TELEDETECCION, S.I.G. Y CAMBIO GLOBAL

Emilio Chuvieco

Departamento de Geografía
Universidad de Alcalá de Henares

INTRODUCCION: LA IMPORTANCIA DEL ENFOQUE GLOBAL

Tradicionalmente nuestra disciplina ha estado interesada en el estudio de las relaciones entre los diversos componentes, naturales y humanos, que forman el paisaje terrestre. Este enfoque integrado, convierte a la Geografía en una disciplina idónea para el estudio de los procesos globales, cada vez más protagonistas en la investigación medioambiental de los últimos años. Problemas que afectan profundamente a la opinión pública, como el deterioro de la capa de ozono, la lluvia árida o la desertificación se contemplan, cada vez con más convicción, como procesos globales, en donde intervienen múltiples variables interrelacionadas sobre el planeta en su conjunto.

Algunos ejemplos pueden ilustrar sobre la magnitud y complejidad de estos procesos, así como sobre sus consecuencias en el deterioro de la calidad de nuestro medio ambiente.

Tomemos como modelo a los procesos de desertificación, de especial relevancia en nuestro país, el más afectado de la Comunidad Europea por este problema. Cuando hablamos de desertificación hacemos referencia, a la vez, a un proceso natural y humano. Por un lado, estamos refiriéndonos a una consecuencia de condiciones climáticas inestables, en zonas semiáridas. Por otro, aludimos a un proceso de deterioro ambiental causado directamente por el hombre, al realizar una gestión inadecuada de estos espacios frágiles. En conjunto, se estima en unos 60.000 km^2 los perdidos anualmente por procesos de desertificación, y en unos 30.000.000 km^2 los potencialmente afectables por este proceso (Kemp, 1990). Junto a los factores naturales (cambio climático), las causas de la desertificación se relacionan estrechamente con unas prácticas agrarias inapropiadas (fig. 1): sobrepastoreo, deforestación, roturación de tierras marginales, regadíos no controlados, etc. que causan la erosión del componente más vital del suelo, o su salinización, y una pérdida, a veces irreversible, del sustrato vegetal.

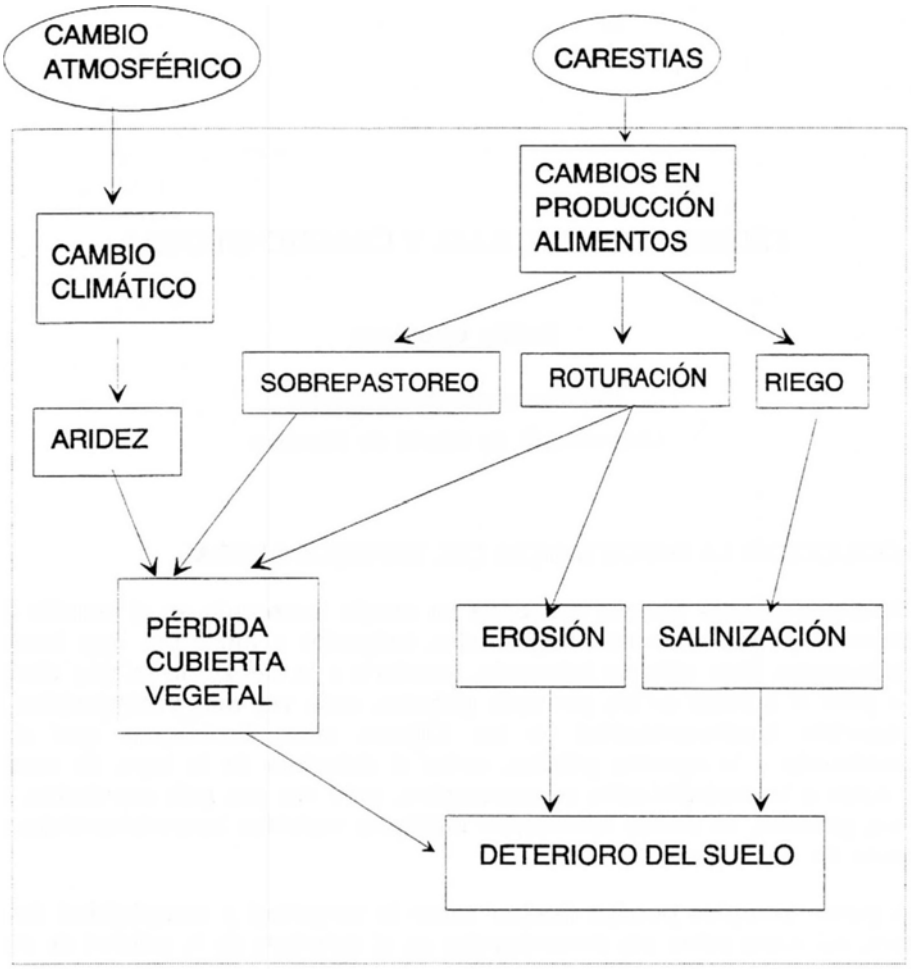


Figura 1.- Esquema de los factores que intervienen en los procesos de desertización

Ahora bien, estas acciones están relacionadas con una situación de estrés de la población, debida a un período de mayor sequía, a un aumento demográfico o a una situación de conflicto bélico -que provoca migraciones incontroladas y catastróficas carestías, como ha ocurrido en los últimos años en el Africa occidental-, por lo que el componente humano debe estar presente en el estudio de los procesos globales.

En resumen, la desertificación es un fenómeno que afecta a un vasto territorio, más allá de cualquier frontera nacional, y que está originado por la conjunción de muy variados aspectos humanos y medioambientales. Es evidente, en este caso, que el término proceso global no sólo se refiere al volumen del territorio abarcado, sino

también a las disciplinas implicadas en el problema. En el mismo sentido cabría expresarse en relación con otros procesos de gran importancia medioambiental, como la deforestación del bosque ecuatorial (Myers, 1991), la lluvia ácida, el efecto invernadero o el deterioro de la capa de ozono (Unninayar, 1988; Kemp, 1990). En todos ellos, se muestra la conjunción de aspectos físicos (química atmosférica, oceanografía, climatología, fisiología vegetal...), y humanos (población, consumo, tecnología, aspiraciones...: Moss, 1992), que actúan sobre un vasto territorio.

Evidentemente, este enfoque global precisa un salto cualitativo y cuantitativo en las fuentes de información geográfica tradicionalmente accesibles. Se requieren nuevas herramientas para la obtención y gestión del gran volumen de datos que están demandando los estudios globales. En este marco, el presente trabajo pretende facilitar algunas reflexiones sobre las características de estas bases de datos globales y sus fuentes de información, haciendo especial hincapié en los datos obtenidos por los satélites de observación terrestre de la serie NOAA.

EL DISEÑO DE BASES DE DATOS GLOBALES

Como antes indicamos, el estudio de los procesos globales implica dos dimensiones de gran trascendencia en el diseño de bases de datos. Por un lado, se trata de trabajos que cubren un amplio espectro de variables. Por otro, abarcan vastos territorios, desde la escala continental hasta la planetaria. Estas dos características, implican algunas particularidades de estas bases de datos en relación con las locales (fig. 2). Entre los aspectos a considerar, pueden citarse los referentes al volumen de información, su estructuración y gestión, documentación y manejo de errores (Peuquet, 1988; Mounsey, 1991).

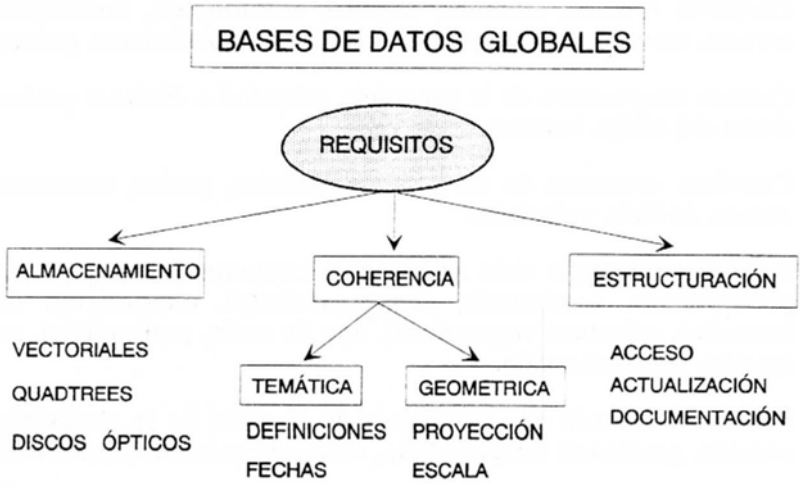


Figura 2.- Particularidades de un S.I.G. orientado hacia aplicaciones globales

Variables de interés para estudios globales

Sería muy prolijo hacer una enumeración pormenorizada de las variables de interés para el estudio de procesos globales. La gran cantidad de proyectos de marcha, sobre muy diversos campos, dificulta compilar una relación muy meticulosa (fig. 3). No obstante, podemos hacer una lista sucinta de estas variables agrupadas en distintos ámbitos (Unninayar, 1988; Walker, 1990):

