

CAPITOL 4. PROCESSAMENT I RESULTATS

En aquest capítol es detalla el processament de les imatges AVHRR fins a obtenir els paràmetres de superfície mensuals per l'any 2000. A partir dels mètodes revisats al capítol anterior, s'han triat els mètodes més adequats per al tractament de les imatges i el càlcul de paràmetres, en funció dels recursos i de les dades disponibles. A banda de descriure el procediment aplicat, aquest capítol també contempla els criteris de selecció de la metodologia emprada.

4.1. Preprocessament de les imatges AVHRR

Prèviament al càlcul dels paràmetres de superfície, cal eliminar de les imatges la part de senyal enregistrada que no correspon directament a la superfície observada. També cal aplicar una correcció geomètrica a les imatges per eliminar els efectes orbitals de les mateixes. La finalitat del preprocessament és la d'obtenir unes imatges diàries que es puguin comparar amb la resta d'imatges de la sèrie anual. Aquest primer processat implica eliminar efectes orbitals (posició solar i del sensor), efectes atmosfèrics, etc. Tots aquests processos de calibració/correcció són els que s'expliquen a continuació i es mostren de manera resumida a la figura 4.1.

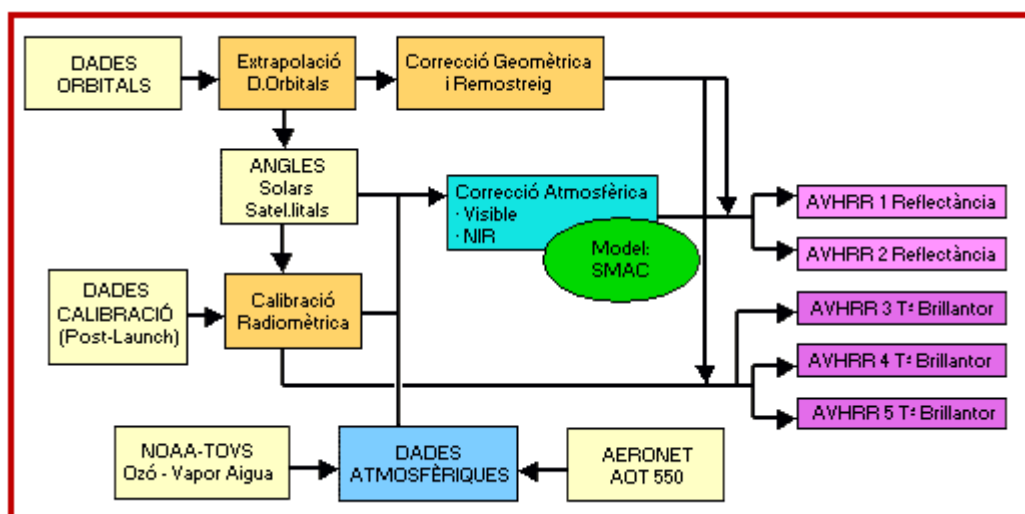


Figura 4.1. Esquema del processat de les imatges per a obtenir reflectàncies en el cas del visible i de l'infraroig i temperatures de brillantor per a les bandes del tèrmic.

4.1.1. Calibració radiomètrica

Les imatges AVHRR (format SHARP-L1B) del CREPAD amb les que s'ha treballat tenen unes dimensions considerables, d'uns 80 a 100 Mbytes cadascuna (2048 columnes x 4000-5000 files x 8 bandes + capçalera). Aquestes dimensions fan que qualsevol tractament comporti un temps de càlcul i de recursos de maquinari elevats. Com a primer pas s'ha retallat les imatges (1000 columnes x 1000 files) per la zona de treball. Aquesta tasca s'ha fet manualment, però si es disposa d'una estació receptora de NOAA, el programari d'adquisició ho realitza automàticament.

La calibració (transformació de dades digitals a magnituds físiques) s'ha aplicat conjuntament als 5 canals del AVHRR. S'ha fet servir el procediment CREPAD_L1B.PRO implementat a IDL. Les bandes 1 i 2 es transformen a radiància amb els valors *post-launch*⁹ (Rao i Chen 1998; citats a Tahnk i Coakley 2001) i no amb els valors de calibració de la capçalera de la imatge, ja que diversos estudis han constatat que els valors *pre-launch* que són els que figuren a la capçalera de les imatges tenen errors (NOAA, 1998). Les bandes 3, 4 i 5 es transformen a temperatura, amb els valors de pendent i intercepció llegits de la capçalera i l'equació del *NOAA User's Guide* (1998).

4.1.2. Correcció geomètrica

Les imatges en format L1B no tenen correcció geomètrica, i calen els fitxers orbitals associats a les imatges per realitzar-la. De les dades orbitals se'n deriva un fitxer de correcció on s'assigna un valor de latitud i de longitud a cada 32 píxels, tant en sentit horitzontal com vertical pel conjunt de la imatge.¹⁰ Aquests fitxers s'han hagut d'adaptar al format IDL, i s'han fet les correccions amb aquest programari, fent servir polinomis de 5^è ordre, tal i com es fa operativament al CREPAD. El remostreig s'ha fet segons el veí més proper, per tal de no alterar la informació original. La resolució del píxel de les imatges corregides és de 1 km. El RMS (*root mean square*) mig de totes les imatges corregides ha estat de 0,522, movent-se en un rang de [0,388-1,096].

4.2. Processament de les imatges AVHRR

Aquest apartat es centra en la transformació de les imatges calibrades a les magnituds físiques necessàries per a posteriorment calcular els paràmetres de superfície, i inclou la correcció atmosfèrica de les imatges. Cal fer esment del diferent tracte que reben les imatges de la passada diürna i nocturna de la plataforma NOAA. En les imatges nocturnes, la manca de radiació solar fa que els canals 1 (visible) i 2 (infraroig proper) no continguin informació, i només es processen els canals 3, 4 i 5.

4.2.1. Càlcul de reflectància

Un cop els canals AVHRR 1 i 2 transformats a radiàncies, s'ha aplicat la metodologia definida per Teillet, 1992 (vegeu expressió 3.1) per calcular les reflectàncies TOA. S'ha descartat aplicar un mètode basat en la BRDF, degut a la seva complexitat i perquè no es disposava dels factors BRDF de la regió de treball ni de recursos per a la seva estimació (vegeu apartat 3.1.4 per a més informació sobre aquests mètodes).

⁹ Els termes pre-launch i post-launch fan referència a abans i després del llançament del satèl·lit, respectivament.

¹⁰ Els fitxers auxiliars del format SHARP-L1B contenen una malla de punts que correspon a cada 32 píxels d'imatge (la malla de 32 x 32 comença al píxel 16,16), i per cada punt es registra la latitud i longitud del punt.

4.2.1.1. Efectes de l'angle solar

En el rang de l'angle zenital solar (SZA) comprés entre 30 i 70°, es pot considerar que la relació entre la reflectància de la canòpia i el SZA és lineal (Syren, 1994), però per sobre de 70° i per sota de 30° la relació no és lineal. Mètodes de processament automàtic com el GEOCOMP del CRSS (Cihlar i Huang, 1993) o el HELIOCLIM per calcular irradiàncies a partir de Meteosat (Lefèvre, 2002) tenen uns llindars operacionals de 80° i 75°, respectivament, eliminant les zones de la imatge amb angles zenitals superiors.

