

ALBEDO A PARTIR DE NOAA-AVHRR PARA EL MÓDULO -TERRAIN- DEL MODELO METEOROLÓGICO DE MESOESCALA -MM5-

Joan JORGE SÁNCHEZ y Nicolau PINEDA RUEGG
Departament de Física Aplicada. Universitat Politècnica de Catalunya

RESUMEN

La presente comunicación resulta de los trabajos asociados a la necesidad de introducir el mapa mensual de albedos en el modelo MM5 (modelo de predicción meteorológica de mesoescala (PSU/NCAR, 1999)). Por defecto, el modelo usa mapas de usos del suelo y valores de albedo bibliográficos de las distintas clases del mapa. El uso de mapas mensuales de albedo derivados de imágenes NOAA-AVHRR supondría una mejora en las estimaciones de albedo que hace el modelo. Se evaluaron cuatro de las fórmulas propuestas en bibliografía para esta estimación, comparando los resultados obtenidos con los de referencia del modelo.

Palabras clave: Albedo, NOAA-AVHRR, MM5-TERRAIN

ABSTRACT

The present communication arises from the work associated with the convenience to introduce the monthly map of Albedos in meteorological mesoscale model MM5 (PSU/NCAR, 1999). Lacking from other data, the model uses maps of land-use and bibliographical values of Albedo of the different classes from the map. The use of monthly maps of Albedo derived from images NOAA-AVHRR would suppose an improvement in the model Albedo estimations. Four proposed formulas in literature to calculate albedo from AVHRR were evaluated. Results were compared with those of reference.

Key words: Albedo, NOAA-AVHRR, MM5-TERRAIN

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente se desarrollan modelos de simulación del clima para comprender las alteraciones del clima en el pasado y estimar los cambios futuros debidos principalmente a la acción del hombre. Existen modelos muy complejos que tienen en cuenta todos los procesos fundamentales como la radiación, la dinámica atmosférica y las interacciones atmósfera-superficie, y todos ellos necesitan conocer el **albedo** de los diferentes tipos de cubierta de la superficie terrestre.

En este sentido, mismamente el modelo más sencillo (modelo de balance de energía, MBE) ya tiene en cuenta la reflectividad media, o albedo, para calcular la temperatura media global en la superficie del planeta en un instante determinado, a partir del balance energético entre la radiación solar que absorbe el sistema y la radiación terrestre que emite la Tierra y el efecto invernadero de la atmósfera. Un MBE de dimensión cero lo constituía el modelo "Daisyworld" de WATSON y LOVELOCK (1983), en cuyo escenario sólo se distinguía dos tipos de vegetación de diferente albedo (margaritas blancas y margaritas negras), lo cual provocaba una temperatura menor sobre una de ellas que sobre la otra, modificando la correspondiente tasa de crecimiento (variación espacial y estacional), ya que ésta es función de la temperatura.

Como se ha insinuado en los párrafos anteriores, el conocimiento del albedo de la cubierta terrestre es fundamental de cara a hacer predicciones de cambio climático, pero no sólo es debido a una finalidad meramente climática, si no que los actuales modelos de mesoescala para la predicción numérica del tiempo meteorológico (MASS, MM5,...) también lo requieren.

En particular, la presente comunicación resulta de los trabajos asociados a la necesidad de introducir el mapa mensual de albedos en el modelo MM5 (PSU/NCAR, 1999), para el cual, el módulo TERRAIN se encarga de iniciar la simulación de la predicción meteorológica interpolando horizontalmente el modelo de elevaciones del terreno y el mapa de la vegetación (uso del suelo) en el dominio de mesoescala elegido. Si se introduce, además, el modelo de superficies (Land-Surface Model, LSM) obtiene información adicional sobre el tipo de suelo, la fracción de vegetación y la temperatura del subsuelo.

