RADARSAT.

El programa SPOT: Conocido como proyecto del Sistema de Observación de la Tierra, ha sido desarrollado por el Centro Nacional de Estudios Espaciales (CNES) francés, en colaboración con Bélgica y Suecia. Esta plataforma cuenta para sus operaciones con dos equipos de exploración denominados HRV (Haulten Resolución Visible), permitiendo obtener imágenes mediante dos formas: una multiespectral (verde, rojo e infrarrojo cercano) con una resolución espacial de 20 metros, y otra pancromática, en la que la observación se realiza en una banda espectral única, correspondiente a la parte visible del espectro sin el azul, y se obtiene imágenes con resoluciones espaciales de 10 metros. La zona cubierta en cada escena es de 60 Km. y puede alcanzar los 80 km. en visión oblicua, pasando por el mismo punto cada 26 días. Gracias a su diseño, tiene la capacidad de observar la misma zona en órbitas sucesivas, reduciendo así la frecuencia temporal de las imágenes.

El Programa LANDSAT: Producto de los excelentes resultados que arrojaron las primeras fotografías espaciales que la NASA diseñó en la década de los 60, es el primer proyecto basado en el empleo de satélites para el estudio de la observación de los recursos terrestres. El primer satélite LANDSAT, denominado ERTS (Satélite Tecnológico de los Recursos Terrestres), fue lanzado en 1972, siguiendo después toda una serie hasta la actualidad, encontrándose en operación solamente el LANDSAT 5. El último lanzado fue el LANDSAT 6, pero éste ya fue declarado perdido por la NASA.

Las actuales plataformas cuentan para su operación con un sensor denominado TM (Thematic Mapper). Este nuevo sensor proporciona datos en 7 bandas espectrales, con una resolución espacial de 30 mts; excepto la banda 6, la cual tiene una resolución espacial de 120 más, principalmente porque su empleo es para determinar la temperatura.

El Programa RADARSAT. Canadá reconoció la necesidad de un satélite con radar para obtener mejor vigilancia del Norte canadiense, debido principalmente a que sus zonas costeras están continuamente cubiertas de niebla y calima. Este

