

SERIES TEMPORALES DE IMÁGENES DE LOS SENSORES AVHRR Y VEGETATION.

A. Lobo

Miembro del International Users Committee del Instrumento VEGETATION.
Institut de Ciències de la Terra "Jaume Almera" (C.S.I.C.), L. Solé Sabarís s/n, 08028 Barcelona

RESUMEN. En esta comunicación hacemos una pequeña revisión de nuestro trabajo en aplicaciones de las series temporales de imágenes AVHRR y presentamos las características del instrumento VEGETATION, cuyo diseño está basado en la experiencia adquirida con el AVHRR.

INTRODUCCIÓN

Las imágenes captadas por el sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), a bordo de los satélites de la serie NOAA, han demostrado ser de una enorme utilidad para el estudio de la distribución y dinámica de la vegetación terrestre. Estas imágenes nos proporcionan la posibilidad de una observación remota y muy frecuente a escalas que hasta hace tres décadas sólo podían obtenerse del estudio de mapas de vegetación globales, los cuales eran compilados a partir de la yuxtaposición de cartas de vegetación más locales y a las que había que añadir inferencias a partir de modelos con base bioclimática. En nuestros días, la combinación de observaciones satelitales y modelos de vegetación resulta especialmente eficaz, tanto para avanzar en la comprensión de los fenómenos que determinan la dinámica del sistema Suelo-Vegetación-Atmósfera (SVA) como para proporcionar un poderoso instrumento de monitorización ambiental a escalas regional y global.

Sin embargo, el sensor AVHRR fue concebido para aplicaciones meteorológicas y la falta de un diseño específico para la teledetección de la cobertura terrestre se revela en sus características. Puesto que sus cinco intervalos de longitud de onda son muy anchos y su sensibilidad espectral muy baja, la información que proporciona el AVHRR puede ser calificada de grosera. Uno de los cálculos más sencillos y más utilizados es el de los índices de vegetación, que tienen como finalidad transformar la imagen multispectral original en una imagen cuyos valores resaltan la presencia de vegetación en contraste con otros elementos de la superficie terrestre. Dadas las limitaciones espectrales del AVHRR, todos los índices de vegetación se basan en el gran contraste de reflectividad de las plantas verdes entre las zonas del rojo e infrarrojo cercano del espectro electromagnético. Otras variaciones más sutiles en la respuesta espectral de las plantas verdes (como el desplazamiento del punto de inflexión o *red edge* en la zona de 0.7 μm) son indetectables con el AVHRR.

Otro problema importante es que la corrección atmosférica para el AVHRR es sólo aproximada, debido más a la ausencia de los datos de óptica atmosférica necesarios que a la falta de modelos. En el caso del banco de imágenes AVHRR del proyecto Pathfinder, la corrección atmosférica, posterior a una calibración que modeliza la degradación del sensor, sólo incluye los efectos de la dispersión de Rayleigh y del ozono (James y Kalluri, 1994), con consideración de los efectos topográficos. Los efectos de los aerosoles y del vapor de agua no son, pues, corregidos. La corrección aplicada a la base de imágenes del IGBP-DIS (Eidenshink and Faunden 1994) es similar.

Debido en gran parte a esta insuficiente corrección atmosférica, la transformación conocida como "Compuestas por el máximo valor" de NDVI (MVC, Maximum Value Composites; Holben 1986) sigue siendo utilizada de forma rutinaria. Esta transformación consiste en generar una única imagen por cada período de 1 semana o diez días, seleccionando, para cada píxel, el valor máximo de ese período. Este método asume, en primer lugar, que el cambio observable por el AVHRR en períodos cortos es despreciable y, en segundo lugar, que cualquier interferencia atmosférica redundante en una disminución del NDVI. Ambas hipótesis son razonables y el producto derivado, si bien no totalmente corregido, es lo más cercano posible a un producto corregido. Debe notarse, sin embargo, la pérdida de resolución temporal y el derroche de imágenes acarreados por la falta de una adecuada corrección atmosférica. Otras correcciones indirectas del NDVI se basan en un estudio de las series temporales de las MVC de NDVI para detectar valores anormales (Sellers et al. 1994). Los problemas derivados de la falta de una adecuada calibración de las imágenes AVHRR han sido objeto de numerosos estudios (p.e., Goward et al. 1993).

LA EXPERIENCIA CON EL AVHRR

Gracias a su escala y frecuencia, la información del AVHRR, aunque relativamente grosera, tiene gran valor, y este sensor es un instrumento valioso para el estudio de la Biosfera. Las aplicaciones fundamentales hasta ahora han sido la generación de mapas de cubiertas (a menudo conocidos como "mapas de biomas") y las estimaciones de Producción Primaria y Evapotranspiración.