Les imatges AVHRR dels mesos de gener, novembre i desembre presenten elevacions solars molt baixes. En els mesos de gener i octubre, amb angles SZA entre 70 i 80°, l'efecte no és molt acusat, però en els mesos de novembre i desembre si que ho és i després de veure els pobres resultats en la correcció dels efectes d'il·luminació obtinguts, no s'han inclòs en l'estudi estadístic. En la figura 4.2 es representen els angles azimuthals i zenitals de les imatges AVHRR.

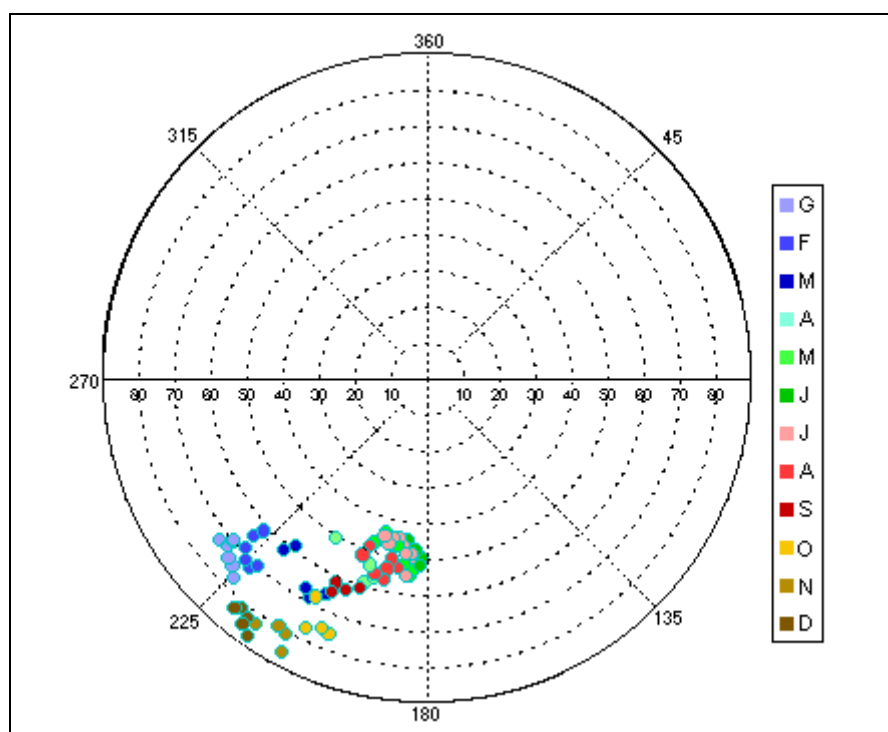


Figura 4.2. Gràfic polar on es representen els angles solars azimuthals i zenitals de les imatges. L'eix polar (0-360°) representa l'angle azimuthal mentre que el radial (0-90°) correspon als angles zenitals. Els colors de la llegenda corresponen als mesos de l'any.

4.2.2. Correcció atmosfèrica dels canals del visible i del NIR

Per la correcció atmosfèrica de les dades s'ha usat el SMAC, desenvolupat per Rahman i Dedieu, (1994) (vegeu apartat 3.2.4.2). Aquest algorisme ha estat ideat per poder corregir gran quantitat d'imatges en un temps raonable i s'ha adaptat el codi original en C (cedit per Dedieu) a IDL. Malgrat existeixen codis més precisos per a la correcció geomètrica, com el 6s (vegeu apartat 3.2.4.1), aquests requereixen un maquinari i un temps de processat més elevats, i s'ha considerat que el SMAC era el més adequat en funció dels recursos disponibles i el volum d'imatges a processar.

Com a entrades, SMAC necessita variables atmosfèriques i dades angulars del sol i del sensor. Les dades angulars (solars i satel·litàries) serveixen per definir la geometria del pas de la irradiància solar per l'atmosfera fins que arriba al sensor satel·lital. Aquestes dades angulars (angles zenitals i azimutals) es deriven de les dades orbitals associades a les imatges i són espacialment discontinues, registrant-se una dada cada 32 píxels d'imatge. Per poder-les ingestar a SMAC, cal fer prèviament una interpolació per tenir imatges amb les mateixes dimensions i píxels que els canals AVHRR.

4.2.2.1. Dades atmosfèriques

De les quatre variables atmosfèriques necessàries a SMAC (vapor d'aigua, columna d'ozó, pressió atmosfèrica i espessor òptic d'aerosols), les tres primeres les proporciona el sensor NOAA-TOVS. L'avantatge d'usar les dades d'aquest sensor és que està embarcat en la mateixa plataforma que el AVHRR, i per tant les dades s'enregistren alhora. Així es tenen dades de les condicions atmosfèriques del moment en que s'estan enregistrant les dades AVHRR. Com ja passava amb les dades angulars, les dades del TOVS necessiten un remostreig per coincidir espacialment amb les imatges AVHRR. A la figura 4.3 es presenten les mitjanes estacionals de concentracions de columna d'ozó per a la zona d'estudi.

La quarta variable, la concentració d'aerosols atmosfèrics, no les proporciona el TOVS. Aquestes es poden obtenir indirectament del sensor satel·lital TOMS (Torres *et al.*, 1998 i 2002), però aquestes dades presenten dos problemes. El sensor no és prou sensible i atribueix valors de 0 per a concentracions menors de 0,7. A la Taula 4.1. es pot observar com valors de 0,7 o superiors són valors molt alts que poc sovint es donen a la zona de treball. Per altra banda l'espessor òptic d'aerosols (AOT, *Aerosols Optical Thickness*) es mesura al TOMS a 380 nm, mentre que SMAC treballa amb el AOT a 550 nm. La transformació de 380 a 550 és possible, però requeriria el coeficient d'Angstrom, el qual no el proporciona el TOMS i caldria treure'l de les dades d'AERONET. Les dades d'AERONET no són les més idònies, ja que són mesures puntuals fetes des de la superfície, però són les úniques dades de que s'ha disposat per la zona de treball.

Les dades de la xarxa AERONET que s'han utilitzat són les de les dues estacions presents a l'àrea de treball, d'Avinyó (N 43° 55' E 4°52', altitud 32 m) i Tolosa (N 43°34' E 1° 22', altitud 150 m). Ambdues estacions es troben al nord i no es poden considerar representatives del conjunt de la zona, però malauradament no hi ha estacions AERONET a la part espanyola de la zona de treball.

Les lectures d'espessor òptic de les dades AERONET comprenen les regions de l'espectre dels 440, 500, 670, 870, 1020 nm; mentre que SMAC requereix l'espessor òptic a 550 nm (AOT₅₅₀). Per transformar els valors de 500 a 550, cal fer servir la llei d'Angstrom (Higurashi *et al.*,2000):

$$\tau_{\alpha,\lambda} = \tau_{\alpha} \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^{-\alpha} \quad (4.1)$$

On $\tau_{\alpha,\lambda}$ és l' espessor òptic d'aerosols per un coeficient d'Angstrom (*alpha*) i una longitud d'ona donada (en μm); τ_{λ} i α són els paràmetres d'Angstrom (espessor òptic d'aerosols i coeficient *alpha*), i λ i λ_0 són

les longitud d'ona en que es vol conèixer τ i la longitud d'ona de la qual es coneix el valor de τ , respectivament.