1.1. Albedo

El papel del albedo superficial como factor que afecta fuertemente el equilibrio de la radiación de la tierra se ha acentuado con frecuencia en estudios del sistema global del clima. La valoración del albedo superficial en las altas latitudes es importante debido a la presencia de nieve y hielo, los cuales presentan una alta reflexión, e implican que aquellas regiones tengan inviernos fríos, a diferencia de las regiones de clima relativamente cálidos en verano en donde se dan variaciones estacionales fuertes del albedo superficial. Cualquier cambio en la cubierta de la nieve y del hielo, por lo tanto, tendría un impacto en el albedo global y, en consecuencia, un efecto sobre el clima.

El albedo se define como la fracción de la radiación solar incidente sobre una superficie que es reflejada. El albedo superficial, así definido, se calcula para condiciones de cielo despejado, se expresa en tanto por ciento y tiene en cuenta la reflexión en varias porciones del espectro electromagnético. Este último aspecto hace que a partir de los satélites con una cobertura regional grande, tal como el AVHRR, se pueda proporcionar la información necesaria para estimar el albedo superficial y poder introducirlo en los modelos regionales de mesoescala para la predicción meteorológica (GUTMAN, 1988; GUTMAN *et al.*, 1989).

2. MATERIALES

2.1. Imágenes NOAA 14- AVHRR

El presente trabajo se ha realizado a partir de 22 imágenes del mes de agosto de 1998 captadas por el sensor NOAA14-AVHRR/2 (resolución espacial de 1.1 km en el nadir); están centradas para

Cataluña y cubren una área de 550 x 550 km (512 x 512 píxeles), aproximadamente. Fueron captadas y almacenadas por el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) mediante un receptor Dart-com HRPT system.

2.2. Mapa de usos del suelo

Como se verá más adelante, se ha utilizado la versión digital del Mapa de usos del suelo de 1997 (MUS'97) generado para el Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, para la comparación de los valores de albedo obtenidos con los valores estándar citados en bibliografía. El mapa de usos del suelo utilizado es una clasificación generada a partir de imágenes LANDSAT, con resolución de píxel de 30 x 30 metros (DMA, 2001).

3. METODOLOGÍA

3.1. Corrección de las imágenes

Las imágenes han sido calibradas radiométricamente a partir de los coeficientes de post-calibración revisados por RAO y CHEN, (2001), ya que se detectaron errores en los coeficientes de "pre-launch" del sensor (RAO y CHEN, 1996a y 1996b; MITCHELL, 1996). Las imágenes no están georeferenciadas a ninguna proyección, pero sí que pasaron una corrección geométrica por parte del SMC para que casen entre ellas. No se aplicó ningún tipo de corrección atmosférica a las mismas.

3.2. Filtro de nubes

Se ha usado la metodología de filtrado de nubes descrita por LAINE *et al.* (1999). La elección de esta metodología responde a los buenos resultados obtenidos por FLORES y BALDSANO (2001) en las mismas imágenes que se usan en este trabajo.

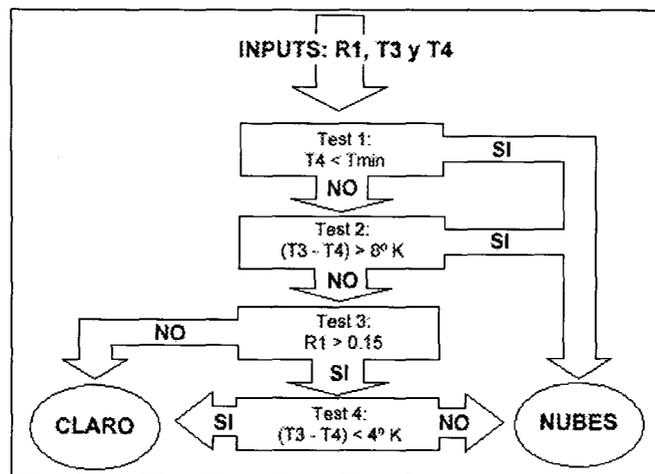


Fig. 1: Representación esquemática del filtro de nubes aplicado LAINE *et al.* (1999)

Esta técnica de filtrado se basa en las firmas espectrales de las nubes y del suelo en las bandas 1 ($0.63\mu\text{m}$), 3 ($3.74\mu\text{m}$) y 4 ($10.8\mu\text{m}$) del sensor NOAA-AVHRR. El proceso consiste en ir discriminando los diferentes tipos de nubes a través de unos umbrales en las diferentes bandas corregidas. El proceso se divide en 4 tests tal como se describe gráficamente en la figura 1.