El uso de las imágenes AVHRR para generar mapas globales de tipos de cubierta (a menudo conocidos como mapas de biomas) ha sido acelerado en los últimos años por la necesidad de este tipo de información en los modelos de cambio global. Hasta hace poco, todos estos modelos utilizaban mapas compilados a partir de distintas fuentes, cada una de ellas con diferentes objetivos iniciales, diferentes criterios de clasificación y diferentes escalas, por lo que, dados los buenos resultados de algunos estudios anteriores, se propuso generar estos mapas a partir de información satelital (Townshend et al. 1991). Clasificaciones globales o continentales más modernas producidas a partir de datos multitemporales del AVHRR incluyen Loveland et al. 1991, Eidenshink (1992), Defries and Townshend (1994), Belward and Loveland (1995) o Ehrlich and Lambin (1996).

La Península Ibérica es un área de estudio privilegiado para las investigaciones basadas en series temporales de imágenes AVHRR y en modelización bioclimática, como fue reconocido hace ya casi una década por Lloyd (1989 y 1990). La Península Ibérica conjuga una superficie pequeña a la resolución espacial de las imágenes AVHRR con una notable diversidad de paisajes. Además, un marcado gradiente climático, con un claro ecotono entre la vegetación de tipo Mediterráneo y la de tipo Atlántico-Europeo, produce una ordenación que es relativamente fácil de reconocer, lo cual es una ventaja a la hora de comparar observaciones y simulaciones.

Tabla 1. Tabla de contingencias de la clasificación jerárquica al 55% de disimilaridad y los dominios de vegetación según Ozenda et al. (1979).

Domain	NDVI Class				
	SpPV.L	SpPV.M	SpPV.H	SmpV.W	SmpV.N
Medit.	5150	301074	63323	43133	0
Submedit.	0	29198	10479	78059	351
Atlántic	0	1676	301	109703	1048
Subatlant.	0	0	0	45800	8769
Centr.Eur	0	0	0	805	0

En Lobo et al. (1997) utilizamos secuencias de imágenes AVHRR-NDVI de la Península Ibérica y su área circundante con una resolución de 30" de arco para evaluar la capacidad de estas series temporales para producir mapas de coberturas a escala regional. Para ello aplicamos un algoritmo de clasificación aglomerativa jerárquica y cortamos el dendrograma resultante a 3 niveles de disimilaridad (90%, 55% y 29%), produciendo tres clasificaciones anidadas con, respectivamente, 2, 5 y 30 clases. Con esta metodología eliminamos cualquier posible subjetividad en el proceso de clasificación, imprescindible para un estudio cuyo fin es evaluar la relación entre las clasificaciones de las series temporales de NDVI y los tipos de cobertura vegetal.

Los centroides de las cinco clases de la clasificación al 55% de disimilaridad indican un claro control bioclimático, distinguiendo dos clases con máximo NDVI en Julio (SmpV.W y SmpV.N) y tres clases con máximo NDVI en Abril (SpPV.H, SpPV.M y SpPV.L). La correspondencia entre la distribución geográfica de estas clases y las unidades de vegetación en la región son evidentes (tabla 1).

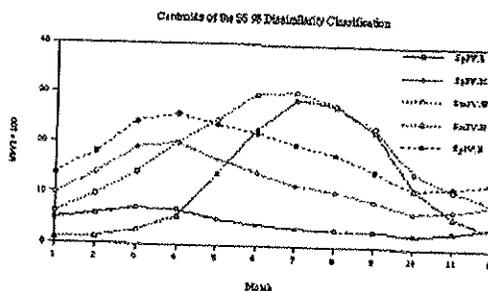


Figura 1. Evolución temporal del NDVI en cada una de las cinco clases obtenidas por corte del dendrograma al 55% de disimilaridad.

Las principales diferencias entre los centroides de las dos clases SmpV y las tres SpPV son la posición y la altura del pico de máximo de NDVI. Las dos clases SmpV difieren por la extensión del período de crecimiento y las tres clases SpPV por la altura del máximo de NDVI. El análisis de la clasificación al 29% de disimilaridad se llevó a cabo por medio de un análisis de correspondencias con el mapa de vegetación potencial de Europa de Ozenda et al. (1979), que en esta región está esencialmente basado en diversos trabajos de Rivas Martínez (véase Peinado Lorca y Rivas-Martínez 1987 para referencias detalladas), tal y como se detalla en Lobo et al. (1997).