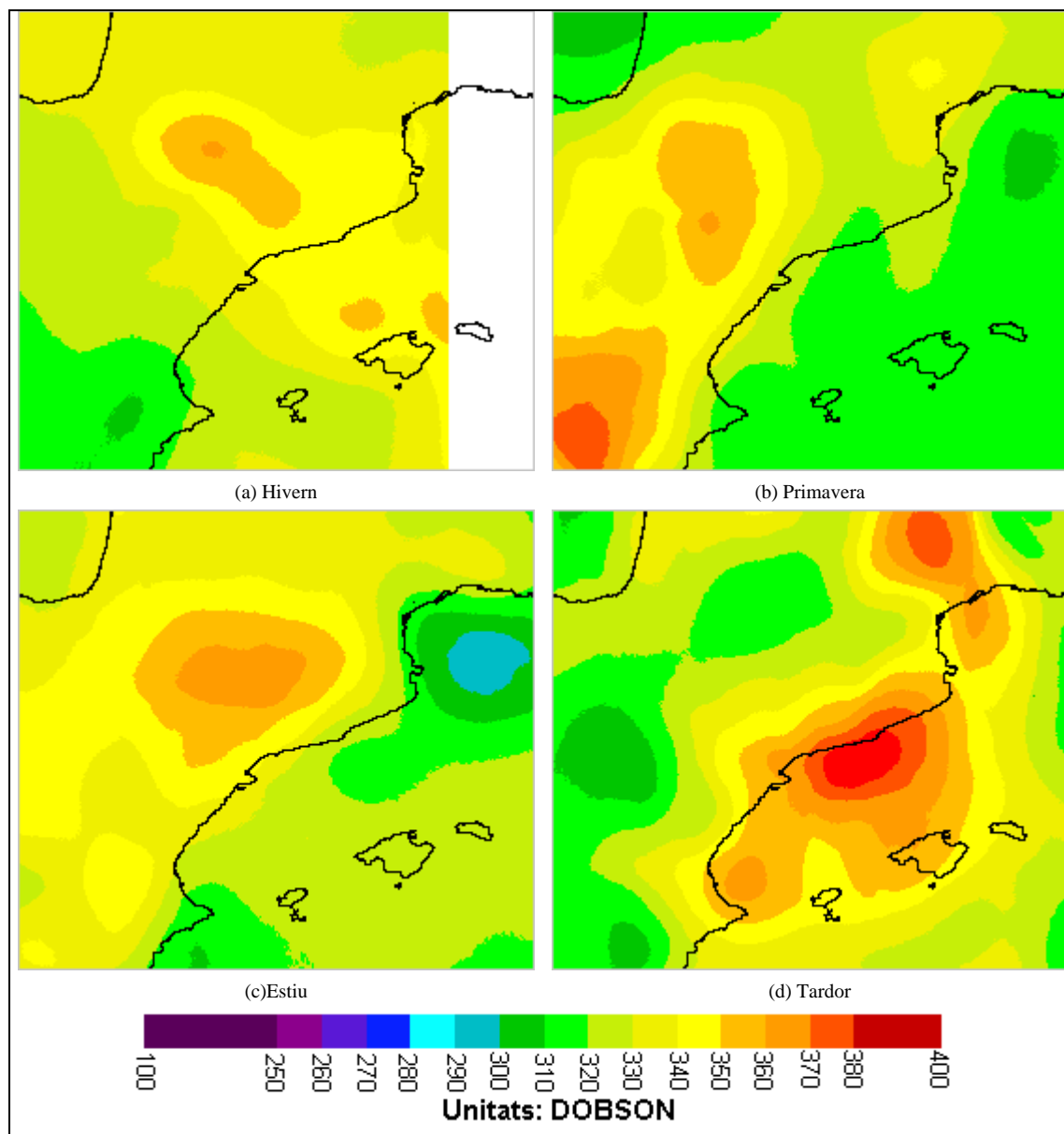


Figura 4.3. Mitjanes estacionals de concentracions de columna d'ozó (en unitats Dobson¹¹).

A partir de l'expressió (4.1), amb els valors de τ_{500} i α es poden calcular els valors de τ_{550} per a les estacions d'Avinyó i de Tolosa. D'aquests se n'ha calculat la mitjana (vegeu taula 4.1 i figura 4.4), valor que és el que s'ha utilitzat en la correcció atmosfèrica.

El SMAC pren com a *input* un únic valor d'espessor òptic d'aerosols, que s'aplica al conjunt de píxels de la imatge i en totes les imatges de cada mes. Cal destacar, però, que aquesta opció no té en compte les variacions diàries, o fins i tot horàries, que pateix la concentració d'aerosols; com es pot veure a la figura 4.5 l' AOT_{550} presenta una variabilitat espacial i temporal elevada.

¹¹ Unitats Dobson: tot l'ozó que es troba en la columna sobre d'una àrea determinada, es comprimeix a 1 atm de pressió amb una temperatura de 0°C. Es mesura llavors l'alçada de l'ozó comprimit, on 1 mm de gruix correspon a 100 unitats Dobson.

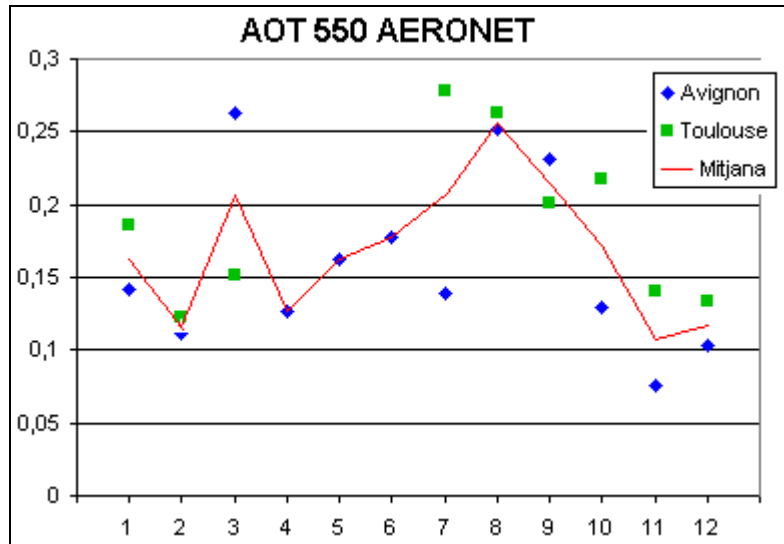


Figura 4.4. Valors de AOT₅₅₀ per a les estacions de Tolosa, Avinyó i valors de mitjana per als mesos de l'any 2000.

L'obtenció de dades d'aerosols que contemplin la variabilitat espacial de la AOT₅₅₀ per incloure-les a les correccions atmosfèriques és un tema que queda pendent, caldrà esperar a que es llencin nous sensors dedicats específicament als aerosols.

4.2.3. Correcció atmosfèrica dels canals tèrmics

La correcció d'aquests canals va estretament lligada a l'obtenció de la Temperatura Superfície Terrestre (TST) i en aquest estudi s'ha fet servir un algorisme de càlcul de la TST que inclou la correcció atmosfèrica (veure l'apartat 4.4.4, càlcul de la TST).

4.3. Imatges de síntesi mensuals

Les imatges de síntesi mensual (també anomenades imatges composades) es poden considerar el primer resultat d'aquest estudi ja que suposen unes imatges "resum" de les condicions mensuals de la superfície terrestre per als rangs espectrals del sensor AVHRR. Per la seva obtenció s'han seguit dos passos. Primer s'ha aplicat un filtrat de núvols, dia a dia, que genera una màscara binària núvol/cel seré. Després es fa una mitjana, canal a canal i píxel a píxel, de les imatges de cada més tenint en compte les màsques de núvols. El resultat són imatges amb els canals originals del AVHRR però que representen una combinació de les condicions de tot el mes, i per aquest motiu s'anomenen imatges de síntesi.