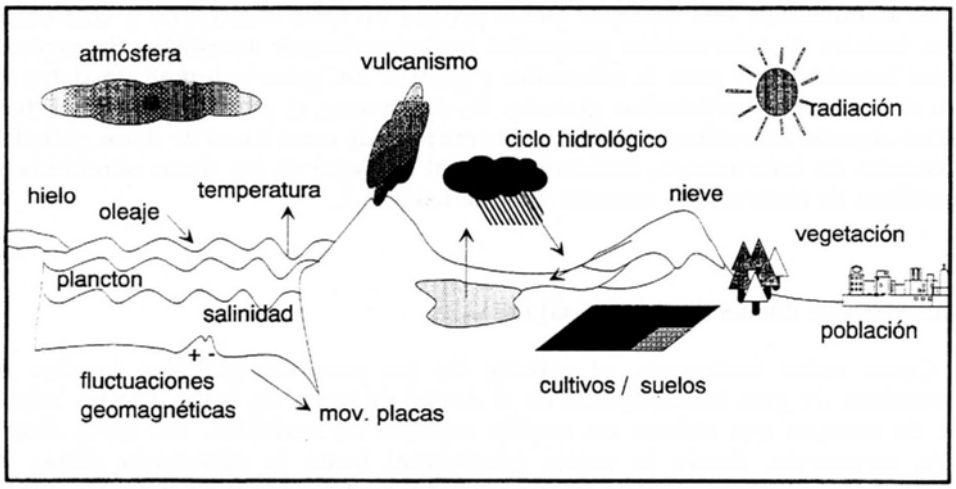


Figura 3.- Variables implicadas en los procesos globales

(I) Geosfera: rotación terrestre, cambios altitudinales, interacción centro-corteza, movimiento de placas, vulcanismo, fluctuaciones geomagnéticas.

(II) Océano: temperatura de la superficie, salinidad a distintas profundidades, altura del oleaje, biomasa oceánica.

(III) Criosfera: cobertura de nieve, hielo oceánico, grosor, movimiento de la corteza de hielo y glaciales.

(IV) Superficie terrestre: ciclo hidrológico (evaporación, evapotranspiración, precipitación, escorrentía, almacenamiento), temperatura del suelo, humedad, cobertura vegetacional, tipo de suelo, profundidad, nutrientes, erosión, mineralización.

(V) Radiación: balance en superficie y en el techo de la atmósfera, albedo, emisión, gradiantes Ecuador-Polo, constante solar, flujo ultravioleta.

(VI) Composición atmosférica: concentración y distribución de CO_2, fluorocarbonos, ozono, aerosoles.

(VII) Estructura de la atmósfera: viento, temperatura, humedad, presión, comportamiento del *jet-stream* a distintas alturas.

(VIII) Población: crecimiento, migraciones, utilización del suelo, sanidad, indicadores económicos, tecnología.

Requerimientos para una S.I.G. de aplicación global

Entre las particularidades de las bases de datos globales destaca, en primer lugar, el volumen de información que precisan almacenar. Además de abarcar un amplio número de variables, éstas deben referirse a vastos territorios, lo que implica gestionar grandes masas de datos. Por ejemplo, si se pretendiera realizar un inventario mundial con imágenes SPOT pancromático (resolución de 100 m^2 y un sólo canal), se requeriría un almacenamiento equivalente a 1,5 x 10^{12} bytes (1.389 Gigabytes), lo que resulta inabordable con la tecnología actual. Aún si disminuyéramos la resolución espacial a 1 km^2, todavía se necesitarían 142,22 Megabytes para albergar cada una de las variables a introducir en el sistema. Obviamente, resulta obligado acudir a estructuras de almacenamiento compactas, que permitan reducir estos volúmenes a niveles más manejables. Algunas propuestas subrayan la conveniencia de las estructuras vectoriales, para cartografía temática, y árboles cuaternarios *(quadtrees)* para mallas regulares (Tobler y Chen, 1986; Peuquet, 1988). Asimismo, se aboga por teselas de menor resolución, entre 10.000 y 100 km^2, según las variables. Las reducciones en los precios y las mejoras tecnológicas en los sistemas de almacenamiento (singularmente los discos ópticos), pueden facilitar en el futuro mejores resoluciones.

Otro aspecto a tener en cuenta es la coherencia, tanto temática como geométrica, en la información que se ingresa a este tipo de bases de datos. En el caso de la cartografía temática, por ejemplo, al tratarse de datos provenientes de distintas agencias y/o países, es frecuente detectar inconsistencias en la definición de las categorías o los criterios de compilación. Por ejemplo, en el desarrollo del proyecto CORINE -que luego comentaremos- Mounsey (1991) anota la falta de univocidad de criterios en los países de la C.E.E. para definir algo tan aparentemente trivial como la temperatura mensual media, lo que dificulta la fusión entre los datos meteorológicos provenientes de los distintos países.

En esta misma línea cabe hablar en lo que se refiere al ajuste geométrico entre áreas fronterizas. Pese a que la proyección U.T.M. se haya estandarizado en la mayor parte de los países, todavía persisten problemas de solape entre cartografías nacionales (diferentes escalas, normas de elaboración cartográfica, etc.). En muchas ocasiones es preciso obtener una cartografía global a partir de la generalización cartográfica, lo que lleva a frecuentes errores de interpretación por la subjetividad del proceso (Rhind y Clark, 1988). De igual modo, son muy dispares las fechas de referencia y la actualización de la cartografía disponible. A ello hay que añadir la escasa disponibilidad de cartografía digital, y la falta de estándares en formatos de intercambio de la información. Por estas razones, varios intentos de cartografía global han partido de una sola fuente de referencia en lugar de intentar conjuntar

cartografías nacionales. Por ejemplo, el proyecto impulsado por la Asociación Cartográfica Internacional para generar un mapa base para estudios globales, ha seleccionado como fuente más idónea el ONC *(Operational Navigational Charts)*, a escala 1:1.000.000, compilado por el *U.S.Defense Mapping Agency* (Clark et al., 1991).

En cuanto a la estructuración de la base de datos, resulta obligado considerar que se trata de información vital para un amplio abanico de científicos. En consecuencia, se debe enfatizar la facilidad de acceso (por redes o en soporte digital), la interconexión entre las distintas variables, su rápida actualización, y una buena documentación de sus contenidos (Mounsey, 1991). De estas consideraciones se derivará, en gran parte, el éxito del diseño y la utilidad del esfuerzo, teniendo siempre en cuenta que "la forma en la que sean almacenadas e integradas las distintas observaciones sobre la superficie terrestre determinará nuestro grado de entendimiento de los procesos globales" (Tomlinson, 1988, p.1).

En resumen, un S.I.G. de enfoque global debe incorporar funciones que le permitan integrar información de distintas fuentes, compactarla si es preciso, realizar transformaciones en la estructura de los datos y conectarse con herramientas de gestión y modelado (estadística, sistemas gráficos, inteligencia artificial...). Resulta obligado, asimismo, que su estructuración sea altamente eficiente, para que la información pueda ser recuperada y actualizada con rapidez[1].

TELEDETECCION DE LOS PROCESOS GLOBALES

Sensores para un enfoque global

A lo largo de las últimas décadas, se han puesto en órbita diversos proyectos de observación terrestre, que han permitido ampliar considerablemente las aplicaciones de la teledetección espacial. Como es bien sabido, los primeros satélites tenían por objeto informar de las condiciones meteorológicas, con objeto de mejorar nuestro conocimiento de los procesos atmosféricos y de la predicción del tiempo. A estas primeras misiones de los satélites TIROS y ATS, se unieron en los años setenta otras específicamente diseñadas para la observación de los recursos terrestres y marinos. Los satélites denominados Landsat, Seasat, HCMM, SPOT, IRS, MOS, Almaz y ERS, han sido, hasta el momento, los más destacados. Su operatividad ya ha quedado demostrada en temáticas medioambientales muy variadas, desde los ecosistemas marinos hasta los terrestres (Lulla, 1983), con un especial interés en la prevención y control de desastres naturales: inundaciones, erupciones volcánicas, huracanes, deslizamientos, etc. (Alexander, 1991).