IMAGEN SPOT 86 PANCROMATICA

IMAGEN SPOT 86 RIMAC

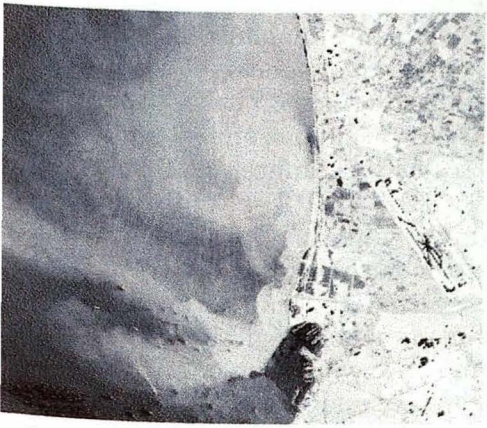


Imagen original paleta gris 256

REALCE LINEAL IMG. SPOT 86 RIMAC

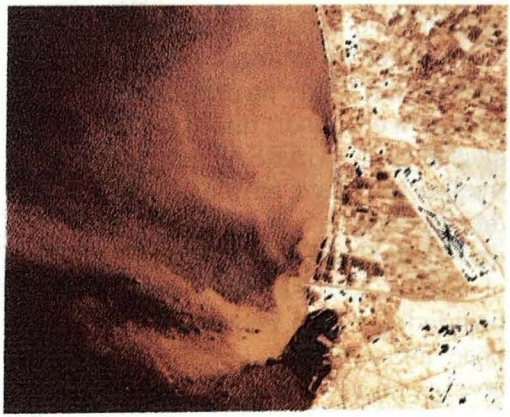


Imagen con Realce lineal paleta RO-1

REALCE ECU. HISTOGRAMA SPOT 86 RIMAC

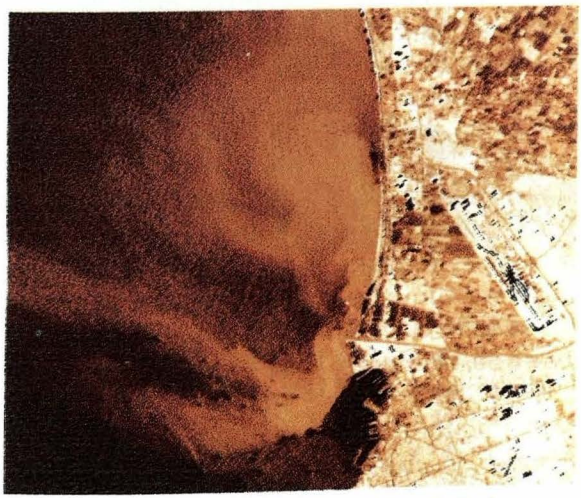


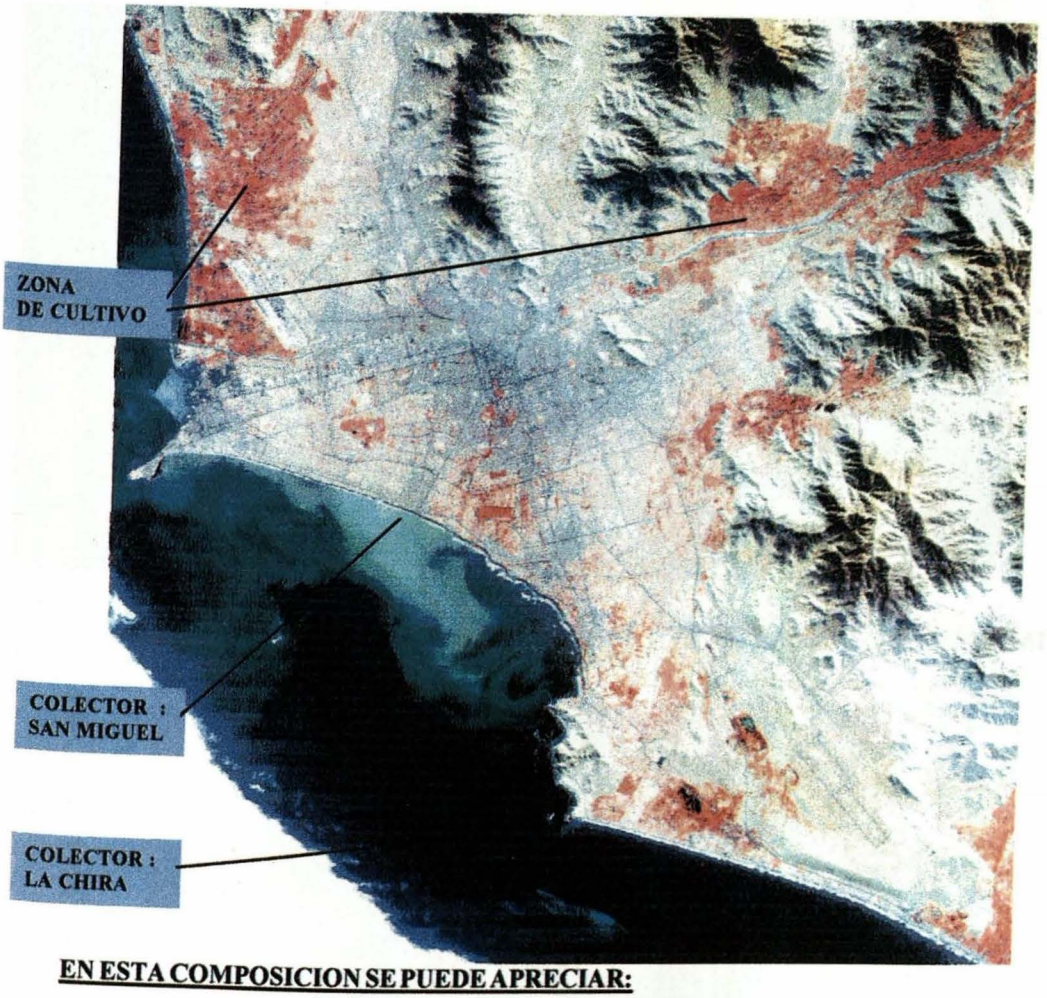
Imagen Ecualizada paleta RO-1

* Resolución: 20 metros

sistema ha sido desarrollado por la Agencia Espacial Canadiense (CSA) con la cooperación de la NASA. La diferencia principal de los sensores de este satélite con los otros de observación de la Tierra es que en el caso de los sensores ópticos se colecta energía del Sol que es reflejada en la superficie terrestre hacia el sensor; mientras que en el caso del RADARSAT, por ser éste un sensor activo, emplea la energía de microondas que luego de reflejada por la superficie es captada por el satélite. Este satélite penetra nubosidades, humo, cobertura vegetal poco densa y hasta la superficie terrestre en condiciones de baja humedad. Este satélite se encuentra en órbita desde 1995. A 800 km. de altitud sobre la Tierra, trabaja en una sola banda, el pancromático, pasa cada 21 días por un mismo punto de la Tierra, entrega imágenes con resoluciones variables de hasta 8.4 mt. y coberturas desde 50 a 500 km., con ángulos de incidencia de 20 a 50 grados. Existen experiencias respecto a que en este tipo de imágenes se ha llegado a tener información de tuberías de petróleo que están a 3 metros de profundidad en los campos de Irak. En mi opinión podría ser un excelente complemento a la información de los otros satélites de observación, como el SPOT y LANDSAT, pudiendo combinárselos mediante el empleo de procesadores de imágenes para conseguir mayor información de la imagen, principalmente en zonas de gran cobertura nubosa o de persistentes nieblas.