Proceso:

- El primer test separa las nubes en función de su temperatura, eligiéndose una temperatura mínima de la superficie terrestre.
- El segundo test consiste en aplicar un umbral empírico en la diferencia entre las temperaturas aparentes de las bandas 3 y 4.
- El tercer test se basa en la alta reflectividad de las nubes y la nieve en el visible. Las zonas con reflectividad superior al 15% pasan al cuarto test, donde se separan nubes y nieve con el mismo proceso que en el test 2 pero con un umbral diferente.

3. 3. Cálculo de albedo con AVHRR

El albedo superficial que se calcula para aplicaciones meteorológicas o climáticas se refiere a menudo como “albedo superficial de banda ancha” (Broad-band albedo) (BREST y GOWARD, 1987). Se calcula el mismo con una conversión de banda estrecha a banda ancha, conversión que aplica una combinación lineal de los albedos individuales del visible (canal 1) e infrarrojo próximo (canal 2) (EPSCoR, 2001). El cálculo se formula como sigue:

$$\delta = \lambda + \beta_1 * \alpha_1 + \beta_2 * \alpha_2 \quad (1)$$

donde: α_1 y α_2 denotan los albedos observados en el visible y en el infrarrojo próximo, respectivamente; y λ , β_1 y β_2 son coeficientes empíricos.

Se han tomado los coeficientes de cuatro publicaciones de los años 90 para probarlos en nuestras imágenes (Tabla 1). Es interesante ver que los pesos asignados a las dos bandas del visible y del infrarrojo de AVHRR son muy variables. Así, POTDAR y NARAYANA (1993) casi no tienen en cuenta la banda 2 en el cálculo, SAUNDERS (1990) las considera en la misma proporción y RUSSELL *et al.* (1997), citado en EPSCoR (2001), dan un mayor peso a la banda 2.

Tabla 1. COEFICIENTES PARA EL CÁLCULO DEL ALBEDO A PARTIR DEL AVHRR SEGÚN DIFERENTES AUTORES

Fuente	β_1	β_2	λ
Saunders (1990)	0.5	0.5	0
Potdar y Narayama (1993)	0.798	0.188	0.051
Valiente et al. (1995)	0.545	0.320	0.035
Russell et al. (1997)	0.441	0.670	0.044

3. 4. Albedo en la bibliografía

Si no se entran imágenes de albedo en el modelo, MM5 usa por defecto un mapa de usos de suelo con una asignación de valores de albedo para las diferentes clases, definidas por el USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos) (PSU/NCAR, 1999). A continuación se listan las clases más

importantes presentes en nuestra zona de trabajo. Igualmente se listan los valores bibliográficos obtenidos por CUNILLERA (1995) para Cataluña. En la comparación con los valores calculados se usan por defecto los valores de albedo que considera el modelo MM5, y en caso de que no exista la clase se usan los valores de Cunillera.

3. 5. Albedo LANDSAT 7 ETM

Se realizó en este estudio una segunda comparación de los valores de albedo calculados con NOAA-AVHRR, en este caso con valores obtenidos con una imagen de LANDSAT 7-ETM del 9 de setiembre de 1999, que cubre la parte este de Cataluña. En la bibliografía revisada, los cálculos de albedo con LANDSAT, aunque también se basan en una conversión de banda estrecha a banda ancha, acostumbran a considerar un rango del espectro más ancho, que va de 0.3 a 3 μm . Igual que en los cálculos para AVHRR, el albedo de banda ancha se estima a partir de una combinación lineal de las diferentes bandas de LANDSAT. DUBAYAH (1992) propuso la siguiente aproximación:

$$\delta = \beta_1 TM_1 + \beta_2 TM_2 + \beta_3 TM_3 + \beta_{41} TM_4 + \beta_{42} TM_4 + \beta_5 TM_5 + \beta_7 TM_7 \quad (2)$$