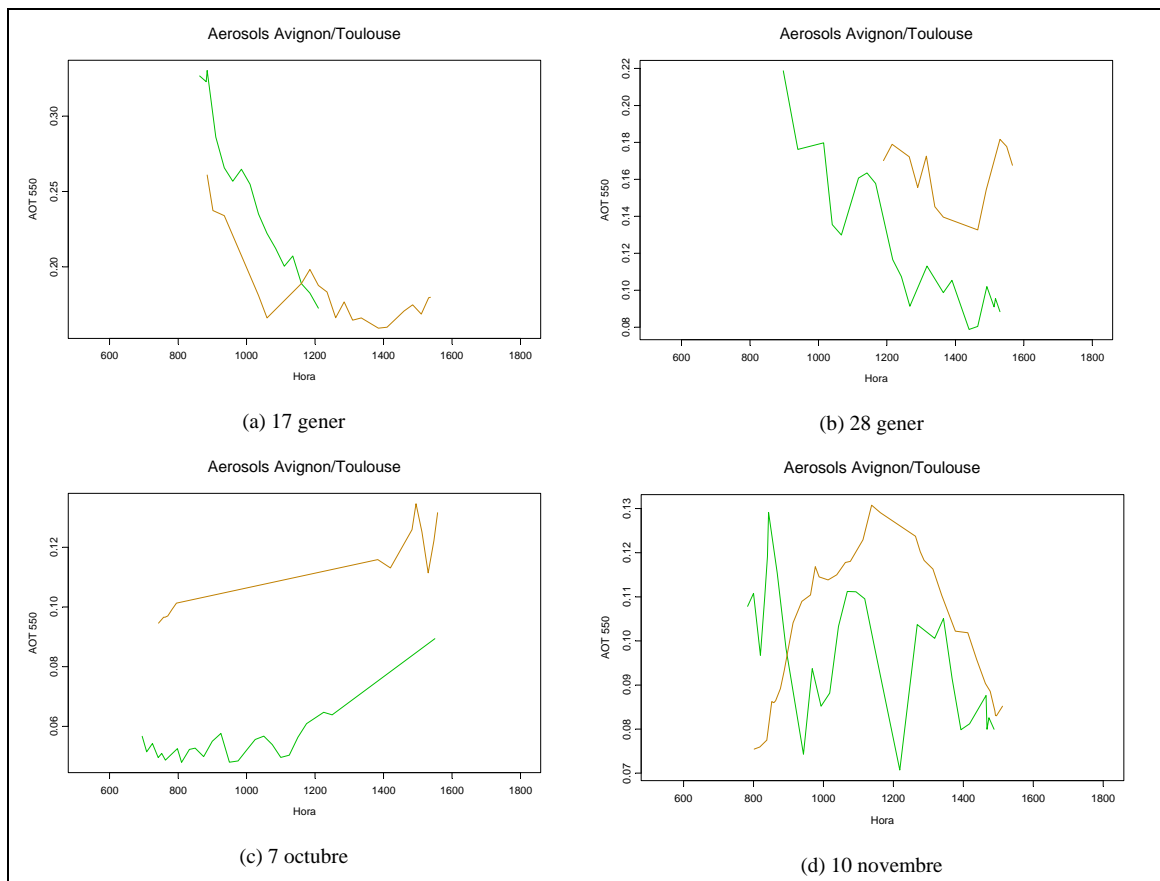


Figura 4.5. AOT₅₅₀ de les 6 del matí a les 6 de la tarda en 4 dies a les estacions d'Avinyó (marró) i Tolosa (verd).

Taula 4.1. Valors de AOT per a les estacions de Tolosa (TO), Avinyó (AV) i valors de mitjana (M) per l'any 2000

AERONET	AOT ₅₀₀		ALPHA		AOT ₅₅₀		
	AV	TO	AV	TO	AV	TO	M
2000							
GEN	0,14	0,19	1,46	1,16	0,14	0,19	0,16
FEB	0,11	0,12	1,37	1,35	0,11	0,12	0,12
MAR	0,26	0,15	1,23	1,49	0,26	0,15	0,21
ABR	0,13	-	1,50	-	0,13	-	0,13
MAI	0,16	-	1,31	-	0,16	-	0,16
JUN	0,18	-	1,45	-	0,18	-	0,18
JUL	0,14	0,28	1,50	1,63	0,14	0,28	0,21
AGO	0,25	0,26	1,62	1,48	0,25	0,26	0,26
SET	0,23	0,20	1,49	1,56	0,23	0,20	0,22
OCT	0,13	0,22	1,34	0,75	0,13	0,22	0,17
NOV	0,01	0,14	1,24	0,72	0,08	0,14	0,11
DES	0,10	0,13	1,33	0,75	0,10	0,13	0,12

4.3.1. Màscara de núvols

Per obtenir les màscares de núvols s'ha implementat a IDL la metodologia de llindars descrita per Laine *et al.* (1999). Aquesta tècnica de filtrat es basa en les signatures espectrals dels núvols i del sol en les bandes 1, 3 i 4 del AVHRR. A la pràctica s'ha vist que els llindars proposats per Laine *et al.* (1999) no s'ajusten perfectament a les imatges i s'han modificat per obtenir millors resultats en la zona d'estudi (Taula 4.2). Aquestes modificacions s'han fet mes a mes, ja que s'ha observat que es podia afinar el filtrat

en funció de les condicions de cada mes. Aquests llindars variants indiquen que la correcció dels efectes solars aplicada prèviament (vegeu apartat 4.2.1) no és suficient per a homogeneïtzar les condicions d'il·luminació entre les imatges dels diferents mesos.

Per altra banda, s'ha inclòs al procediment de filtrat per llindars un filtre morfològic de dilatació, que augmenta l'àrea de núvol en un píxel de costat. La finalitat és d'excloure píxels frontera (on hi ha una barreja superfície/núvol en el senyal) que s'acostumen a escapar del filtrat, ja que no presenten l'espectre típic d'un núvol sinó una barreja de senyal. Aquest filtre morfològic redueix els píxels útils de la imatge però és una mesura conservadora que s'ha considerat oportuna per tal de limitar al màxim els píxels "contaminats" a l'hora de calcular les mitjanes. A la figura 4.6 es pot veure un exemple del resultat del filtre de *Laine*.

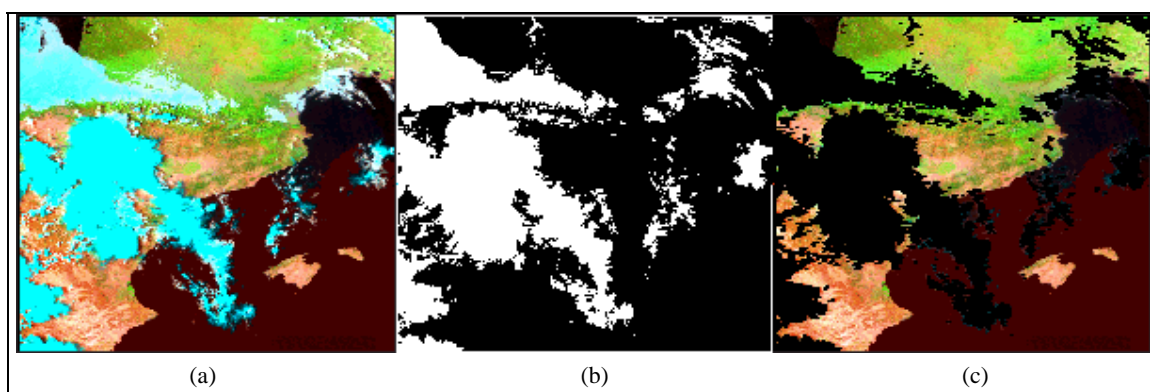


Figura 4.6. Filtrat de núvols. (a) RGB 3:2:1 de la imatge del dia 1 d'agost de 2000, (b) màscara de núvols i (c) RGB 3:2:1 sense núvols.