No se trata en este marco de hacer un análisis pormenorizado de estas áreas de aplicación, puesto que aquí nos interesa remarcar la operatividad de estos sensores para estudios globales. En este sentido, el enfoque global lleva consigo algunas

[1] El artículo de Clark et al (1991) incluye una lista de funciones y utilidades necesarias en un S.I.G. dedicado a aplicaciones globales.

consideraciones peculiares frente a los estudios locales o regionales. En primer lugar, implica trabajar a una escala pequeña, que permita abarcar grandes territorios. En consecuencia, no tendría sentido trabajar con sensores de alta resolución espacial, que convertirían el volumen de datos en inabordable. Sin embargo, un sistema global debe enfatizar la resolución temporal, ya que algunas de las variables de interés global son muy dinámicas en el tiempo. En cuanto a la precisión espectral, el sistema observacional más idóneo debería abarcar las franjas más vitales del espectro electromagnético, las visibles e infrarrojo cercano y medio para la vegetación, agua o suelos, y el térmico para temperatura del mar, detección de focos de calor o climatología (Verstraete et al., 1990).

Para abordar estudios globales, conviene citar el interés de los sensores CZCS *(Coastal Zone Color Scanner)* y ESMR *(Electrically Scanning Microwave Radiometer),* ambos a bordo de la familia de satélites Nimbus. El primero, con una resolución de 800 m y seis bandas espectrales, ha sido de gran interés para seguimiento del contenido de clorofila y de la turbidez en los océanos, además de proporcionar sus temperaturas superficiales. El segundo sensor, radiómetro pasivo de microondas, ha permitido detectar movimientos de icebergs y cartografiar capas de hielo en terrenos inaccesibles (Hall y Martinec, 1985), ya que, como es sabido, la emisión en esta banda del espectro es bastante sensible a las bajas temperaturas (Chuvieco, 1990, cap.2).

También de gran rendimiento han sido los satélites geoestacionarios: GOES *(Geostationary Operational Environmental Satellite),* Meteosat, GMS y GOMS. Su ciclo de barrido electrónico les permite obtener una imagen completa del disco visible de la tierra, desde la longitud a la que se encuentran, cada 30 minutos, ofreciendo imágenes en el espectro visible e infrarrojo medio y térmico. Aunque son idóneos para controlar la evolución de las condiciones atmosféricas, también se están empleado en otras aplicaciones terrestres, como es el caso del seguimiento de la desertización o la evolución de las láminas de agua (Wald, 1990).

En la carga útil de los satélites Seasat y ERS, además del radar de abertura sintética que les caracteriza, se encuentran otros sensores de gran interés para estudios globales. Ambos satélites se orientan principalmente hacia estudios marinos, por lo que incorporan un altímetro y un dispersómetro, que les permite adquirir información de gran importancia sobre la altura del oleaje o el campo de vientos. Además, ambos incorporan sensores térmicos (SMMR para el Seasat y ATSR para el ERS) de gran precisión para medir la temperatura superficial del mar.

El AVHRR de los satélites NOAA

Pese al interés de los sensores hasta aquí comentados, sin duda el más destacado para estudios globales es el AVHRR *(Advanced Very High Resolution Radiometer)* a bordo de los satélites NOAA. Esta familia de satélites se diseñó originalmente con fines meteorológicos, pero ha captado el interés de múltiples expertos en temas medioambientales. Se trata de un satélite de órbita polar y baja altura que complementa la información atmosférica ofrecida por las plataformas

geosíncronas. El AVHRR, ha sido utilizado, hasta el momento, en siete plataformas (NOAA-6 a NOAA-12), proporcionando una de las más largas series de datos disponibles a partir de la teledetección (desde 1979). Actualmente están en funcionamiento los satélites NOAA-11 y 12. Orbitan a una altitud de 833 km, con ciclos de 9 días, si bien, gracias a la amplitud del barrido que realiza (± 55,4°), proporciona un recubrimiento completo del planeta cada 12 horas. Los satélites pares (como el NOAA-12) obtienen imágenes a las 7,30 y 19,30 horas, y los impares (NOAA-11) a las 14,30 y 2,30 horas.

La resolución espacial del sensor es de 1,1 x 1,1 km en el nadir. Este es el formato de alta resolución, denominado LAC *(Local Area Coverage)* cuando se graba a bordo, o HRPT *(High Resolution Picture Transmission)* cuando se envía en tiempo real a las estaciones receptoras. Puesto que el sistema de grabación del NOAA es bastante reducido, se realiza a bordo un muestreo de los datos LAC para obtener un producto de menor resolución denominado GAC *(Global Area Coverage),* con un tamaño de pixel de 4 x 4 km. Por último, también puede obtenerse un producto denominado GVI *(Global Vegetation Index),* que genera un índice de vegetación (a partir de los canales infrarrojo cercano y rojo) sobre un pixel de 16 km de lado.

En cuanto a la resolución espectral, el AVHRR incluye canales:

Banda 1: 0,58 - 0,68 mm (rojo),
Banda 2: 0,72 - 1,10 mm (infrarrojo cercano)
Banda 3: 3,55 - 3,93 mm (infrarrojo medio)
Banda 4: 10,30 - 11,30 mm (infrarrojo térmico)
Banda 5: 11,50 - 12,50 mm (infrarrojo térmico)[2]

Esta disposición de sus bandas espectrales facilita la aplicación de estas imágenes a campos muy variados. La presencia de una en el visible y otra en el infrarrojo cercano permite obtener índices de vegetación, altamente correlacionados con parámetros vitales de las plantas, como biomasa o superficie foliar (Tucker, 1979). El índice más utilizado es NDVI *(Normalized Difference Vegetation Index),* definido como:

$$NDVI_{i,j} = \frac{(L_{i,j,IR} - L_{i,j,R})}{(L_{i,j,IR} + L_{i,j,R})}$$

donde L indica la radiancia espectral; i y j la línea y columna de la imagen, y R e IR, los valores correspondientes a las bandas rojo e infrarrojo cercano, respectivamente[3]. Este índice varía entre -1 y +1, situándose la vegetación sana, normalmente, entre 0,2 y 0,6.

[2] La banda 5 no se incluyó en los satélites NOAA-6,8 y 10.

[3] El cálculo también puede hacerse con los valores de reflectividad. Para la transformación de valores digitales a niveles de reflectividad puede consultarse Chuvieco (1990. pp. 249-53). Los coeficientes figuran en el documento de la Agencia Espacial Europea sobre los formatos de estas imágenes (ESA, 1992).

En cuanto a las otras tres bandas, la situada en el infrarrojo medio resulta idónea para detectar focos de alta temperatura. Se ha utilizado para detección de incendios forestales o erupciones volcánicas (Malingreau, 1990; Langaas, 1992). Por su parte, la información proporcionada sobre el infrarrojo térmico permite obtener temperaturas del agua del mar o estimar evapotranspiración (Nicholson, 1989).

Su buena resolución espectral, junto a la adecuada resolución temporal y al tamaño medio del pixel, convierten al AVHRR en el sensor actualmente más capacitado para estudios globales. Su empleo se ha desarrollado notablemente en los últimos años, incluso en campos de aplicación antes reservados a sensores de alta resolución espacial. Este es el caso de la estimación de cosechas, en donde las imágenes AVHRR se han mostrado de gran utilidad por su frecuente ciclo de repetición, especialmente vital en aquellas zonas del mundo con alta cobertura nubosa. De acuerdo a cálculos de la agencia NOAA, un 50 % del mundo está cubierto de nubes en cada momento (Tarpley et al., 1984). La baja cadencia de otros sensores medioambientales (16 días para Landsat-TM, 26 días para SPOT), dificulta notablemente la obtención de imágenes sobre aquellos sectores del globo donde la cobertura de nubes es bastante elevada. Lógicamente la probabilidad de obtener imágenes válidas es más alta para el sensor AVHRR puesto que las adquiere diariamente.

Corrección de imágenes AVHRR

Para abordar un seguimiento adecuado de los procesos globales, es preciso que las mediciones realizadas por el sensor puedan calibrarse. En otras palabras, que podamos reconstruir una tendencia a partir del análisis de una serie temporal de imágenes. Esto implica que en ese conjunto de imágenes se garantice una cohesión, tanto radiométrica como geométrica, a fin de que las mediciones en un determinado pixel sean congruentes a lo largo de la serie. Un mal ajuste entre imágenes podría llevar a conclusiones erróneas, puesto que pondría en evidencia cambios entre fechas no tanto debidos a modificaciones reales en el terreno como, simplemente, a estar analizando áreas distintas. De igual forma cabría expresarse en lo que se refiere a la homogeneización radiométrica, que permite constatar tendencias en la evolución de los parámetros que se pretende medir.