Tabla 2: VALORES BIBLIOGRÁFICOS DE ALBEDO

MUS '97	Mm5-USGS	Albedo % (verano)	Cunillera % (Julio-setiembre)
Agua Continental	Water bodies	8	-
Agua Marina	Sin equivalente**	-	7
Nucleos Urbanos	Urban	18	27.0
Cultivos herbaceos secoano	Dry crops	17	16.3
Cultivos herbaceos regadio	Irrigated crops	18	18.5
Frutales secoano	Sin equivalente. (Crop wood mosaic*)	16	24.4
Frutales Regadio	Sin equivalente. (Mixed dry/irrig. Crops*)	18	17.3
Vid	Sin equivalente. (Mixed shrub and grassland*)	20	21.4
Prados	Grassland	19	17.1
Matorral	Shrubland	22	19.6
Bosque esclerofilias	Evergreen Broadleaf	12	16.3
Bosque caducifolias	Decideous Broadleaf	16	16.3
Bosque aciculifolias	Evergreen Needleleaf	12	11.1
Humedales	Herbaceous wetland	14	15.0
Vegetación escasa o nula	Bare Sparce Vegetation	25	-
Zonas quemadas (reciente)	Sin equivalente**	-	14.0
Playas y arenales	Sin equivalente**	-	37.0

(*) No hay clase equivalente en el USGS-25, se pone el valor de la clase que se ha considerado más equiparable.

(**) No existe la clase en el USGS-25, se toma como valor bibliográfico para los gráficos los valores de Cunillera (1995).

donde β_1 son los coeficientes estimados y TM_j , son los valores de reflectancia per a cada canal del sensor Landsat7-ETM. Se usaron los coeficientes propuestos por WANG *et al.* (2000) para el cálculo del albedo ($\beta_1=0.221$, $\beta_2=0.162$, $\beta_3=0.102$, $\beta_{41}=0.354$, $\beta_{42}=0.068$, $\beta_5=0.059$, $\beta_7=0.195$)

4. RESULTADOS

4.1. Filtrado de nubes

Se ha implementado en IDL v.5.4 (RSI, 2000) la metodología propuesta por LAINE *et al.* (1999) (figura 1) eligiéndose valores de umbral ligeramente diferentes a los propuestos tras haberse rea-

lizado diversas pruebas con las imágenes. Se pretende con ello ajustar el filtrado de nubes a las diversas condiciones que se dan en los diferentes meses del año.

Así, para las imágenes del mes de agosto de 1998, para el test 1, se ha elegido una temperatura mínima de 278 K. Para el test 2, LAINE *et al.* (1999) proponen un umbral de 8 K, aunque los tests que se han realizado con las imágenes de agosto aconsejan un umbral de 11 K. Con el umbral de 8 K parece que hay extremos de nubes en la zona de tierra que no se detectan. Al aumentar el umbral hasta 11 K estas nubes se separan, aunque se pierde separabilidad en nubes sobre el mar. Sin embargo, se ha preferido el umbral de 11 K pues se ha dado prioridad a la zona terrestre en el cálculo del albedo. En la figura 2 se muestra un ejemplo de los resultados del filtrado.