Otros programas de interés: Actualmente existen múltiples programas satelíticos (como se apreciará en el cuadro correspondiente). Entre los más empleados para el medio ambiente tenemos los satélites polares americanos NOAA, que recopilan información de la superficie terrestre en diferentes bandas espectrales y en diferentes resoluciones (APT/ HRPT - 4/ 1.1 Km.). También tenemos los satélites geoestacionarios americanos GOES, que nos brindan imágenes con información meteorológica y del medio ambiente, y que son empleados generalmente por los centros de difusión de los pronósticos meteorológicos. Además, tenemos satélites que, según informaciones de expertos, están dando muy buenos resultados en múltiples actividades, como el satélite europeo ERS-1, y el de la India, conocido como IRS-1, tan bueno o mejor que el LANDSAT. Este año Japón, con el apoyo de los Estados Unidos y Francia, dentro del marco del estudio de los cambios climáticos, está lanzando uno de los satélites más grandes que se hayan enviado al espacio: el ADEOS (Advanced Earth Observación Satélite). Este es un satélite polar, que viajará a una altura de 800 km. de la Tierra. Entre las múltiples informaciones que brindará será el monitoreo del nivel de los clorofluorocarbonos, causantes de la reducción de la capa de ozono. Para el año de 1997, está programado el lanzamiento del satélite americano SEA-

IMAGEN LANDSAT, COMPOSICION, ECUALIZADO HISTOGRAMA DE LAS BANDAS 124 MAY-1989



EN ESTA COMPOSICION SE PUEDE APRECIAR:

* LAS ZONAS DE CULTIVO/VEGETACION SE MUESTRAN DE COLOR ROJO
* EN LA DESEMBOCADURA DEL COLECTOR DE SAN MIGUEL, EL FLUJO DE CONTAMINACION QUE INGRESA HACIA EL MAR SE DILUYE, DIRIGIENDOSE HACIA CHORRILLOS Y BARRANCO CONTAMINANDO AUN MAS LA BAHIA.
* SE APRECIA FACILMENTE LAS AUTOPISTA Y LA ZONA URBANA.
* EL AGUA DE MAR VARIA EN TONALIDAD DE COLOR DE ACUERDO A L GRADO DE CONCENTRACION DE SÓIIDOS EN SUSPENSION.
* EL COLOR CELESTE FRENTE AL MUELLE DE ENAPU/BASE NAVAL INDICA SUSTANCIA OLEOGINOSAS O PETROLEO EN SUPERFICIE.