El filtre de *Laine* fa servir la reflectivitat del canal visible i de l'infraroig proper i no es pot aplicar a imatges nocturnes. La tècnica proposada per Derrien *et al.* (1993) només fa servir els canals 3, 4 i 5 i s'ha aplicat pel conjunt d'imatges nocturnes. Aquest mètode també està basat en una sèrie de quatre filtres seqüencials (vegeu Taula 4.3).

Taula 4.2. Valors teòrics i valors usats a la pràctica en el procediment de *Laine et al.* (1999) (T_3 i T_4 : temperatures de brillantor dels canals 3 i 4 respectivament. R_1 : reflectivitat del canal 1)

Llindars	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
<i>Laine et al.</i> 1999	$T_4 < T_{min}$	$T_3 - T_4 > 8 \text{ K}$	$R_1 > 0,15$	$T_3 - T_4 < 8 \text{ K}$
AVHRR 2000	$T_4 < 260 - 280 \text{ K}$	$T_3 - T_4 > 6 - 10 \text{ K}$	$R_1 > 0,15 - 0,19$	$T_3 - T_4 < 7 - 15 \text{ K}$
GEN-FEB	260	8	0,10	7
MAR-ABR	260	10	0,12	7
MAI-JUN	270	10	0,15	10
JUL-AGO	280	10	0,19	15
SET	280	9	0,19	15
OCT-DES	270	6	0,15	8

Com passa amb el filtre de *Laine*, en el cas del filtre nocturn de Derrien *et al.* (1993) també s'ha optat per modificar lleugerament els valors dels llindars per ajustar millor el filtrat de les imatges AVHRR (Taula 4.3). Aquestes modificacions es deuen al fet que Derrien *et al.* (1993) van definir els llindars per a imatges del NOAA9, mentre que en aquest treball s'han usat imatges del NOAA14.

El quart filtre (vegeu Taula 4.3.) proposat per Derrien *et al.* (1993) s’ha vist que a la pràctica no aportava res de nou i no s’ha fet servir. Com en el cas de les imatges diürnes, s’ha introduït també una dilatació morfològica per tal d’eliminar els píxels frontera que podien estar contaminats.

Les ombres dels núvols no s’eliminen amb aquests filtres, i és un dels aspectes que no s’ha aconseguit automatitzar. El problema de les ombres es pot solucionar amb la composició directa d’imatges (sense filtrar els núvols), però les proves de composició fetes al següent subapartat han donat resultats força dolents i s’ha optat per una correcció manual. La tècnica de Simpson i Stitt (1998) (vegeu apartat 3.2.6.1) per eliminar ombres és difícil d’aplicar degut a la seva complexitat i no s’ha considerat.

Taula 4.3. Valors teòrics i valors usats a la pràctica en el procediment de Derrien (T₃, T₄ i T₅ temperatures de brillantor dels canals 3, 4 i 5 respectivament)

Llindars	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Derrien <i>et al.</i> 1993	T ₃ -T ₅ > 3 K	T ₄ -T ₃ > 1,5 K	T ₄ < T _{min}	T ₄ -T ₅ > 0,6 -1,0 K
AVHRR 2000	T ₃ -T ₅ > 3 - 4 K	T ₄ -T ₃ > 1,5 - 1,9 K	T ₄ < 255 - 265 K	---

4.3.2. Imatges de síntesi mensuals

S’han fet proves de composició mensual amb el algorismes MAN (*Maximum NDVI*) i el MAD (*Maximum Difference*) proposats per Chilar *et al.* (1994a) (vegeu apartat 3.2.6.2). Ambdós mètodes seleccionen, píxel a píxel i pel conjunt de dies del mes, el valor en que el MAN o el MAD és màxim en cada píxel, i atribueix a la composada el valor dels canals originals del dia on s’assoleix aquest màxim. El MAN va donar millors resultats, obtenint-se imatges amb menys contrastes (d’aspecte més real), que no pas amb el MAD (vegeu figura 4.7).

De fet, tant el MAN com el MAD estan originalment pensats per crear imatges de NDVI, mentre que en les proves realitzades s’ha fet servir per a crear composades dels canals originals del AVHRR. Es pot veure a la figura 4.7(b) que el mètode no funciona massa bé per tal de crear una composada dels canals originals, ja que el resultat és força més dolent que el que s’obté fent la mitjana amb les màscares de núvols (vegeu figura 4.7a). A la figura 4.7(c) es representa, píxel a píxel, el dia que el MAN ha estat seleccionat per assignar el valor a la composada mensual. En aquest cas es tracta del mes de setembre, en el que hi havia quatre imatges disponibles. Es pot veure com el mètode assigna a zones extenses el valor d’un únic dia, intercalant píxels solitaris d’altres dies que són els que acaben donant aquests contrastes “no naturals” en la imatge composada. Finalment la figura 4.7(d) presenta les diferències entre el NDVI per al mes de setembre calculat amb el MAN i amb la mitjana de les 4 imatges (tenint en compte la màscara de núvols). Es pot observar com els valors de NDVI del MAN són gairebé sempre superiors, fet previsible ja que el mètode precisament es basa en el màxim NDVI. En triar el màxim el mètode sobreestima el NDVI mitjà mensual, ja que assigna a tot el mes el valor del dia on aquest era més elevat. Per contra, en fer la mitjana, si no s’ha eliminat bé l’efecte de l’atmosfera s’està sotaestimant el valor de NDVI.