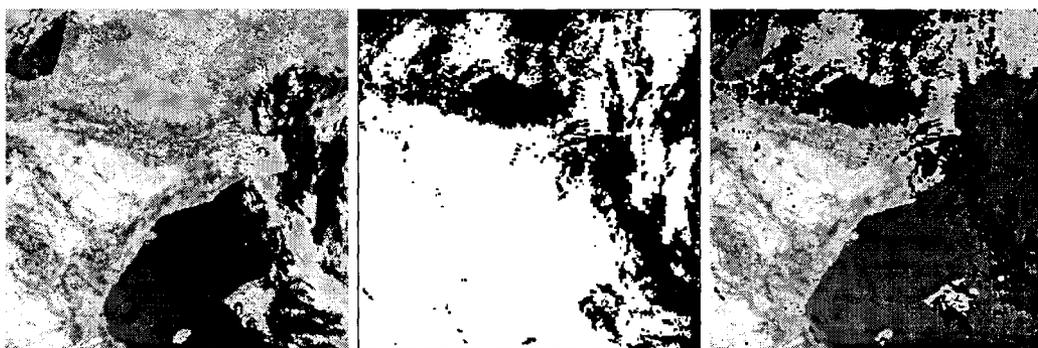


Fig. 2: Filtrado de nubes. RGB 3:2:1 de la imagen del día 4 de agosto de 1998 (Izq.), máscara de nubes (Centro) y RGB 3:2:1 sin nubes (derecha).

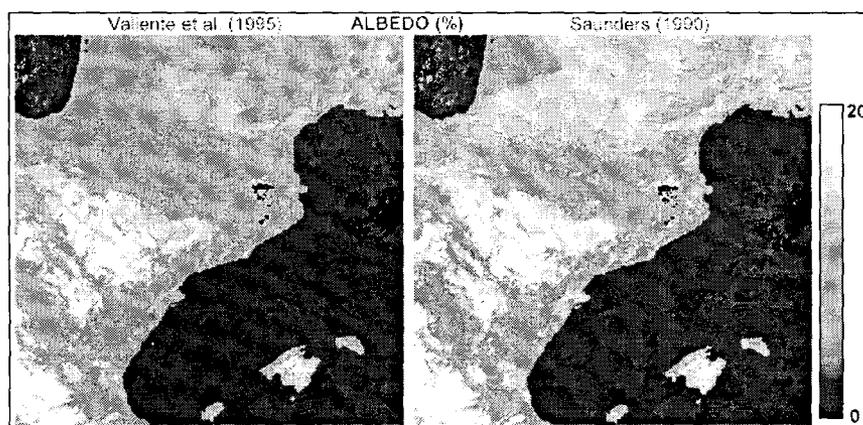


Fig. 3: Imágenes de albedo medio para el mes de agosto de 1998. Fórmulas de cálculo según VALIENTE *et al.* (1995) (Izq.) y según SAUNDERS (1990) (derecha).

4.2. Albedo con AVHRR

Una vez las imágenes han sido corregidas radiométricamente, y filtradas las nubes, se procede al cálculo de la imagen de albedo medio para el mes de agosto de 1998. Para este cálculo se han usado las 11 mejores imágenes disponibles para este mes, ya que las 11 imágenes restantes tienen una importante presencia de nubes. Se calcularon 4 imágenes de albedo, según los coeficientes de las cuatro fuentes citadas en la Tabla 1. En la figura 3 se presentan dos de esos resultados. El albedo se calculó haciendo la media de las 11 imágenes, media que no tiene en cuenta las posiciones con nubes, que se consideran NO DATA.

5. DISCUSION DE RESULTADOS

5.1. Albedo AVHRR y Albedo USGS-25

Para poder comparar los valores de albedo con los valores bibliográficos, se calcularon los valores medios de albedo para unas diez regiones de interés de las nueve clases más representativas del mapa de usos del suelo de 1997 (que cubre sólo el área de Cataluña).

En la figura 4 se pueden ver los valores de los cuatro albedos calculados junto con los bibliográficos. En Valiente y Potdar, todas las clases tienen valores inferiores a la referencia, mientras que Saunders y Russell tienen clases con valores por encima y valores por debajo. Si se calculan las medias de las diferencias absolutas entre cálculo y referencia, el cálculo que más se parece al de referencia es el de Russell (1,77%) con valores ligeramente superiores a la referencia, seguido por Saunders (-2,33%), ya con valores inferiores a la referencia. En Valiente y Potdar las diferencias superan el 4%. Teniendo en cuenta los coeficientes de la fórmula (1) de los distintos autores, parece que los albedos se ajustan mejor a los bibliográficos cuando se dan pesos parecidos a las dos bandas de AVHRR, o incluso un poco superiores en la banda 2.