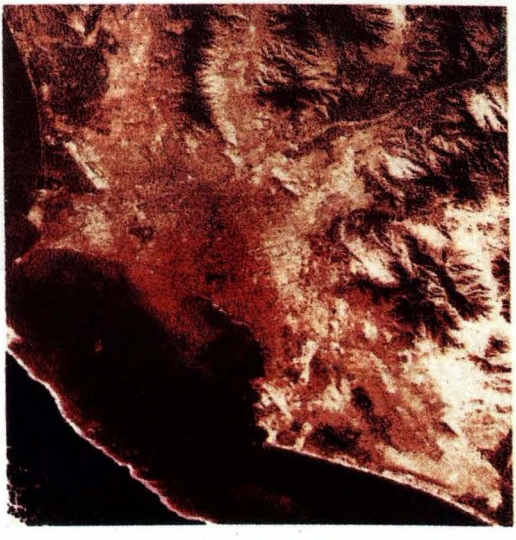
IMAGEN LANDSAT BANDA 1
FECHA : FEB-1989



IMAGEN ORIGINAL PALETA GRIS-256



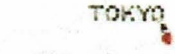
REALCE LINEAL
PALETA RO-1



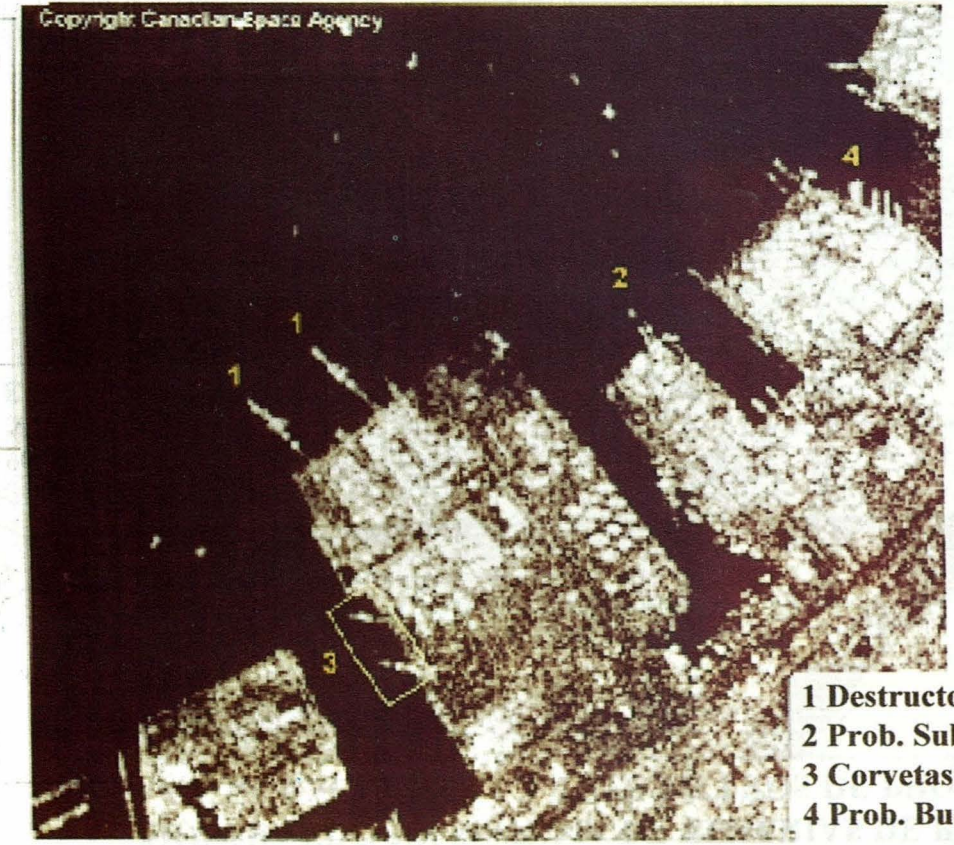
ECUALIZACION Y REALCE
HISTOGRAMA PALETA RO-1