Frente a las ventajas del AVHRR que antes subrayábamos, su principal inconveniente radica, precisamente, en la dificultad para abordar las correcciones geométricas y radiométricas. En cuanto a las primeras, el propio tamaño del pixel dificulta buscar puntos de referencia para el ajuste de la imagen. Como alternativa, se han propuesto diversos algoritmos para corregir las imágenes a partir de parámetros orbitales, utilizando un número muy reducido de puntos de control para afinar el proceso (Ho y Asem, 1986).

Ahora bien, el principal problema geométrico radica en el amplio ángulo de observación del sensor (110°, ±55°, frente a los 15° del Landsat-TM o los 5º del SPOT-HRV). Esto le permite mantener una buena cobertura temporal, ya que cada imagen incluye un sector de 3.000 km de lado, pero al precio de introducir severas

modificaciones geométricas y radiométricas en los datos detectados. El tamaño del pixel, por ejemplo, varía notablemente desde el nadir (1,1 km) hasta los extremos del barrido (2,4 x 6,4 km). Esto implica también que haya solapes en los pixels extremos, que alojan una señal mixta a los inmediatos. Para reducir este error, se recomienda utilizar únicamente los datos correspondientes al centro de la imagen, con un ángulo máximo de ±30° del nadir (Goward et al., 1991).

Además de las implicaciones geométricas, el ángulo de barrido también supone alteraciones radiométricas de importancia. Las radiancias detectadas por el sensor en el rojo e infrarrojo cercano tienen notables modificaciones para ángulos de observación muy agudos. Se ha comprobado una severa disminución de la radiancia medida hacia los extremos del barrido, más pronunciada cuando éste se dirige en sentido contrario a la trayectoria de la luz solar. Este decrecimiento es más sensible en las bandas originales que en los índices de vegetación, y, dentro de ellos, en áreas de vegetación densa que en suelos desnudos. La influencia atmosférica complica aún más las cosas, puesto que ésta varía con el ángulo de barrido en proporción directa con el espesor de la capa atravesada (fig. 4). Por ello, las correcciones no pueden estimarse lineales en la imagen (como es el caso, simplificando las cosas, de las imágenes TM), sino que se modifican con la distancia al nadir (Holben et al., 1986).

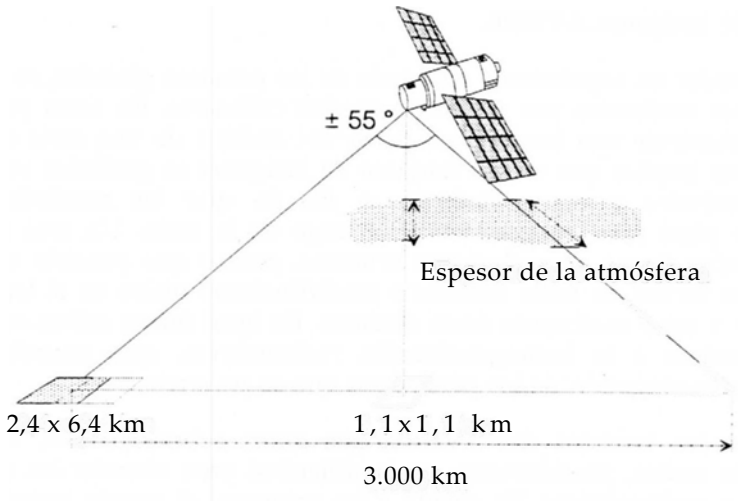


Figura 4.- Errores radiométricos y geométricos debidos al ángulo de barrido del sensor AVHRR

Algunas áreas de aplicación

De acuerdo a su propio diseño, las aplicaciones más extendidas del sensor AVHRR han sido las meteorológicas. Ahora bien, considerando su buena

resolución temporal y espectral, resulta también idóneo para otras aplicaciones que no requieran de excesivo detalle espacial.

Como antes se comentó, los índices normalizados de vegetación (NDVI) constituyen un instrumento idóneo para seguir el estado de la cubierta vegetal, a la escala global apropiada a la resolución del sistema. Esta propiedad está siendo motivo de numerosos estudios diacrónicos, en donde se pretende reconstruir la evolución fenológica e interanual de los principales paisajes terrestres. Hasta el momento, se han abordado trabajos sobre los biomas de América del Norte y del Sur (Goward et al., 1987; Townshend et al., 1987), Africa (Achard y Blasco, 1990) y el conjunto de Estados Unidos (Eidenshink, 1992). Para paliar el efecto de nubes, puede optarse por realizar una máscara sobre las zonas cubiertas, a partir del canal térmico, o integrar varias imágenes del mismo sector, eligiendo el valor más alto del NDVI, ya que las nubes presentan valores muy bajos de este índice.

En relación con estos estudios estarían los dedicados a cartografiar la ocupación del suelo. Este tipo de cartografía resulta clave para diversos programas de cambio global, por ejemplo los que atañen al ciclo hidrológico o al modelado de los ecosistemas terrestres. El sensor AVHRR ha permitido realizar coberturas globales de Africa (Tucker et al., 1985), y América (Townshend et al., 1991); además de otras coberturas regionales (Fleischmann y Walsh, 1991). Normalmente este tipo de trabajos parte de realizar un análisis multitemporal de imágenes NDVI, con objeto de reconstruir el perfil fenológico de las distintas cubiertas.

En el estudio de cosechas, el sensor AVHRR se muestra bastante eficaz en aquellos sectores donde predomina el monocultivo sobre grandes parcelas. Esta es la situación de los cinturones cerealistas norteamericanos, en donde se han realizado diversos trabajos que permiten reconstruir la evolución del cultivo a lo largo del año (Gallo y Flesch, 1989). Similares experiencias se han llevado a cabo en otros países, como es el caso de la India, en donde estas imágenes resultaron de gran interés para detectar la sequía de los cultivos (Thiruvengadachari et al., 1991). Por comparación con perfiles radiométricos de campañas anteriores, pueden estimarse los rendimientos de las actuales con bastante precisión (Teng, 1990). Esto ha permitido incluir el procesamiento de imágenes AVHRR entre las técnicas de apoyo para el programa *Famine Early Warning System,* financiado por la Agencia para el Desarrollo Internacional del gobierno estadounidense (USAID), con objeto de prevenir las crisis alimentarias de los países en desarrollo.

Un área de gran interés ecológico para la aplicación del sensor AVHRR en nuestro país es el que afecta a los incendios forestales. Las aplicaciones de estas imágenes son variadas, pero pueden concretarse en dos aspectos. Por un lado, el análisis multitemporal permite seguir la evolución del NDVI, que está estrechamente relacionado con el vigor y el contenido de humedad de la vegetación (fig. 5). Fuertes decrementos de este índice estarán asociados, en consecuencia, con situaciones de estrés, por lo que su seguimiento puede facilitar la localización de áreas de riesgo. Un proyecto piloto, desarrollado sobre un sector de la serranía valenciana, ha permitido confirmar el interés de esta metodología, ya que, en el

análisis de una serie de imágenes previa a un gran incendio en la zona, las áreas afectadas habían sufrido un notable deterioro del NDVI (López et al., 1991). Una metodología similar se aplica operativamente en USA, en donde las imágenes AVHRR sirven para conocer el porcentaje de área verde, uno de los componentes empleados en el índice de riesgo para grandes extensiones (Eidenshink et al., 1989). Asimismo en Australia, se utilizaron estas imágenes para derivar el contenido de humedad del combustible (*fuel moisture content*, FMC), sobre praderas relativamente homogéneas (Paltridge y Barber, 1988). En esta misma temática, el canal 3 del sensor AVHRR, situado en el infrarrojo medio, resulta muy adecuado para detectar focos de incendio, ya que en esta región del espectro -de acuerdo a la ley de Wien- se produce la máxima emitancia de las superficies muy calientes. Imágenes de esta banda espectral se han utilizado para seguir la evolución de grandes incendios en Indonesia (Malingreau, 1984) o en la Amazonia (Matson y Holben, 1987).