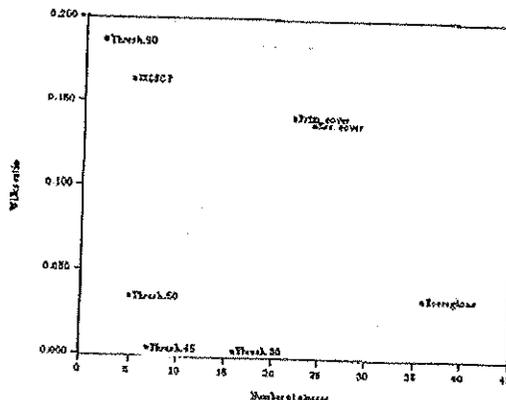


Figura 2. Comparación de cuatro mapas de coberturas obtenidos por clasificación jerárquica con cuatro mapas frecuentemente utilizados en modelización SVAT. Véase Lobo et al. (1997) para más detalles.

Resulta interesante comparar estas clasificaciones jerárquicas con otros mapas utilizados en modelización climática. Para ello calculamos el índice de Wilks (fig. 2), cociente entre los determinantes de las matrices de covarianza intraclases y la total, teniendo en cuenta que un criterio importante de calidad es que la clasificación induzca una partición en una variable cuantitativa (en este caso el NDVI) tal que dicho cociente sea lo más bajo posible (clases homogéneas muy contrastadas).

EL INSTRUMENTO VEGETATION

La importancia de los resultados obtenidos con el sensor AVHRR a pesar de sus insuficiencias, llamaron la atención de la comunidad científica sobre la necesidad de disponer de instrumentos de observación de la cobertura terrestre con alta frecuencia de repetición pero con un diseño más adecuado a las características espectrales de las vegetación. El instrumento VEGETATION, programado para ser incluido en la próxima plataforma SPOT (Febrero 1998), responde a esta idea. Su concepción está basada en cubrir los siguientes objetivos asignados a la misión:

- Describir la distribución espacial y temporal de parámetros superficiales.
- Monitorizar el estado de la vegetación (agricultura, silvicultura, prados y espacios naturales).
- Contribuir a entender y modelizar la dinámica de los ecosistemas, y en particular las interacciones con la atmósfera y las actividades humanas.

La misión contempla que estos objetivos sean cumplidos por medio de un instrumento capaz de servir en programas pre y operacionales, y muy en particular para los programas de investigación y desarrollo y las políticas sectoriales de la Unión Europea. El instrumento debe, por tanto, proporcionar datos con una naturaleza y una distribución tales que sean directamente utilizables en estas aplicaciones, así como facilitar una entrada en servicio lo más temprana posible y asegurar su continuidad. El programa VEGETATION está desarrollado por las agencias espaciales de Francia, Bélgica, Suecia e Italia y por la Comisión Europea.

VEGETATION proporcionará imágenes "del tipo de las AVHRR" en el sentido de que tendrá una cobertura diaria del globo a una resolución de 1 Km² (tabla 2). Introduce, sin embargo una serie de novedades importantes como la óptica de 101" y el CCD en línea con 1728 elementos que, combinados, proporcionan una excelente geometría: distorsión inferior a 0.3 píxeles, correspondencia entre píxeles de distintos canales

con un error entre 0.1 y 0.3 Km y multitemporal de 0.3 km. Asimismo, el hecho de compartir la plataforma con el sensor HRVIR de alta resolución permite que ambos tipos de imágenes tengan una colocación de 0.3 Km.

Puesto que está dirigido al estudio de la vegetación terrestre, la sensibilidad espectral en reflectividad es muy alta: entre 0.001 y 0.003 en el canal "rojo" (0.61 - 0.68 μm) y de 0.003 en el "azul" (0.43 - 0.47 μm), e infrarrojos cercano y medio (0.78 - 0.89 μm y 1.58 - 1.75 μm). Las imágenes estarán codificadas en 10 bits. La calibración asegura una precisión entre el 3% y el 5% mediante un control periódico con referencias estables a bordo del satélite.

La inclusión del canal "azul", considerada como experimental, está motivada por la preocupación de proporcionar datos de óptica atmosférica destinados a permitir una corrección del resto de los canales. La corrección atmosférica inicialmente prevista consiste en aplicar el modelo SMAC (Rahman y Dedieu 1994) con parámetros de vapor de agua y ozono procedentes de datos climáticos y aerosoles constantes. Sin embargo, la investigación en curso intenta que los aerosoles se infieran de datos POLDER en una primera fase y del canal azul del mismo VEGETATION en una segunda fase, mientras que los datos correspondientes al ozono pueden provenir del TOMS.