MONITOREO DE BUQUES DE GUERRA MEDIANTE RADARSAT

PUERTO TOKIO
JAPON



Fecha : 14 Feb. 95
Lat : 35° 28' N
Long : 140° 00' E

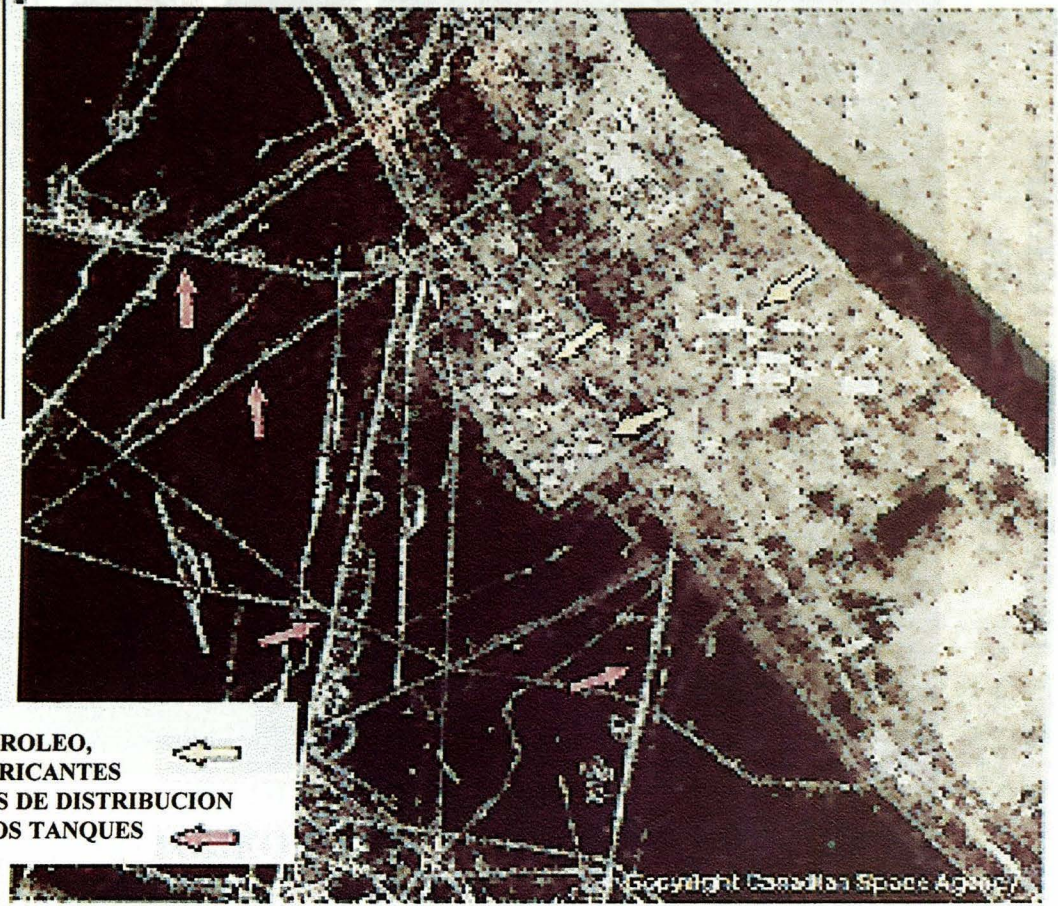


1 Destructores
2 Prob. Submarinos
3 Corvetas
4 Prob. Buque Transporte

IMAGEN RADAR SAT (IRAQ)
MOSTRANDO UN SISTEMA DE TUBERIAS DE PETROLEO
QUE SE ENCUENTRA A TRES METROS DE PROFUNDIDAD



Fecha : 22 Ene 96
Lat : 30° 00' N
Long : 48° 00' E



* **TANQUES DE PETROLEO, GASOLINA Y LUBRICANTES**
* **RED DE TUBERIAS DE DISTRIBUCION CONECTADA A LOS TANQUES**

SAT, que tendrá como misión el monitoreo de las variables oceanográficas, con resoluciones de 1.13 Km. y uno de baja resolución de 4.5 Km.

Finalmente mencionaremos el ambicioso **programa americano EARTHWATCH,** que consiste en una constelación de 4 satélites que viajarán a una altura de 400 km. Se espera, para 1998, alcanzar resoluciones espaciales de hasta 1 mt. La gran ventaja de esta nueva tecnología de imágenes ópticas es que el usuario podría solicitar ventanas del tamaño que requiera.

PROCESO DE RECEPCIÓN Y TRATAMIENTO DE IMÁGENES

Para el proceso de recepción de imágenes a través de los sensores de los satélites, éstos cuentan dentro de su diseño, por cada banda de longitud de onda que operan, con un arreglo de fotodiodos o llamados también detectores. Es decir, en el caso del LANDSAT, que trabaja en 7 bandas, cuenta con 7 arreglos, los cuales capturan la energía reflejada de los cuerpos. Algo parecido, con las distancias del caso, sucede cuando uno escanea una fotografía y lo hace en fracción de segundos. Posteriormente la codifica de acuerdo a una escala de niveles de gris en formato binario, siendo transmitida esta información a un satélite geoestacionario, para su posterior transmisión a los Centros de Rectificación de Imágenes Espaciales (CRIS). Es en esos Centros en donde se hacen unas correcciones preliminares de carácter radiométrico y geométrico. Cuando se adquiere esta imagen, uno puede hacerlo en distintos formatos, pero el más adecuado, hoy en día, son los discos ópticos. Los costos de este material se encuentran en el orden de los US $ 3,000 a los $ 5,000. A pesar de adquirirse las imágenes con algunas correcciones, el experto siempre va a encontrar deficiencias, producto, en el caso de los satélites polares, de alteraciones orbitales que haya tenido el satélite en su curso, o también por distorsiones provocadas por la atmósfera o el sensor. Por lo que en el tratamiento de la imagen con el empleo de software especializado, se hace indispensable un producto temático óptimo, para la fotointerpretación del experto y ser exportado a un Sistema de Información Geográfico, lo que nos permitirá obtener información adecuada para una toma de decisiones oportuna en los diferentes campos de la actividad humana. Remarcable es la importancia que tiene el hecho del trabajo de recolección de muestras en el campo, lo que permite al experto correlacionar la información obtenida, en imagen o en foto, con la realidad y que de esta manera la interpretación lograda se ajuste a los objetivos de la investigación.