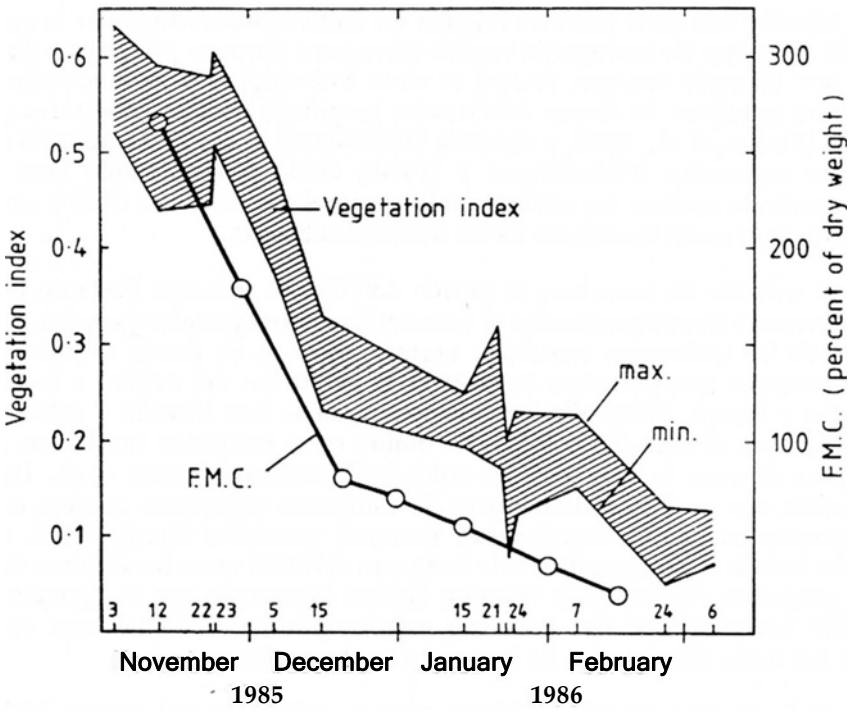


Figura 5.- Relación entre la evolución de los índices de vegetación (NDVI) y la humedad del combustible en una zona de praderas (tomado de Paltridge y Barber, 1988)

Junto a los incendios forestales, una causa de grave preocupación ecológica es la deforestación de los bosques ecuatoriales, como consecuencia de la expansión de la frontera agraria. Las grandes extensiones implicadas, y la frecuente cobertura nubosa, dificulta el empleo de los sensores de alta resolución, por lo que las

imágenes AVHRR se han demostrado de gran utilidad para una evaluación más objetiva de la importancia real de este fenómeno (Malingreau et al., 1989). No obstante, se ha demostrado que estas imágenes sobreestiman la deforestación, ya que la señal recibida por el satélite tiende a asemejarse a la superficie deforestada incluso aunque un 40 % de ese pixel mantenga la cubierta forestal (Cross et al., 1991). Por esta razón, se intenta calibrar las imágenes AVHRR con las adquiridas por sensores de alta resolución, como Landsat-TM ó MSS. Esta estrategia es la adoptada para evaluar la deforestación en la Amazonia (Nelson et al., 1987; Batista y Tucker, 1991).

En las zonas de estrés hídrico estival, resulta de gran importancia la evaluación de las reservas de agua disponible. Una planificación idónea debe incluir toda la cuenca, por lo que este tipo de estudios pueden considerarse, en ciertos casos, de rango global. Este es el caso del trabajo realizado sobre la cuenca del río Colorado (Ferris y Congalton, 1989), en donde se empleó una serie de varias imágenes NOAA para seguir la evolución temporal de la cobertura de nubes en ese amplísimo territorio. Esa información se relacionó con los datos de aforo de una red compuesta por 315 estaciones, y con un mapa de pendientes y orientaciones, deducido a partir del modelo topográfico digital. Aunque los ajustes no eran muy altos, por falta de suficientes elementos de control, esta temática puede resultar muy fructífera para la mejor gestión de los recursos hídricos en cuencas de frágil equilibrio.

El repaso de las aplicaciones oceanográficas del sensor AVHRR sería muy prolijo, puesto que éste fue uno de los objetivos iniciales de su desarrollo. Sin duda la más destacada es la que permite obtener el estado de la temperatura superficial del mar, a partir de los dos canales situados en el infrarrojo térmico. La sensibilidad radiométrica del sensor le permite estimar la temperatura superficial con precisión cercana a Iº C. Esto resulta suficiente para determinar recursos pesqueros y seguir la evolución de las corrientes oceánicas (Tameishi, 1991).

Otros sensores para la observación global

La gran incidencia pública que están teniendo los estudios de cambio global, explican que cada vez sean más tenidos en cuenta en el diseño de los nuevos sensores de observación terrestre. De hecho, junto a una mejora en la resolución espacial, se observa una tendencia contraria, que tiende a aumentar la temporal y espectral, en detrimento de aquella.

Algunos de los sensores incorporados al satélite europeo ERS-1, lanzado en julio de 1991, tienden a esta perspectiva global. Este es el caso del sensor ATSR-M *(Along-Track Scanning Radiometer),* que facilitará una mejor estimación de la temperatura superficial del mar que el AVHRR, gracias a permitir un método más afinado de corrección atmosférica. Su precisión estimada será de unos 0,5° C. Asimismo, se incluyen en esta plataforma un dispersómetro, para medir la velocidad del viento, y un altímetro de micro-ondas, ideado para obtener la altura de la superficie del mar con una precisión de ± 50 cm.

Sin embargo, el programa más ambicioso para el estudio del cambio global será el programa EOS *(Earth Observing System*), formado por cuatro estaciones polares

equipadas con diversos sensores de observación terrestre. Entre ellos, el más destacado para este enfoque global puede ser el MODIS *(Moderate Resolution Imaging Spectrometer),* diseñado por NASA para este fin. El MODIS contará con 32 canales espectrales y una resolución espacial de 1,1 km. Este sensible aumento en el número de canales, permite que éstos tengan una menor anchura, facilitando la detección de determinados fenómenos ahora mal determinados. Algunos ejemplos pueden ser la delimitación de los efectos causados por lluvia ácida o por heladas, una mejor localización de focos de incendio, una discriminación más atinada de tipos de nieve y un mejor seguimiento de procesos de deforestación y desertización. Además el MODIS contará con calibración interna y capacidad de girar el ángulo de visión. Para áreas restringidas, esta información podrá correlacionarse con la facilitada por el HIRIS *(High Resolution Imaging Spectrometer),* con 132 canales y 30 m de resolución, aunque limitado a un franja de 24 km de lado (Goetz, 1991).

En definitiva, los próximos años verán un notable aumento de la cantidad y calidad de las imágenes espaciales de la superficie terrestre. En consecuencia, constituye un reto para los expertos medioambientales el desarrollo de modelos que relacionen estos datos con parámetros clave de la actividad biológica (albedo y rugosidad de la vegetación, evapotranspiración, flujo neto de CO_2, etc.), a través de la calibración entre las imágenes de baja y alta resolución, y de éstas con los datos del terreno (Walker y Turner, 1990).

EJEMPLOS DE BASES DE DATOS GLOBALES

A lo largo de los años 80, la preocupación científica por el estudio de los procesos globales ha cuajado en diversos proyectos que tienen como objetivo compilar datos del conjunto del planeta. El repaso de estas experiencias resulta de gran utilidad para confirmar las ideas arriba apuntadas sobre este tipo de bases de datos.

El programa GRID

El *Global Resources Information Database* (GRID) es un proyecto dependiente del programa medioambiental de las Naciones Unidas (UNEP/GEMS). Fue iniciado en 1985 con dos centros en Ginebra y Nairobi, a los que se unió en 1988 el de Bangkok y posteriormente otros asociados en Noruega, USA, Japón, Polonia y Nepal (Mooneyhan, 1991). Pretende coordinar una red global de bases de datos medioambientales con tres objetivos: (I) proporcionar la información más actualizada, tanto global como regional, a científicos y gobiernos; (II) facilitar el acceso a modernos equipos a los científicos y gestores del medioambiente en países donde no están disponibles, y (III) proporcionar entrenamiento en tecnología de gestión de datos espaciales para personas de países en desarrollo.

Propiamente el programa GRID no genera datos. Su función es coordinar el trabajo de otras agencias temáticas de la ONU, como la FAO o la UNESCO, o con otras instituciones internacionales (ICSU-IGBP, UNITAR, Organización

Meteorológica Mundial, Centros Mundiales de Datos, NASA, etc.). Esto le ha permitido ir acopilando una serie de variables temáticas, de ámbito mundial o continental. Hasta 1988, disponía de los siguientes datos globales (Mooneyham, 1988): fronteras, elevaciones, suelos, vegetación, intensidad del cultivo, índice de vegetación, anomalías en la precipitación y la temperatura, distribución de la capa de ozono, y temperatura superficial del mar, a distintas escalas y proyecciones, aunque domina la referenciación geográfica (latitud-longitud). El programa GRID ha seleccionado el continente africano para compilar una base de datos más detallada, que incluye vegetación, cuencas hidrográficas, precipitación, viento, áreas protegidas, provincias biogeográficas y especies.

Además de la generación de estas bases de datos, el programa GRID también ha realizado diversos proyectos internacionales de orientación ambiental, como han sido los dedicados a planificación de cultivos, detección de áreas con epidemias o el seguimiento de las variaciones en el nivel del mar (Mooneyham, 1991).