Tabla 2. Características espectrales de VEGETATION

	μm	refl. range
BLUE	0.43 - 0.47	0.0 - 0.5
RED	0.61 - 0.68	0.0 - 0.5
NIR	0.78 - 0.89	0.0 - 0.7
SWIR	1.58 - 1.75	0.0 - 0.6

Todos los canales a resolución completa se almacenarán en una memoria de estado sólido y serán transmitidos diariamente por banda X (8153 MHz) a una sola estación de recepción (Tromsø). Esto evitará las complicaciones de coordinación de estaciones receptoras encontradas con el AVHRR - IAC. También está prevista la recepción desde estaciones regionales por banda L (1704 Mhz).

VEGETATION proporcionará dos tipos de productos. VGT-P será un producto destinado a ser utilizado en proyectos de investigación. Se trata de imágenes diarias de reflectancia exoatmosférica con corrección de sistema (es decir, registradas y calibradas) y corregidas geométricamente a un sistema de proyección, y que incluirán información sobre la órbita y sobre parámetros atmosféricos. VGT-S será un producto para ser utilizado en aplicaciones. Se tratará de imágenes de síntesis de periodos de 1 y 10 días que

incluirán corrección atmosférica, a resoluciones de 1, 4 y 8 Km por píxel.

Es de esperar que este instrumento, previsto con una vida superior a los 5 años, permita mejorar notablemente las estimaciones de parámetros biosféricos comenzadas con el AVHRR, incrementando la autonomía de Europa en la monitorización ambiental.

Para más información en el Programa VEGETATION, consultar:
<http://www-projet.cst.cnes.fr:8050/a.v/vgthmpg.html>

REFERENCIAS

- Belward, A. and Loveland, T., 1995, The IGBP DIS 1Km land cover project. Remote Sensing in Action, Proceedings of the 21st Annual Conference of the Remote Sensing Society, held in Southampton, England, on 11 - 14 September 1994 (Southampton: Remote Sensing Society), pp. 1099-1106.
- DeFries, R.S. and Townshend, J.R.G., 1994. NDVI-derived land cover classifications at a global scale. *International Journal of Remote Sensing*, 15: 3567-3586.
- Eidenshink, J.C., 1992, The 1990 conterminous U.S. AVHRR data set, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58, 809-813.
- Eidenshink, J.C. and Faundeen, J.L., 1994. The 1 Km AVHRR global land data set: first stages in implementation, *International Journal of Remote Sensing*, 15, 3443-3462.
- Ehrlich, D. and Lambin, E.F., 1996, Broad scale land-cover classification and interannual climatic variability, *International Journal of Remote Sensing*, 17, 845-862.
- Goward, S.N., Dye, D.G., Turner, S., and Yang, J., 1993, Objective assesment of the NOAA Global Vegetation Index data product. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 3365-3394.
- Holben, B.N., 1986, Characteristics of maximum value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 7, 1417-1434.
- Jones, M.E. and Kalluri, S.N.V., 1994. The Pathfinder AVHRR land data set: An improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring, *International Journal of Remote Sensing*, 15, 3347-3364.
- Lloyd, D., 1989, 10, A phenological description of Iberian vegetation using short wave vegetation index imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 827-833.
- Lloyd, D., 1990, A phenological classification of terrestrial vegetation cover using shortwave vegetation index imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 11, 2269-2279.
- Loveland, T.R., Merchant, J.M., Ohlen, D.O., and Brown, J.F., 1991, Development of a land cover characteristics database for the conterminous U.S., *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57, 1453-1463.
- Peinado Lorca, M. and Rivas-Martínez, S. (eds.) 1987, *La Vegetación de España* (Madrid: Universidad de Alcalá de Henares)
- Rahman, H. and Dedieu, G., 1994, SMAC: A simple method for the atmospheric correction of satellite measurements in the solar spectrum. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 123-143.
- Sellers, P.J., Tucker, C.J., Collatz, G.J., Los, S.O., Justice, C.O., Dazlich and Randall, D.A., 1994, A global 1 by 1 NDVI data set for climate studies. Part 2: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from the NDVI, *International Journal of Remote Sensing*, 17, 3519-3545.
- Townshend, J., Justice, C., Li, W., Gurney, C. & McManus, J., 1991, Global land cover classification by remote sensing: capabilities and future possibilities. *Remote Sensing of Environment*, 35, 243-255.