APLICACIONES EN LA INVESTIGACIÓN MARÍTIMA

A continuación vamos a explicar a *grosso modo* las aplicaciones de la Percepción Remota en la investigación marítima, en estudios costeros y oceanográficos en los que la Dirección de Hidrografía y Navegación trabaja al ritmo de la tecnología espacial y en el que la capacitación permanente juega un papel importante. Además hablaremos de su uso en estudios pesqueros, entre otros.

Estudios Costeros: El empleo de satélites y aviones hoy en día ha facilitado en mucho el monitoreo de los diferentes procesos que afectan el equilibrio de las frágiles y extensas zonas costeras, muchas veces derivado de la construcción de obras o de fenómenos naturales. Típico ejemplo de estos problemas son los cambios geomorfológicos en el litoral, la contaminación marina, la explosión demográfica inadecuada. Tenemos ejemplos en base a trabajos con imágenes LANDSAT, en las bandas visibles y TM4, y con la SPOT pancromática y multispectral, con las cuales se puede obtener, por ejemplo, información de contaminación marina producto principalmente de afluentes domésticos. Asimismo, el procesamiento digital de imágenes y fotografías aéreas permite apreciar, en áreas sensibles, a procesos erosivos y/o a sedimentación intensa que pueden afectar finalmente las actividades costeras. No podemos dejar de insistir en la importancia que tiene la recolección de información en base a imágenes y fotos de poblaciones e infraestructura costeras.

Estudios Oceanográficos: Actualmente se puede obtener la temperatura superficial con la banda 6 de LANDSAT, y además existen sistemas empleados en base a imágenes NOAA, que, en forma diaria, por lo menos dos veces al día, en estaciones de recepciones fijas en tierra o en estaciones a bordo de barcos, recepcionan imágenes en banda visible y en infrarrojo cercano y terminal, las cuales, previo procesamiento en programas de tratamiento digital, nos proporcionan cartas de temperatura, que, relacionadas con otras variables en un SIG, nos permite obtener información sobre el desplazamiento de corrientes marinas, estudio del Fenómeno El Niño, etc. Hay que recordar el papel que juegan también los satélites de observación en el monitoreo del hielo para trabajos de investigación en La Antártida.

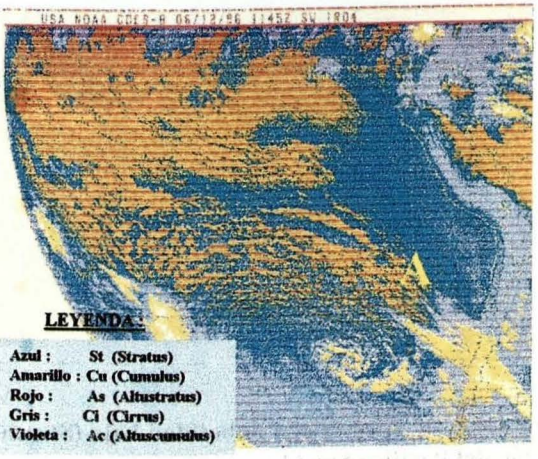
Estudios Pesqueros: En la actualidad, los satélites marcan su presencia en la actividad pesquera, principalmente en el desarrollo de las estrategias de pesca, la que medimos en meses o estaciones del año. En este tipo de estudios es importante obtener, como producto, la carta de pesca, que no es otra que la resultante en un ambiente SIG, de la carta de temperatura, información del fitoplancton, profundidad, etc., parámetros que ya se en-

PROCESAMIENTO DE IMAGEN DE SATELITE METEOROLOGICO SERIE GOES-8 INFRARROJA 12-JUN-96 11:45 GMT.

IMAGEN ORIGINAL(Sin procesamiento)