El programa ICSU-IGBP

En 1986, el Consejo Internacional de Uniones Científicas (ICSU) funda el *International Geosphere Biosphere Program* (IGBP), dedicado a describir y comprender los procesos físicos, químicos y biológicos que regulan el sistema terrestre en su conjunto, a caracterizar el medioambiente del planeta y los cambios que ocurren en su sistema, principalmente los debidos a la actividad humana (IGBP, 1992).

Este programa está formado por diversos subprogramas, que intentan coordinar los esfuerzos de científicos y técnicos en diversos países del mundo, a través de la generación de proyectos conjuntos y la coordinación de las tareas de investigación. Hasta el momento presente, se han establecido los siguientes subprogramas:

International Global Atmospheric Chemistry (IGAC), dedicado a estudiar la composición química de la atmósfera;

Global Change and Terrestrial Ecosystems (GTCE), que pretende estudiar cómo afectan los cambios globales al ecosistema terrestre;

Biospheric Aspects of the Hydrologic Cycle (BAHC), centrado en el análisis de las interacciones entre la vegetación y el ciclo hidrológico;

Land Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ), con el objetivo de estudiar cómo afectarían los cambios en el uso del suelo, el nivel del mar y el clima a los ecosistemas costeros;

Past Global Changes (PAGES), que analiza los cambios históricos, sus causas y consecuencias;

Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS), destinado a investigar cómo afectan los procesos biogeoquímicos del océano y cómo responden al cambio global;

Global Analysis, Interpretaron and Modelling (GAIM), orientado hacia el desarrollo de modelos interpretativos sobre los procesos medioambientales;

System for Analysis, Research and Training (START), que promueve la estudios interdisciplinares en regiones concretas, especialmente en las más frágiles de los paises en desarrollo, y

Data and Information Systems (DIS), encargada de proporcionar y gestionar la información necesaria para los otros subprogramas.

Este último subprograma constituye en realidad un intento de coordinar el desarrollo de una base de datos global, que incluiría las variables más críticas para abordar proyectos en los otros subprogramas temáticos. En este momento, el IGBP-DIS está diseñando un esquema de trabajo para compilar una base de datos mundial con 1 km^2 de resolución, sobre la base de la información suministrada por los satélites NOAA y ERS-1. Asimismo, pretende trabajar en estrecha conexión con los programas ya existentes: UNEP-GRID, ICSU-WDC, y EOS-DIS, así como compilar un directorio internacional de bases de datos globales.

Bases de datos temáticas

Junto a las iniciativas incluidas en el programa GRID e IGBP, existen numerosas agencias que trabajan en el desarrollo de bases de datos globales para sus fines específicos. Este es el caso de la Organización Meteorológica Mundial (WMO), que cuenta con una red mundial de datos disponibles sobre el clima, incluyendo imágenes de satélite (geoestacionarios, como el Meteosat, y de órbita polar, como el NOAA), estaciones terrestres, aéreas, datos de radar, sondeos atmosféricos, datos mareales y sobre la capa de ozono. Entre sus proyectos figura la realización de mapas de la temperatura superficial del mar, para áreas de 200 x 200 km, de precipitación, balances de radiación y polución del aire (Boldirev, 1988).

Otras organizaciones que elaboran datos de escala global son la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la Sociedad Internacional de Ciencia del Suelo (ISSS), la Asociación Cartográfica Internacional (ICA), la Unión Geográfica Internacional (IGU) y el programa sobre medioambiente SCOPE (Clark et al., 1991)[4].

Asimismo, diversas agencias del gobierno norteamericano elaboran bases de datos globales, como es el caso de la NOAA, a través de sus centros meteorológicos y del Centro Nacional Geofísico (NGDC). La agencia espacial NASA está perfilando un ambicioso plan para la obtención de múltiples datos sobre el conjunto del planeta. Es el denominado *Mission to Planet Earth* , que incluye un sistema de

[4] En diversos artículos del libro editado por H. Mounsey (1988) se recogen experiencias sobre el diseño de bases de datos globales por diversas instituciones nacionales e internacionales.

observación terrestre (EOS), formado por cuatro estaciones polares, una red de satélites de apoyo, una carga científica auxiliar y una serie de satélites geoestacionarios (Asrar, 1990). Estos datos se calibrarán sobre el terreno mediante una infraestructura apropiada para la toma de datos in situ, y se conectarán con una base de datos suficientemente potente para diseñar modelos explicativos. La pieza clave de este proyecto es el programa EOS, que permitirá crear un sistema de observación espacial integrado para abordar un estudio multidisciplinar de los paisajes terrestres. Se pretende adquirir una serie continuada y global de datos, para el apoyo a las investigaciones sobre cambio global.

El programa CORINE

Dentro de las bases de datos globales en desarrollo, nos interesa especialmente analizar la que coordina la Dirección General de Medio Ambiente de la C.E.E. Denominada CORINE *(Coordination, Information and Environment),* este programa arranca en junio de 1985 con el propósito de "recopilar, coordinar y asegurar la consistencia de información sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales" (Mounsey, 1991) en el ámbito de la Comunidad Europea. Los principios que guiaron el desarrollo de esta base de datos fueron: (I) respetar al máximo los datos no elaborados, para que el usuario pudiera elegir las transformaciones más convenientes a cada fin; (II) emplear los datos disponibles, cuando fuera posible, en lugar de realizar nuevos inventarios; (III) orientar la base hacia una escala media (1:250.000), para facilitar la integración entre los distintos países; (IV) iniciar el desarrollo a partir de datos digitales ya existentes, para obviar los costes de las tareas de digitización.

Tras cinco años de trabajo, en 1990, se disponía ya de una sustancial colección de variables medioambientales, a escalas comprendidas entre 1:100.000 y 1:3.000.000, siendo dominante la escala 1:1.000.000. Las variables más significativas de la base de datos son las derivadas, como es el caso del riesgo de erosión, compilado a 1:1.000.000, que requiere 4.000 Mb para su almacenamiento. También se encuentran operativos en la base de datos la cartografía de biotopos, recursos hídricos, erosión costera, vegetación potencial, tipos de suelos, elevaciones y pendientes, áreas administrativas, tráfico aéreo, estaciones nucleares, así como datos climáticos y socioeconómicos (Mounsey, 1991). De especial relieve resulta el proyecto CORINE-*Land Cover*, que pretende cartografiar la ocupación del suelo de Europa a escala 1:100.000 cada 5 años. Este trabajo se basa en la interpretación de ortoimágenes de satélite a la misma escala, y posterior digitización de los recintos de cobertura (López-Vizoso, 1989). La leyenda, bastante detallada, permitirá utilizar este producto como herramienta clave en la gestión territorial.

CONCLUSIONES

Se ha pretendido aportar una visión panorámica de los nuevos requerimientos que implica el estudio de los procesos globales a la obtención y estructuración de la información geográfica. Hemos repasado las características peculiares de un S.I.G.

orientado hacia este tipo de estudios, incluyendo ejemplos de sistemas ya operativos. El mayor reto de estos S.I.G. es adquirir la información básica, especialmente la referida a procesos medioambientales: vegetación, suelos, agua. Para generar estas variables la teledetección espacial resulta insustituible. Esta observación remota debe realizarse a partir de sensores que facilitan una buena cobertura temporal y espectral, siendo secundario el detalle espacial, puesto que se trata de estudiar grandes territorios. En este sentido, las características del sensor AVHRR, abordo de los satélites NOAA, le constituyen en pieza clave de la investigación orientada hacia procesos globales.

BIBLIOGRAFIA

ACCHARD, F. y BLASCO, F. (1990): "Analysis of vegetation seasonal evolution and mapping of forest cover' in West Africa with the use of NOAA AVHRR HRPT data", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,* vol. 56, pp. 1359-65.

ALEXANDER, D. (1991): "Information technology in real-time for monitoring and managing natural disasters", *Progress in Physical Geography,* vol. 15, pp. 238-260.

ASRAR, G. (1990): "Mission to Planet Earth: A global change programme", en *Proc. 16th Annual Conference of the Remote Sensing Society,* Univ. College, Swansea, pp. i-v.

BATISTA, G.T. y TUCKER, C.J. (1991): "Accuracy of digital classification versus visual interpretation of deforestation in Amazon", en *Proc. V Simposium Latinoamericano de Percepción Remota,* Cuzco, pp. 407-423.

BOLDIREV, V.G. (1988): "The role of the World Meteorological Organization in developing global environmental databases", en *Building Databases for Global Science,* (H.Mounsey, Ed.), Taylor and Francis, London, pp. 192-201.

CHUVIECO, E. (1990): Fundamentos de Teledetección Espacial, Rialp, Madrid.