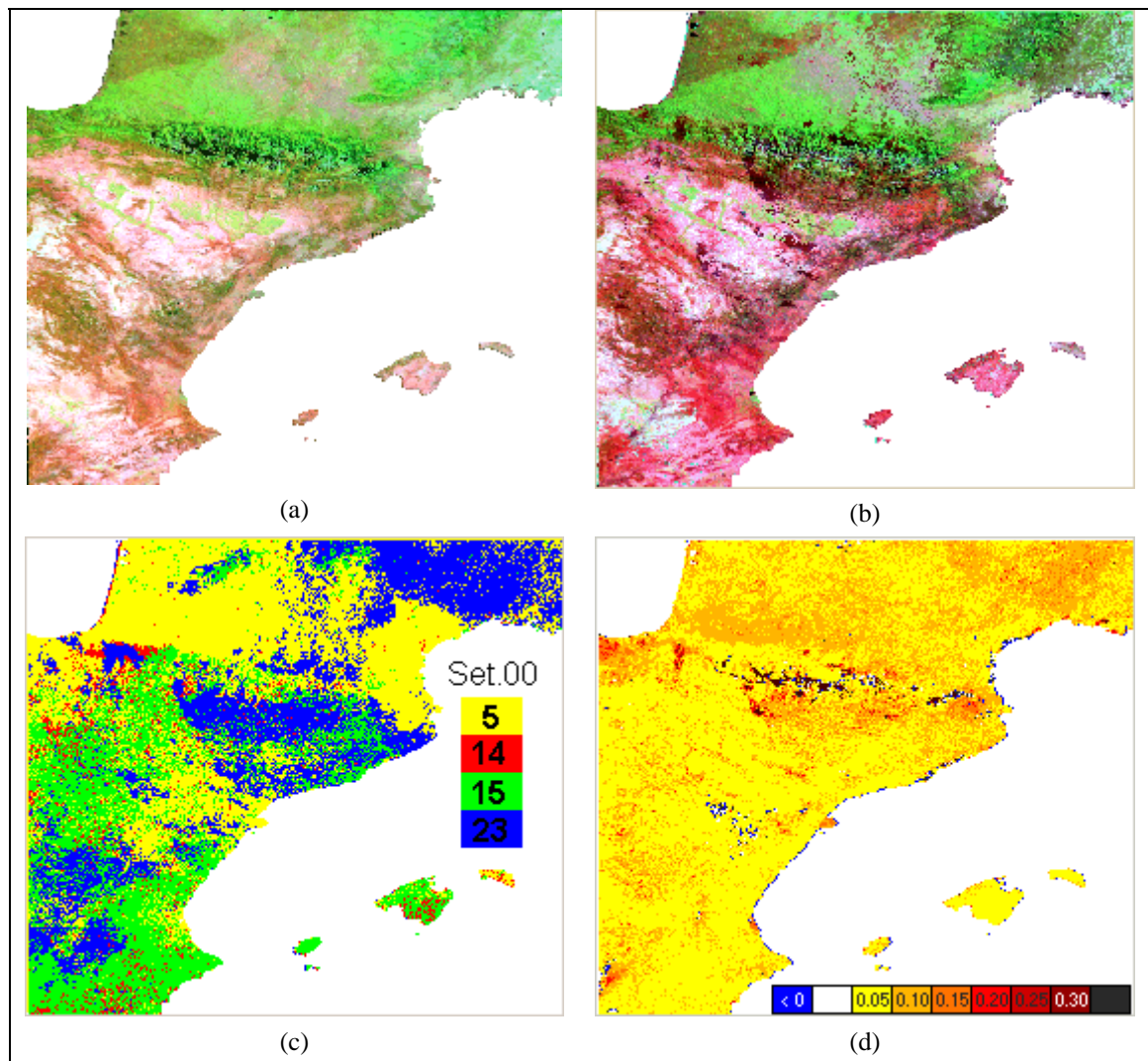


Figura 4.7. Composades mensuals per al mes de setembre de 2000. (a) Composada segons la mitjana de les imatges netes de núvols, (b) composada segons el mètode MAN (Cihlar *et al.*, 1994a), (c) dies dels que el mètode MAN agafa el valor de NDVI per a cada píxel i (d) diferències entre el NDVI compostat amb el MAN i el NDVI compostat fent la mitjana dels valors de la imatge sense núvols.

4.3.2.1. Imatges de síntesi mensuals a partir d'imatges amb filtrat de núvols

En vista dels pobres resultats de les composades obtingudes amb les tècniques del MAN i del MAD, s'ha optat per calcular les imatges de síntesi mensuals a partir de les imatges netes de núvols. Després del filtrat de núvols, s'ha fet una eliminació manual d'ombres en les imatges diürnes, obtenint finalment una màscara binària (0: núvol+ombra, 1: cel seré) per a cada dia. S'ha calculat la mitjana per a cada mes amb les imatges, tenint en compte les màscares de núvols. Com que aquest processat suposava un gran volum de feina, sobretot pel que respecte al filtrat manual d'ombres, només s'han elegit les imatges més netes de cada mes, amb un mínim de 4 imatges per mes. Les imatges resultants presentaven alguns buits, en zones on hi havia núvols en totes les imatges seleccionades. Aquests píxels sense resultat es concentren sobretot a la zona dels Pirineus, on en general hi ha més núvols i on és possible que la separació entre neu i núvols no fos del tot eficient en els filtrats automàtics.

4.3.2.2. Reconstrucció de sèries temporals

A l'apartat de mètodes 3.2.6.3 es descriuen tècniques per a la detecció de contaminació residual i reconstrucció de sèries temporals. No s'ha considerat necessari invertir temps en aquest aspecte ja que els problemes de píxels sense valor han estat mínims. El que si s'ha fet és omplir els buits de les imatges composades mensuals amb la mitjana del mes anterior i posterior per cada píxel, per tal de no tenir problemes de “no data” a l'hora de visualitzar les imatges de síntesi mensuals i, sobretot, a l'hora de calcular estadístics pels paràmetres de superfície.

4.4. Càlcul de paràmetres de superfície

Els paràmetres de superfície s'han calculat a partir de les imatges de síntesi mensuals (gener a novembre de 2000) i no per a cada dia. La imatge composta del mes de desembre, on el sol es troba a elevacions per sota dels 20 graus a la hora de pas del satèl·lit, s'ha desestimat vistos els problemes d'il·luminació que presenta. El mes de novembre té unes elevacions solars en la zona de l'elevació límit (vegeu apartat 4.2.1.1), i vistos els mals resultats obtinguts en l'anàlisi estadística, els resultats del novembre es presenten en els resultats gràfics però no s'han fet servir després en el càlcul d'estadístics per a les classes dels mapes d'usos del sòl. Els resultats indiquen que la correcció d'il·luminació aplicada sobreestima els resultats de reflectivitat en el canal del visible i, conseqüentment, l'albedo. La discussió dels resultats de la correcció d'il·luminació es tracta en el capítol següent.

4.4.1. Limitacions de les imatges AVHRR

Primer de tot, es fa una revisió de les limitacions que tenen les imatges AVHRR per calcular propietats físiques de la coberta terrestre. Encara que originalment el sensor NOAA-AVHRR va ser concebut per a aplicacions meteorològiques (NOAA, 1979), les seves dades s'han aplicat a altres camps on la precisió requerida de les dades està per sobre de les prestacions nominals del sensor, amb els conseqüents problemes que això pot comportar. Si es volen fer servir les imatges AVHRR per a estudis de canvis interanuals, per exemple de l'afectació sobre la vegetació del canvi climàtic, és crític assumir que els canvis observats són deguts a canvis reals i no a errors de les imatges, deguts a efectes de l'angle solar o d'observació o d'efectes atmosfèrics. Així com el canvi en la calibració del sensor, degut a la seva degradació al llarg del temps, és un tema que està molt estudiat i ben resolt; els efectes d'il·luminació fins fa poc no han rebut un tractament com cal. A part dels efectes en la geometria de l'observació, els angles del sol i del sensor tenen efectes en la modificació de la senyal deguda als efectes dels components atmosfèrics (Kaufmann *et al.*, 2000).

Estudis com els de Goward *et al.* (1991) i Cihlar *et al.* (1998) plantegen amb quina precisió és possible utilitzar les dades del AVHRR per al seguiment interanual dels diferents paràmetres de superfície que es poden derivar de les dades preses pel sensor. Goward *et al.* (1991) van estudiar les capacitats i les limitacions del sensor NOAA-AVHRR per produir un NDVI d'escala global, prou consistent i precís com per poder fer un seguiment estacional de la superfície on els canvis corresponguin als canvis en els objectes observats i no a errors en la correcció de les imatges. Resumint, es destaquen els punts següents:

- Els índexs de vegetació computats en imatges sense calibrar no es poden fer servir per comparacions amb índexs calculats amb altres sensors, inclosos els de la mateixa família d'instruments (per exemple, la sèrie de AVHRR en els diferents NOAA)
- Sense una correcció atmosfèrica, en les condicions d'una atmosfera el més neta possible, la precisió en les reflectàncies calculades és 1,4 vegades menor a la que es podria obtenir segons les especificacions del sensor. En atmosferes tèrboles la transmissió de la senyal decau i la precisió pot arribar a baixar fins a 3 vegades de la nominal. A l'hora de calcular NDVI, aquesta manca de correcció atmosfèrica pot produir estimacions de fins a un 30% inferiors a les condicions reals (0,3 unitats de NDVI).
- Aplicant correccions atmosfèriques, l'error es pot reduir fins a $\pm 0,1$ unitats de NDVI. Aquest error residual és degut a les variacions espai-temps en les concentracions d'aerosols i de vapor d'aigua atmosfèric.
- El *swath* resultant de l'angle de visió de 110° del AVHRR comporta vistes allunyades de fins a 55° del nadir. En condicions de màxim allunyament el píxel passa d'una resolució de 1,2 km² a 16 km² i, a part dels problemes de redundància de la senyal en aquests píxels, hi ha importants problemes en la senyal degut al comportament anisotròpic de la dispersió atmosfèrica.
- La NOAA considera que per sobre de 15° respecte del nadir, les distorsions en les imatges són considerables. Els autors consideren aquestes diferències massa importants per sobre de 25° off-nadir, valor que correspon a un angle de visió del sensor de 30°. Aquesta restricció, juntament amb la presència de núvols limita força la resolució temporal que es pot aconseguir amb imatges AVHRR (el sensor segueix una òrbita progressiva amb cicle periòdic de 9 dies).

Cihlar *et al.* (1998) fan un repàs dels avenços tècnics introduïts en els tractaments que han de rebre les imatges fins a l'obtenció dels paràmetres de superfície i a grans trets conclouen el següent:

- Una correcta correcció de les imatges és bàsica, essent les més determinants la correcció atmosfèrica, la correcció BRDF (factors de reflectància bidireccional) i l'eliminació dels píxels contaminats (núvols).
- Els rangs de variabilitat anual (en bandes simples) es redueixen en un factor de 2 a 8 (depenent de la banda i el tipus de coberta del sòl) en aplicar unes correctes correccions dels factors atmosfèrics i bidireccionals. A més, els rangs de variabilitat en el NDVI s'incrementen (les incerteses residuals disminueixen molt al fer ratios entre bandes).
- Cal millorar els procediments actuals en la correcció atmosfèrica degut a la seva importància.

Malgrat que en el present estudi no s'ha aplicat una correcció "BRDF", s'ha intentat seguir la resta de recomanacions citades. En el cas de les vistes allunyades del nadir, s'ha mirat de no seleccionar imatges on la regió de treball no quedés massa allunyada del nadir. Segons aquestes recomanacions, la resolució de treball hauria de ser la de les condicions més desfavorables en quant a les dimensions del píxel. En aquest sentit, la resolució triada d'1 km² no s'ajustaria a aquestes recomanacions, però s'ha preferit fer el canvi de resolució a l'hora de calcular els paràmetres de superfície segons les categories d'usos del sòl. Així, s'han tingut en compte les regions d'una mateixa categoria del mapa d'usos del sòl i no regions uniformes de per exemple 2 o 3 km².

4.4.2. Albedo en superfície

L'equació usada en el càlcul de l'albedo (3.8) aplica una combinació lineal dels albedos individuals del visible (VIS) i de l'infraroig proper (NIR), canals que cobreixen un 25% de l'espectre solar. En no ser representatius aquests dos canals de tot l'espectre solar, s'apliquen a la pràctica ajustos empírics que relacionen les lectures d'aquest 25% de l'espectre amb el conjunt de l'espectre solar. Aquests ajustos lineals són particulars per cada tipus de coberta (vegeu l'apartat 3.3.1.1). Per tal de triar els coeficients més adequats per a la nostra regió de treball s'han estudiat els resultats de les equacions de Saunders (1990), Valiente *et al.* (1995), Russell *et al.* (1997) i Song i Gao (1999), comparant-se els resultats obtinguts amb els albedos de les categories del mapa d'usos del sòl del USGS-24 (el que utilitza MM5).

4.4.2.1. Comparativa entre diferents formulacions per al càlcul de l'albedo

S'han calculat els albedos amb els coeficients dels quatre autors per a les composades dels mesos de febrer, juny i setembre de 2000. A la taula 4.4 es presenten els resultats de les diferències entre aquestes imatges i la imatge d'albedo derivada dels valors climàtics per a les categories del mapa d'usos del sòl del USGS-24 que es consideren la referència. En les diferències no es contempla la zona de mar. Com a diferència absoluta s'entén la mitjana de les diferències entre albedos, píxel a píxel pel conjunt de la zona d'estudi, sense tenir en compte el signe de la diferència. La finalitat d'aquest estadístic és la d'establir la diferència entre albedos, sense que les diferències positives i negatives s'eliminïn entre elles. La desviació estàndard expressa en quin grau aquestes diferències són acusades. Per altra banda, la diferència simple sí que té en compte el signe de la mateixa, i l'estadístic expressa en quin grau l'estimació de l'albedo mitjà per al conjunt de la zona d'estudi és superior o inferior en cada cas.

Taula 4.4. Diferències d'albedos (diferència absoluta, desviació estàndard i diferència simple).
En negreta es destaquen els resultats que més s'ajusten als valors calculats amb les taules del USGS-24

ALBEDO	febrer			juny			setembre		
	dif.abs	std	dif	dif.abs	std	dif	dif.abs	std	dif
SAUNDERS	4,2	5,5	-3,6	3,2	3,9	2,3	1,9	3,0	-0,6
RUSSELL	2,4	4,7	0,1	7,0	7,8	6,8	3,8	4,6	3,2
VALIENTE	3,9	5,0	-3,3	2,6	3,3	1,6	1,7	2,9	-0,6
SONG	2,7	4,4	-1,4	6,1	7,2	5,9	2,8	3,6	1,8

Els coeficients *Russell* són els que donen un albedo d'hivern més similar al del USGS-24, però sobreestimen l'albedo a l'estiu, donant el valor més alt de les quatre formulacions testades. Els coeficients de *Valiente* tenen el comportament contrari, donant un albedo d'estiu més ajustat, però sotaestimant el d'hivern. Aquestes diferències entre *Russell* i *Valiente* cal relacionar-les amb la diferència del pesos assignats segons les bandes, ja que aquestes dues formulacions són antagòniques, donant els de *Russell* major pes al NIR en el càlcul, mentre que els de *Valiente* donen més pes al visible. Aquesta diferència de pesos té a veure amb la coberta del sòl dominant en la zona de treball dels dos grups. Els coeficients *Russell* es van estimar a partir de dades mesurades amb sensors aerotransportats a la illa de Tasmània. La vegetació densa d'aquesta regió genera moltes ombres al canal del visible, fet que es compensa donant més importància al NIR en l'ajust empíric dels coeficients. Per contra, els coeficients *Valiente* van ser derivats d'estudis a Espanya, i haurien de ser més apropiats per la nostra zona de treball, com passa per al juny i al setembre, malgrat que els resultats de febrer no són els millors.

A part de les diferències directes de les imatges reals i teòriques, s'han estudiat perfils d'albedo per a les quatre formulacions més els valors del USGS-24 amb la imatge de síntesi del mes de setembre. El perfil horitzontal (vegeu figura 4.8) talla la imatge d'oest a est, en latituds properes a Lleida. El perfil vertical (vegeu figura 4.9) talla la zona d'estudi de nord a sud, travessant els Pirineus, el regadiu de Lleida i la comarca del Priorat per finalment arribar al mar.