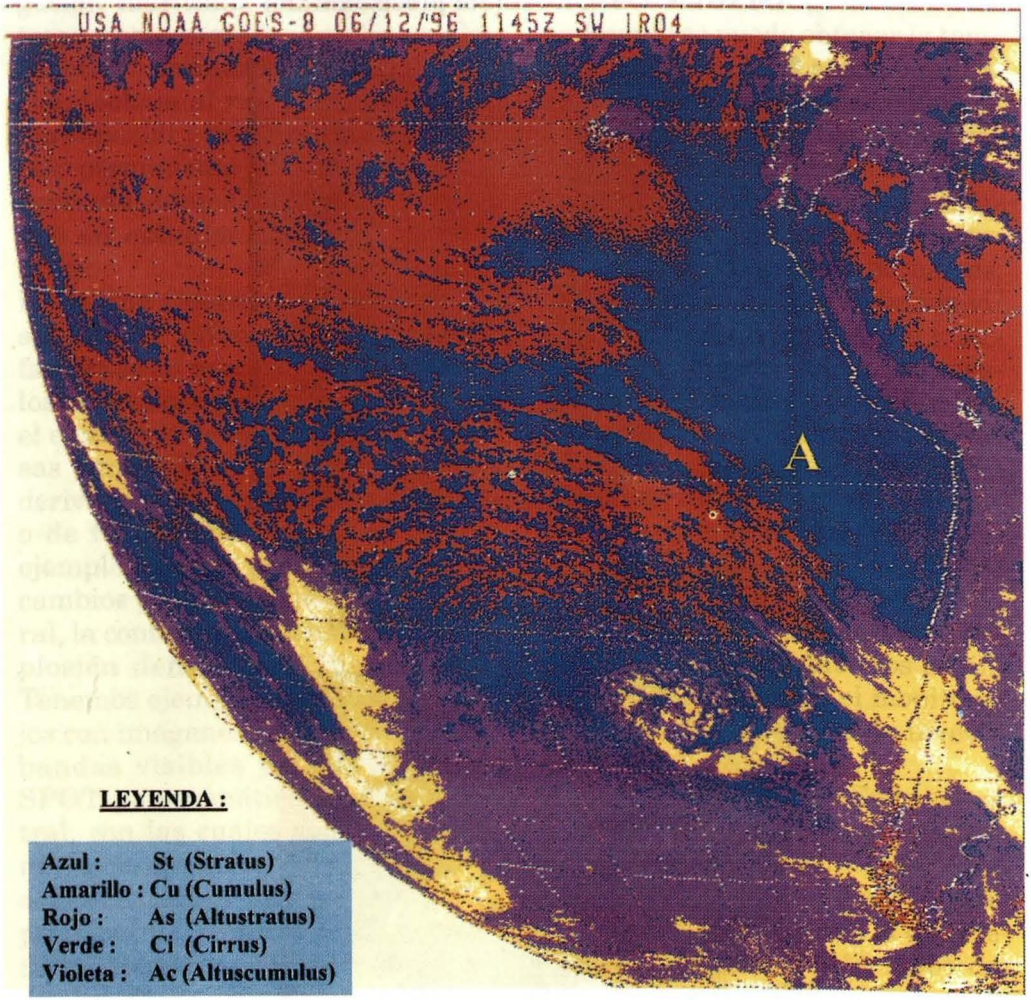
Clasificación por Altura de las Nubes (Procesamiento Software IDRISI)



Se aprecia frente a la Costa peruana una nubosidad baja (Stratus), que indica la presencia del Anticición del Pacífico Sur (A). La Nubosidad media (Altocumulus) a lo largo del continente, se debe a la presencia de la Cordillera de los Andes que es la que condiciona la formación de este tipo de nubosidad sobre nuestra costa.

PROCESAMIENTO DE IMAGEN DE SATELITE METEOROLOGICO SERIE GOES-8 INFRARROJA 12-JUN-96 11:45 GMT.

Clasificación por Altura de las Nubes (Programa IDRISI)



- **Frente a la Costa peruana se aprecia una nubosidad baja (Stratus), que indica la presencia del Anticiclón del Pacifico Sur (A).**
- **La Nubosidad media (Altocumulus) a lo largo del continente, se debe a la presencia de la Cordillera de los Andes que es la que condiciona la formación de este tipo de nubosidad sobre nuestra costa.**

cuentran estudiados según la especie. Por ejemplo, sabemos que con el fitoplancton -una gran parte importante de la cadena alimenticia de los recursos hidrobiológicos- el color del agua de mar varía según las concentraciones de este microorganismo, y es así como en la banda visible del LANDSAT o del SPOT podemos obtener esta información. Para aplicaciones de tácticas de pesca, se emplean generalmente avionetas con sistemas radáricos que capturan la información de zonas océanicas. Otro ejemplo, en el caso de pesca pelágica oceánica del atún, los satélites son empleados en la determinación de los frentes térmicos, debido a que las bolsas de agua caliente operan como trampas naturales que aumentan la concentración de estas especies.

Estudios Meteorológicos Marítimos: Para el trabajo del monito-



Imagen del satélite indio IRS-1 (National Remote Sensing Agency, Hiderabad).