CLARK, D.M., HASTINGS, D.A. y KINEMAN, J.J. (1991): "Global databases and their implications for GIS", en *Geographical Information Systems,* (D.Maguire, M.F.Goodchild, y D.W. Rhind, Eds.), Longman, London, pp. vol. 2: 217-231.

CROSS, A.M., SETTLE, J.J., DRAKE, N.A. y DAIVINEN, R.T.M. (1991): "Subpixel measurement of tropical forest cover using AVHRR data", *International Journal of Remote Sensing,* vol. 12, pp. 1119-1129.

EIDENSHINK, J.C., HAAS, R.H., ZOKAITES, R.M., OHLEN, D.O. y GALLO, K.P. (1989): "Integration of remote sensing and GIS technology to monitor fire danger in the Northern Great Plains", ***U.S.Geological Survey,*** Final Report.

EIDENSHINK, J.C. (1992): "The 1990 conterminous U.S. AVHRR data set", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,* vol. 58, pp. 809-813.

E.S.A. (1992): SHARP *Level-2. User's Guide, Frascati,* Earthnet Program Office.

FERRIS, J. y CONGA LTON, R.G. (1989): "Satellite and geographic information system estimates of Colorado River basin snowpack", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,* vol. 55, pp. 1629-1635.

FLEISCHMANN, C.G. y WALSH, S.J. (1991): "Multitemporal AVHRR digital data: an approach for land cover mapping of heterogeneous landscapes", *Geocarto International,* vol. 6, pp. 5-20.

GALLO, K.P. y FELSCH, R.K. (1989): "Large-area crop monitoring with the NOAA AVHRR. Estimating the silking stage of com development", *Remote Sensing of Environment,* vol. 27, pp. 73-80.

GOETZ, A.F.H. (1991): "Imaging spectrometry for studying Earth, Air, Fire and Water", *EARsel Advances in Remote Sensing,* vol. 1, pp. 3-15.

GOWARD, S.N., DYE, D., KERBER, A. y KALB, V. (1987): "Comparison of North and South American biomes from AVHRR observations", *Geocarto International,* vol. 1, pp. 27-39.

GOWARD, S.N., MARKHAM, B., DYE, D.G., DULANEY, W. y YANG, I. (1991): "Normalized difference vegetation index measurements from the Advanced Very High Resolution" *Radiometer, Remote Sensing of Environment,* vol. 35, pp. 257-277.

HALL, D.K. y MARTINEC, J. (1985): *Remote Sensing of Ice and Snow,* Chapman and Hall, London.

HOLBEN, B.N., KIMES, D. y FRASER, R.S. (1985): "Directional reflectance response in AVHRR red and Near-IR bands for three cover types and varying atmospheric conditions", *Remote Sensing of Environment,* vol. 19, pp. 213-236.

HO, D. y ASEM, A. (1986): "NOAA AVHRR image referencing", *International Journal of Remote Sensing,* vol. 7, pp. 895-904.

I.G.B.P. (1992): *Global Change: Reducing Uncertainties,* Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm.

KEMP, D.D. (1990): Global Environmental Issues. A climatological approach, Routledge, London.

LANGAAS, S. (1992): 'Temporal and spatial distribution of savanna fires in Senegal and the Gambia, West Africa, 1989-90, derived from multi-temporal AVHRR night images", *International Journal of Wildland Fire,* vol. 2, pp. 21-36.

LOPEZ, S., GONZALEZ, F,, LLOP, R. y CUEVAS, J.M. (1991): "An evaluation of the utility of NOAA AVHRR images for monitoring forest fire risk in Spain", *International Journal of Remote Sensing,* vol. 12, pp. 1841-1851.

LOPEZ-VIZOSO, J.M. (1989): "La observación de la Tierra desde el espacio: el mapa de ocupación del suelo de la Comunidad Económica Europea", *Estudios Geográficos,* vol. 50, pp. 409-434.

LULLA, K. (1983): 'The Landsat satellites and selected aspects of physical geography", *Progress in Physical Geography,* vol. 7, pp. 1-45.

MALINGRZAU, J.P. (1984): "Remote sensing and disaster monitoring, a review of application in Indonesia", en *Proc. 18th Intem. Symp.Rem. Sens. of Environment,* París, pp. 283-283.

MALINGREAU, J.P. (1990): "The contribution of remote sensing to the global monitoring of fires in tropical and subtropical ecosystems", en *Fire in Tropical Biota,* (J.G.Goldammer, Ed.), Springer Verlag, Berlin, pp. 337-370.

MALINGREAU, J.P., TUCKER, C.P. y LAPORTE, N. (1989): "AVHRR for monitoring global tropical deforestation", *International Journal of Remote Sensing,* vol. 10, pp. 855-867.

MATSON, M. y HOLBEN, B. (1987): "Satellite detection of tropical burning in Brazil", *International Journal of Remote Sensing,* vol. 8, pp. 509-516.

MOONEYHAN, D.W. (1988): "Applications of Geographic Information Systems within the United Nations Environment Programme", en *Building Databases for Global Science,* (H.Mounsey, Ed.), Taylor and Francis, London, pp. 315-329.

MCXDNEYHAN, D.W. (1991): "GRID and the role of developing countries in the climate and global change programme", en *Environmental Monitoring. Application of Remote Sensing and G.I.S.,* (R.B.Singh, Ed.), Geocarto International Centre, Hong Kong, pp. 1-13,.

MOSS, R.H. (1992): "Research on global change and its human dimensions". *Global Change Newsletter,* vol. 9, pp. 2-5.

MOUNSEY, H.M. (1991): "Multisource, multinational environmental G.I.S.: leassons learnt from CORINE", en *Geographical Information Systems,* (D.Maguire, M.F.Goodchild, y D.W.Rhind, Eds.), Longman, London, pp. vol. 2: 185-200.

MYERS, N. (1991): "Tropical deforestation: the latest situation", *BioScience,* vol. 41, p. 282.

NELSON, R,, CASE, O., HORNING, N,, ANDERSON, V. Y PILLAI, S. (1987b): "Continental land cover assessment using Landsat MSS data", *Remote Sensing of Environment,* vol. 21, pp. 61-81.

NICHOLSON, S.E. (1989): "Remote sensing of land surface parameters of relevance to climate studies", *Progress in Physical Geography,* vol. 13, pp. 1-12.

PALTRIDGE, G.W. Y BARBER, J. (1988): "Monitoring grassland dryness and fire potential in Australia with NOAA/AVHRR data", *Remote Sensing of Environment,* vol. 25, pp. 381-394.

PEUQUET, D.J. (1988): "Issues involved in selecting appropiate data models for global databases", en *Building Databases for Global Science,* (H.Mounsey, Ed.), Taylor and Francis, London, pp. 66-78.

RHEMD, D. Y CLARK, P. (1988): "Cartographic data inputs to global databases", en *Building Databases for Global Science,* (H.Mounsey, Ed.), Taylor and Francis, London, pp. 79-104.

TAMEISHI, H. (1991): "Fisheries detection using NOAA satellite", en *Applications of Remote Sensing in Asia and Oceania,* (S.Murai, Ed.), Asian Association on Remote Sensing, Hong-King, pp. 323-332.

TARPLEY, J.D., SCHNEIDER, S.R. Y MONEY, R.L. (1984): "Global vegetation indices from the NOAA-7 meteorological satellites", *Journal of Climate and Applied Meteorology,* vol. 23, pp. 491-494.

TENG, W.L. (1990): "AVHRR monitoring of U.S. crops during the 1988 drought", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,* vol. 56, pp. 1143-1146.

THIRUVENGADACHARI, S,, JEYSEELAN, A.T., HARIKISHAN, J. Y KRISHNA, P.U. (1991): "Satellite surveillance of agricultural drought conditions in India", en *Applications of Remote Sensing in Asia and Oceania,* (S.Murai, Ed.), Asian Association on Remote Sensing, Hong Kong, pp. 37-50.

TOBLER, W. Y CHEN, Z. (1986): "A quadtree for global information storage", *Geographical Analysis.* vol. 18, 360-371.

TOMLINSON, R.F. (1988): "Opening remarks", en *Building Databases for Global Science,* (H.Mounsey, Ed.), Taylor and Francis, London, pp. 1-9.

TOWNSHEND, J.R.G., JUSTICE, C.O. Y KALB, V. (1987): "Characterization and classification of South American land cover types using satellite data", *International Journal of Remote Sensing,* vol. 8 pp. 1189-1207.

TOWNSHEND, }., JUSTICE, C-, LI, W,, GURNEY, C. Y MCMANUS, J. (1991): "Global land cover classification by remote sensing: present capabilities and future possibilities", *Remote Sensing of Environment*, vol. 35, pp. 243-255.