Observando los valores clase por clase, las mayores diferencias entre cálculos y referencia se dan en las zonas quemadas. Esta zona corresponde al incendio de julio de 1998 que hubo en la Cata-

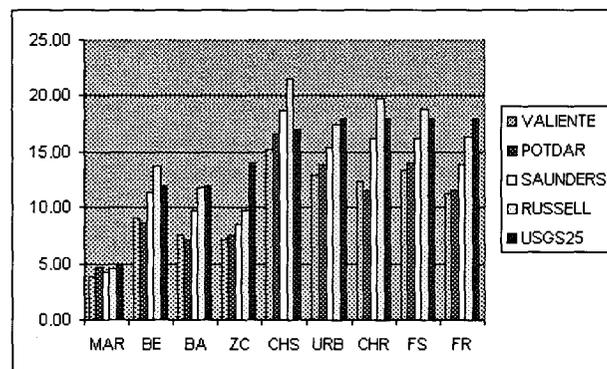


Fig. 4: Comparación de albedos para 9 clases del MUS'97. Clases: Agua marina (MAR), Urbano (URB), Cultivos herbáceos de secano (CHS), Cultivos herbáceos de regadío (CHR), Frutales de Secano (FS), Frutales de regadío (FR), Bosques de esclerófilas (BE), Bosques de aciculifolias (BA) y Zonas quemadas (ZC).

lña central, y por tanto muy reciente (albedo de agosto de 1998). En estas zonas el albedo varía rápidamente al regenerarse (aunque los árboles puedan tardar décadas en regenerarse la aparición de una capa herbácea es relativamente rápida), pudiendo explicar esto la dificultad de establecer un valor bibliográfico estándar. También hay diferencias considerables en los cultivos de secano, seguramente en las áreas de interés de esta clase en agosto más que un cultivo había suelo desnudo, y por eso los valores son superiores a la referencia para Saunders y Russell. Finalmente, cabe destacar también las diferencias en los frutales. Estas clases pueden presentar coberturas muy heterogéneas (suelo desnudo o suelo con vegetación) y parece también difícil de establecer un valor de referencia.

5.2. Albedo AVHRR y Albedo LANDSAT 7-ETM

Al igual que en el apartado anterior, se calcularon los valores medios de albedo (AVHRR y LANDSAT) para nueve clases del mapa de usos del suelo de 1997.

Las diferencias entre los cálculos y los valores de LANDSAT (figura 5), en su conjunto son menores que las diferencias con los valores bibliográficos. La media de las diferencias absolutas (Russell 1.49%, Saunders -1.57%, Potdar -3.22% y Valiente -3.50%) mantiene el mismo orden que en la comparación con la bibliografía, siendo sólo en el caso de Russell los valores de AVHRR superiores a los de LANDSAT.

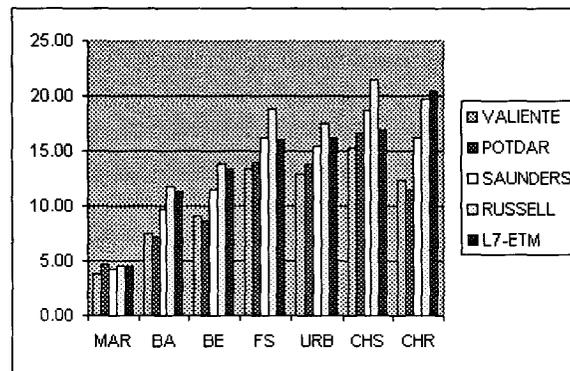


Fig. 5: Comparación de albedos AVHRR (cuatro autores) y albedo con LANDSAT.