SATELITES DE RECURSO TERRESTRE Y SENSORES OPERANDO EN ORBITA BAJA DE LA TIERRA

Auspiciador: / Satélite	Estados Unidos	Francia	Estados Unidos	Japón	India	Japón	Europa
Nombre	Landsat	SPOT	NOAA	MOS	IRS	JERS-1	ERS
	4.5	-1, -2, -3	-10, -11, -12	-1a, -1b	-1A, -1 B	(=FUYO-1)	-1
Fecha(s) de lanzamiento	1982 y 1984	1986, 1990 y 1993	1986, 1988 y 1991	1987, y 1990	1988 y 1991	1992	1991
Orbita							
Altitud en Km.	705	632	845-861	909	904 y 900	568	785
Inclinación	98.2°	98.9°	98.9°	99.9°	99.5°	97.7°	98.5°
Periodo en minutos	98.9	101.4	102	103	103.2	96	100
Repetir la cobertura en días	16	26	-	17	22	44	35
1er. Sistema de Sensor	Mapeador Temático	Multiespectral HRV1	AVHRR2	VTIR3	LISS4-I	Sensor Optico	AMI5
Ancho de barrido en Km.	185	60-80	3000	1500	148	75	(opera en 5.3 GHz en 3 modos del radar' de apertura sintética)
Resolución en metros	30	20	1100-4000	900, 2700c	73	18x24	
No. de bandas:	3	2	1	1	3	2	
Visible Cerca/medio/termal IRb	1/02/01	1/-/-	1/01/02	-1-13	1/-/-	2d/-/-	
2do. Sistema de Sensor	Barredor Multiespectral	Pancromático HVR1		MESSR6	LISS4-II	SWIR7	ATSR7 IRR8
Ancho de barrido en Km.	185	60-80	-	100	74 por cámara	75	500
Resolución en metros	80	10		50	36.5	18X24	
No. de bandas:	2	1		2	3	-	1 nadir, 1.5 x 2
Visible Cerca/medio/termal IRb	2/-/-	-/-/-		2/-/-	1/-/-	-/4/-	adelante
3er. Sistema de Sensor				MSR9	LISS4-II	SAR10	ATSR7 MS8
Ancho de barrido en Km.	-	-	-	317,317	(como arriba)	75	-
Resolución en metros				32,002,300		18	-
Bandas				23.8, 31.4 GHz		1.275 GHz	23.8, 36.5 GHz
4to. Sistema de Sensor							Radar Altimétrico
Banda	-	-	-	-	-	-	13,8 GHz

a 0.4 - 0.7 um.
b 0.7 - 1.5 / 1.5 - 5.0 / 5.0 - 12.5 um.
c 900 metros por banda visible
2700 metros por infrarrojo
d Uno hacia adelante, el otro recto hacia abajo, para hacer un estereoscopio

1 Alta resolución visible
2 Radiómetro avanzado de muy alta resolución
3 Radiómetro visible e infrarrojo termal
4 Línea de imagen scaneada por la cámara.

5 Instrumento Activo de microonda
6 Radiómetro Multiespectral Electrónico de scaneo
7 Radiómetro de onda corta en infrarrojo
8 Pista de scaneo radiométrico
Radiómetro infrarrojo/Sondeador de microondas
9 Radiómetro de scaneo en microondas
10 Apertura sintética del radar

reo de fenómenos meteorológicos contamos con los sistemas de recepción de imágenes GOES, que, como indicamos, nos permiten analizar información satelítica en banda visible, donde obtenemos información de nubosidad y es en el infrarrojo donde obtenemos información de vapor de agua y temperaturas. Toda esta data finalmente se emplea, junto con la información de las diferentes estaciones meteorológicas, en la elaboración de cartas de tiempo, donde podemos apreciar la evolución de áreas con tormentas, mal tiempo, oleaje irregular, frentes fríos y calientes.

Otras aplicaciones: En el campo de la defensa se hace indispensable principalmente en lo referente al planeamiento estratégico, pudiéndose obtener información de objetivos militares, rutas de comunicación, desplazamiento de tropas y unidades, operaciones anfibias, etc. Es remarcable mencionar, como ya lo dijimos anteriormente, la importancia que tiene el manejo de información de satélites como el SPOT y RADARSAT. No estamos lejos de imaginarnos, que nuestras Fuerzas Navales también cuenten, en el futuro, con sus propios satélites de observación, pensando que, en las guerras modernas, un segundo es vital, con lo que puede maximizarse la calidad en las decisiones de los comandos en los diferentes teatros que nos tocará enfrentar en algún momento de nuestra historia.


CONFERENCIA ESPECIA
INTERAMERICANA
SOBRE TERRORISM
LIMA - PERU
23 - 26 ABRIL 1996


CONFERENCIA ESPECIALIZ
INTERAMERICANA
SOBRE TERRORISM
LIMA - PERU
23 - 26 ABRIL 1996
Sheraton Lima
COSTA RICA