TUCKER, C.J., TOWNSHEND, J.R.G. Y GOFF, T.E. (1985): "African land-cover classification using satellite data", *Science,* vol. 227, pp. 369-375.

TUCKER, C.J. (1979): "Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation", *Remote Sensing of Environment,* vol. 18, pp. 127-150.

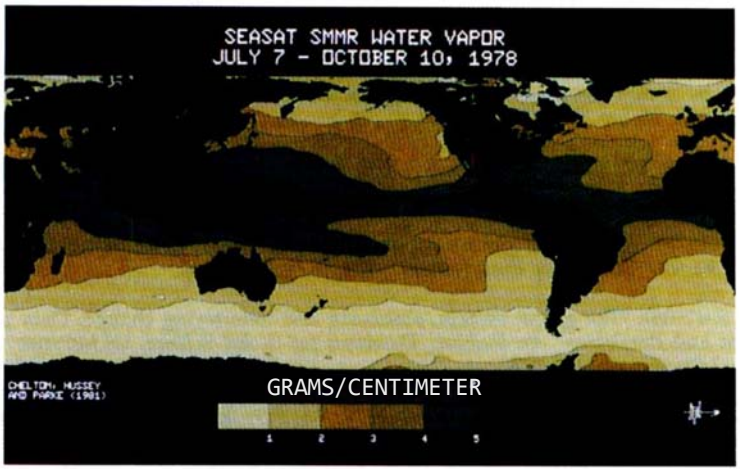
UNNINAYAR, S. (1988): "The global system, observing and monitoring change. Data problems, data management and databases", en *Building Databases for Global Science,* (H.Mounsey, Ed.), Taylor and Francis, London, pp. 357-377.

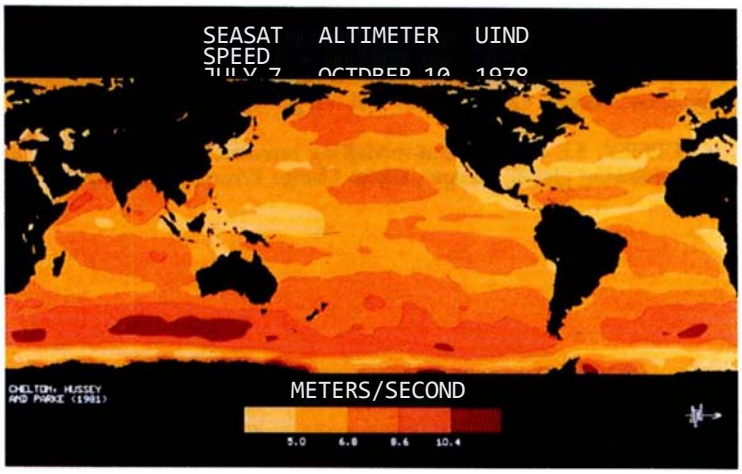
VERSTRAETE, M.M., BELWARD, A.S. Y KENNEDY, P.J. (1990): "The Institute of Remote Sensing Applications contribution to global change research programme", en *Proc. 16th Annual Conference of the Remote Sensing Society,* Univ. College, Swansea, pp. vi-xxii.

WALD, L. (1990): "Monitoring the decrease of lake Chad from space", *Geocarto International,* vol. 3, pp. 31-36.

WALKER, B.H. (1990): "A framework for modelling the effects of climate and atmospheric change on terrestrial ecosystems". *Global Change Report,* vol. 11, pp. 1-22.

WALKER, B.H. Y TURNER, S.J. (1990): "Non-modelling research requirements for understanding, predicting and monitoring global change", *Global Change Report,* vol. 11, pp. 23-50.


SEASAT SMMR WATER VAPOR
JULY 7 - OCTOBER 10, 1978
CHELTON, HUSSEY AND PARKE (1981)
GRAMS/CENTIMETER
1
2
3
4
5


SEASAT ALTIMETER UIND
SPEED
CHELTON, HUSSEY AND PARKE (1981)
METERS/SECOND
5.0
6.8
8.6
10.4

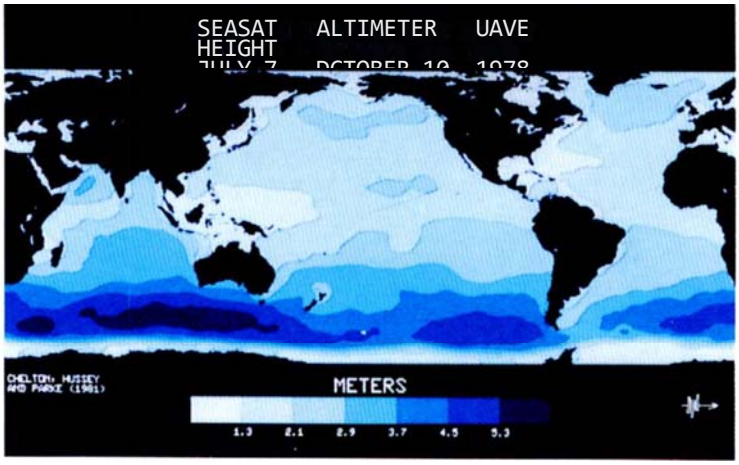

SEASAT ALTIMETER UAVE
HEIGHT
CHELTON, HUSSEY AND PARKE (1981)
METERS
1.3
2.1
2.9
3.7
4.5
5.3

Figura 6.- Variables de rango global obtenidas a partir de los sensores del Seasat. En la parte superior, estimación del contenido de vapor de agua. En el centro, velocidad media del viento, y en la inferior altura del oleaje. Estas dos últimas se han obtenido a partir del altímetro de micro-ondas (cortesía del *National Remote Sensing Center)*

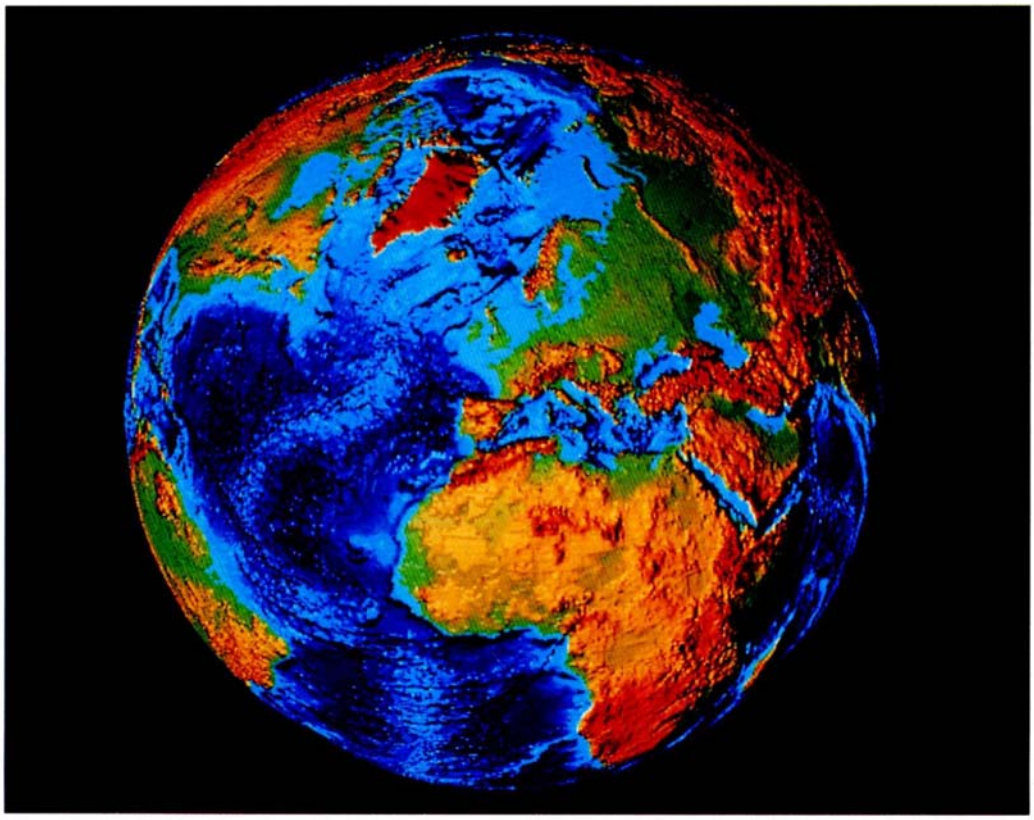



Figura 7.- Una perspectiva del relieve del Hemisferio Norte generada informáticamente a partir de la base de datos del National Geophysical Data Center (Boulder, Colorado). Los colores del verde claro al rojo, indican rangos de altitudes en la tierra emergida. La topografía del fondo marino aparece en tonos de azul (tomado de la serie: *Relief Globe Slides)*