Observando una por una las clases (figura 5), vemos que en los cultivos herbáceos (CHR y CHS) hay diferencias notables, seguramente debidas a la dificultad de la selección de unas áreas de interés similares en imágenes de gran diferencia en cuanto a resolución espacial.

Finalmente, observando los valores de albedo calculados en dos perfiles de las imágenes (figura 6), se puede ver como éstos son bastante parecidos en cuanto a forma, pero se ven claramente las diferencias en la magnitud de los resultados obtenidos.

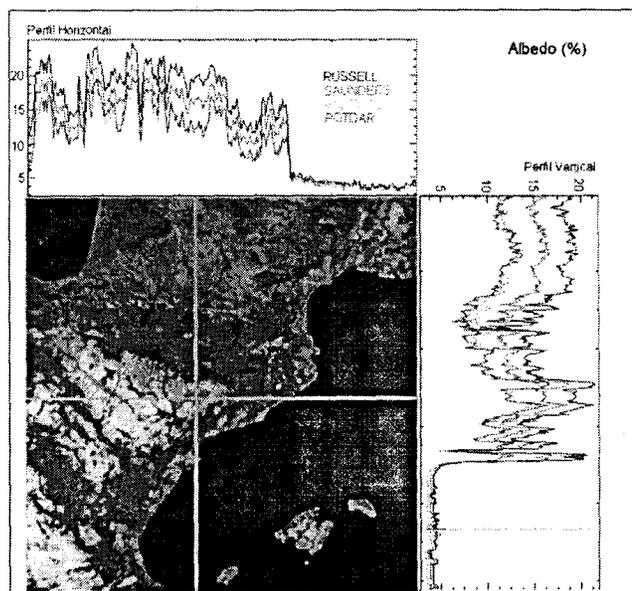


Fig. 6: Perfiles horizontal y vertical de los cuatro albedos calculados con AVHRR.

6. CONCLUSIONES

Los cálculos de albedo con los coeficientes de Saunders y Russell se aproximan bastante a los valores bibliográficos (diferencias absolutas medias alrededor del 2%) que usa por defecto el modelo MM5.

No habiendo pasado las imágenes una corrección atmosférica y considerando que los fenómenos atmosféricos (sin contar las nubes) atenúan la señal que recibe el sensor, el modelo de Russell aunque es el que presenta diferencias menores, no parece el más adecuado pues sobrestima los albedos y más lo haría aún si se pasara una corrección atmosférica de las imágenes. Así pues, a falta de probar los modelos en otras épocas del año, nos inclinamos por usar el modelo de Saunders.

Del estudio de valores clase por clase se deriva la dificultad de establecer valores de referencia para las distintas clases de los usos del suelo, pues estas clases pueden ser muy heterogéneas en cuanto a cobertura aunque el uso del suelo se considere el mismo. La introducción de albedos calculados con imágenes AVHRR en el modelo reflejaría mejor la realidad que si el modelo trabajara con albedos derivados de un mapa de usos del suelo.

7. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha realizado gracias a la cesión de imágenes por parte del Servei de Meteorologia de Catalunya y se enmarca dentro del convenio IMPACTE entre la Universitat Politèc-

nica de Catalunya y los departamentos de Medi Ambient y de Universitats, Recerca i Societat de la Informació, ambos de la Generalitat de Catalunya.

8. REFERENCIAS

BREST, C. y GOWARD, S.N. (1987): "Deriving surface albedo measurements from narrow band satellite data". *Int. J. of Remote Sensing*, 8, 351-367.

CUNILLERA, J. (1995): "*L'ús de la teledetecció i l'anàlisi multivariant a la caracterització agroclimàtica del territori. Aplicació a Catalunya*". Tesis Doctoral, Dept. Astronomia i meteorologia, Facultat de Física, Universitat de Barcelona.

Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya. (2001): "*Mapa d'usos del sòl de Catalunya de l'any 1997*". <http://www.gencat.es/mediamb/sig/sig.htm>

DUBAYAH, R. (1992): "Estimating Net Solar Radiation Using Landsat TM and Digital Elevation Data", *Water Resources Research*, 28, 9, 2469-2484.

EPSCoR (2001): "*Using Satellite-Derived Land Use/Land Cover Data to Improve Meso- and Storm-scale Numerical Weather Prediction. A Collaborative Research Project Funded by the Experimental Program to Stimulate Competitive Research (EPSCoR)*". <http://www.calmit.unl.edu/storm/>

FLORES, H. Y BALDASANO, J.M. (2001): "*Detección de nubes mediante imágenes NOAA-AVHRR*". En prensa.

GUTMAN, G. (1988): "A simple method for estimating monthly mean albedo of land surfaces from AVHRR data". *J. of Applied Meteorology*, 27, 973-984.

GUTMAN, G., GRUBER, A., TARPLEY, D. y TAYLOR, R. (1989): "Application of angular models to AVHRR data for determination of Clear-sky planetary albedo over land surfaces". *J. of Geophysical Research*, 94, 9959-9970.

LAINE, V., VENALAINEN, A., HEIKINHEIMO, M., y HYVARIEN, O. (1999): "Estimation of surface solar global radiation from NOAA AVHRR data in high latitudes". *Journal of applied meteorology*, 38, 1706-1719.

MITCHELL, R.M. (1996): "Pre-flight calibration anomaly in the NOAA 14 AVHRR channels 1 and 2", *Remote Sens. Environ.*, 56, 141-147.

Pennsylvania State University/ National Center for Atmospheric Research (PSU/NCAR) (1999): "*MM5 Tutorial, TERRAIN Module*", <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5-home.html>

POTDAR, M.B. y NARAYANA, A. (1993): "Determining short-wave planetary albedo from spectral signatures of land-ocean features and albedo mapping using NOAA AVHRR data". *Acta Astronautica*, 29, 687-690.

RAO, C.R.N. y CHEN, J. (1996a): "Post-launch calibration of the visible and near-infrared channels of the Advanced Very High Resolution Radiometer on the NOAA-14 spacecraft". *Int. J. of Remote Sensing*, 17, 2743-2747.

RAO, C.R.N. y CHEN, J. (1996b): "Revised post-launch calibration of channels 1 and 2 of the Advanced Very High Resolution Radiometer on board the NOAA-14 spacecraft", http://orbit-net.nesdis.noaa.gov/ora/text/nrao01.txt_y_.../text/nrao02.txt

RAO, C.R.N. y CHEN, J. (2001): "Calibration updates for the visible and near-infrared channels of the Advanced Very High Resolution Radiometer on the NOAA-14 spacecraft" NOAA/NESDIS Office of Research and Applications, <http://140.90.207.25:8080/EBB/ml/niccal2.html>

RESEARCH SYSTEMS Inc (2000): "*IDL 5.4 Users Guide*".

RUSSELL, M.J.; NUNEZ, M.; CHLADIL, M.A.; VALIENTE, J.A. y LÓPEZ BAEZA, E. (1997), "Conversion of Nadir, Narrowband Reflectance in Red and Near-Infrared Channels to Hemispherical Surface Albedo". *Remote Sensing of Environment*, 61, 16-23.

SAUNDERS, R.W. (1990): "The determination of broadband surface albedo from AVHRR visible and near-infrared radiances". *Int. J. of Remote Sensing*, 11, 49-67.

VALIENTE, J.A., NUNEZ, M., LOPEZ-BAEZA, E. y MORENO, J. (1995): "Narrow-Band To Broad-Band Conversion for Meteosat-Visible Channel and Broad-Band Albedo Using Both AVHRR-1 and -2 Channels". *Int. J. of Remote Sensing*, 16, 6,1147-1166.

WANG, J. *et al.* (2000): "Estimating surface net solar radiation by use of Landsat-5 TM and digital elevation models". *Int. J. of Remote Sensing*, 21, 1, 31-43.

WATSON, A.J. y LOVELOCK, J.E. (1983): "Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld". *Tellus* 35, 285-288.