En les figures 4.8 i 4.9, encara que al febrer els valors d'albedo segons els coeficients *Russell* són els que més s'assemblen amb els valors bibliogràfics (USGS-24), en els altres dos mesos els resultats segons *Russell* sobreestimen l'albedo. Això es veu amb molta claredat als perfils horitzontal i vertical del mes de setembre, on els resultats segons *Russell* i *Gao* s'allunyen molt dels valors bibliogràfics, sobretot en les zones no forestals. Aquests dos coeficients es van determinar fent ajustos empírics en zones on la cobertura estava dominada per la vegetació densa, i els coeficients no semblen adequats per la zona mediterrània on s'ha desenvolupat l'estudi.

Això també és un reflex clar de la importància de la BRDF i dels errors que s'introdueixen en considerar la superfície com a lambertiana, sobretot quan hi ha força vegetació, errors que s'intenten corregir amb coeficients diferents dels teòrics de Saunders (1990) que atribueixen el mateix pes als dos canals. De fet, per a la nostra zona d'estudi els coeficients *Saunders* donen uns resultats que s'apropen força als valors del USGS-24, encara que els *Valiente* s'hi apropen més. Finalment s'ha elegit l'expressió de *Valiente et al.* (1995). Tot i que els coeficients de Saunders (1990) siguin teòricament més robustos i possiblement siguin els que donen uns resultats millors a nivell global, en haver desenvolupat *Valiente et al.* (1995) uns coeficients específics per a una part de la present zona d'estudi, s'ha cregut més convenient fer servir aquests coeficients. A la figura 4.10 es presenten les imatges d'albedo calculades amb la fórmula de *Valiente et al.* (1995) a partir de les sintètiques mensuals.

A l'albedo de gener es pot veure com hi ha neu a les serres d'Albarracín i a la serra de Gudar (sud-oest de la imatge), neu que ja desapareix al febrer. A part de la neu, l'albedo és similar per ambdós mesos. Al mes de març hi ha un sobtat increment de l'albedo, seguit d'una petita baixada a l'abril. La pujada de l'abril fins al juny sembla més amortida, i per tant sembla que els valors del març estiguin sobreestimats. El juny és el mes de màxim albedo, i al juliol comença una baixada progressiva fins a l'octubre. El descens brusc d'albedo de l'octubre a novembre no es correspon a la realitat; l'albedo del novembre està sotaestimat. De fet, a la zona de França es poden veure clarament uns canvis d'albedo lineals, de sud-oest a nord-est, que segueixen la pauta de la imatge de l'angle solar zenital i que denoten les baixes elevacions solars d'aquest mes i els problemes de la correcció d'il·luminació, que es tradueix en valors erronis d'albedo. Si no es tenen en compte els canvis d'albedo generats per la presència de neu, la zona de la vall de l'Ebre i d'Albacete (sud-est de la imatge) és on es produeixen les majors diferències d'albedo al llarg de l'any, mentre que la zona boscosa de les Landes franceses i la zona que envolta els Pirineus, que no es veu afectada per la neu, és on les variacions anuals són menors. Al capítol següent s'analitzen en detall les evolucions anuals d'albedo a través de les categories d'usos del sòl del mapa del USGS-24.

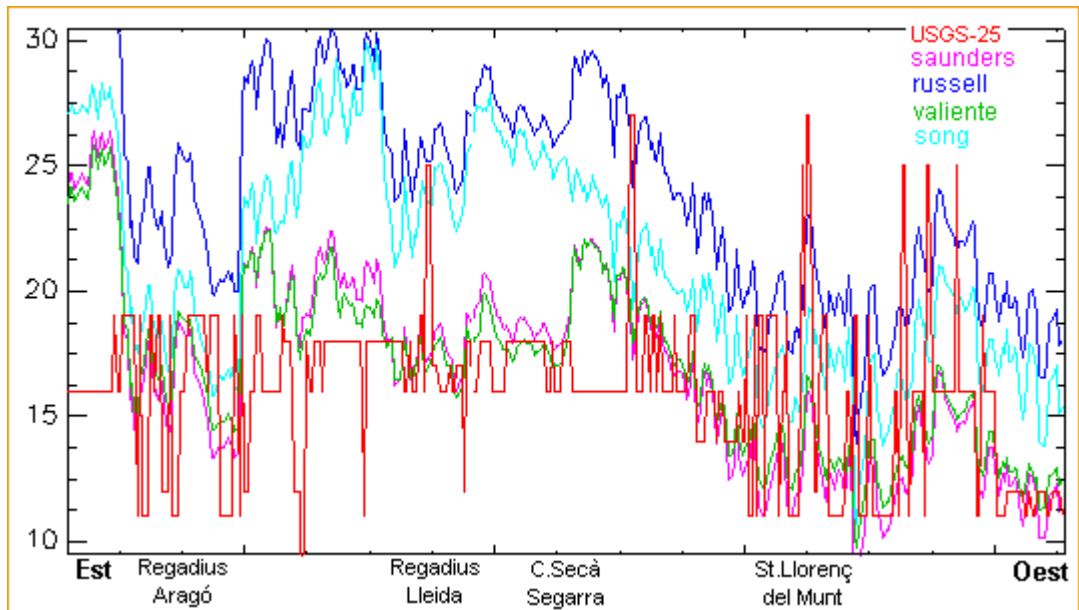


Figura 4.8. Perfil longitudinal dels albedos segons les quatre formulacions dels diferents autors i l'albedo calculat amb el mapa d'usos del sòl del USGS-24 i els valors de MM5.

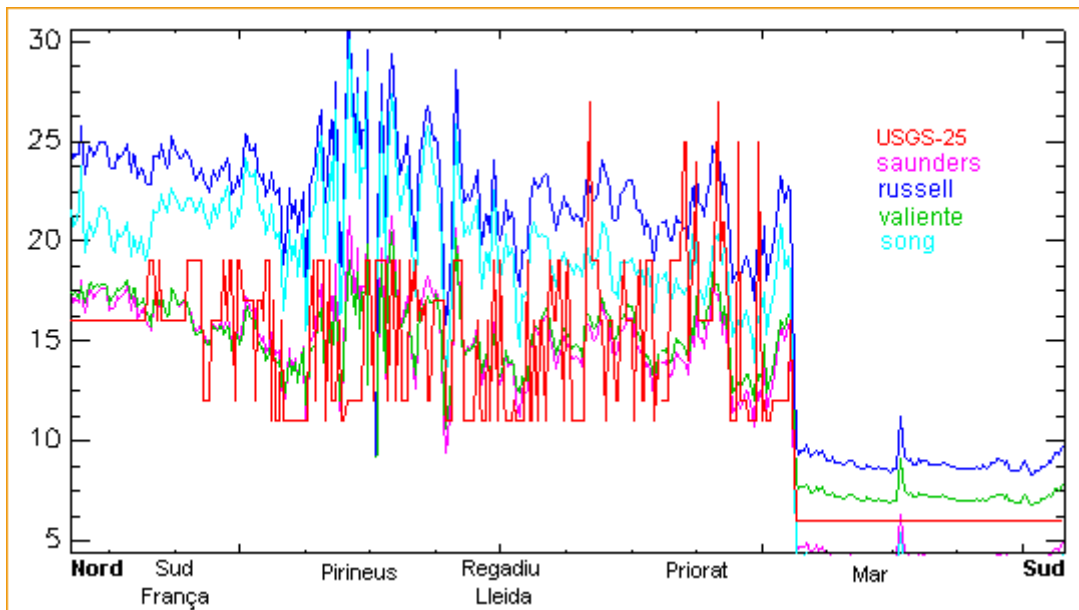


Figura 4.9. Perfil vertical dels albedos segons les quatre formulacions dels diferents autors i l'albedo calculat amb el mapa d'usos del sòl del USGS-24 i els valors de MM5.

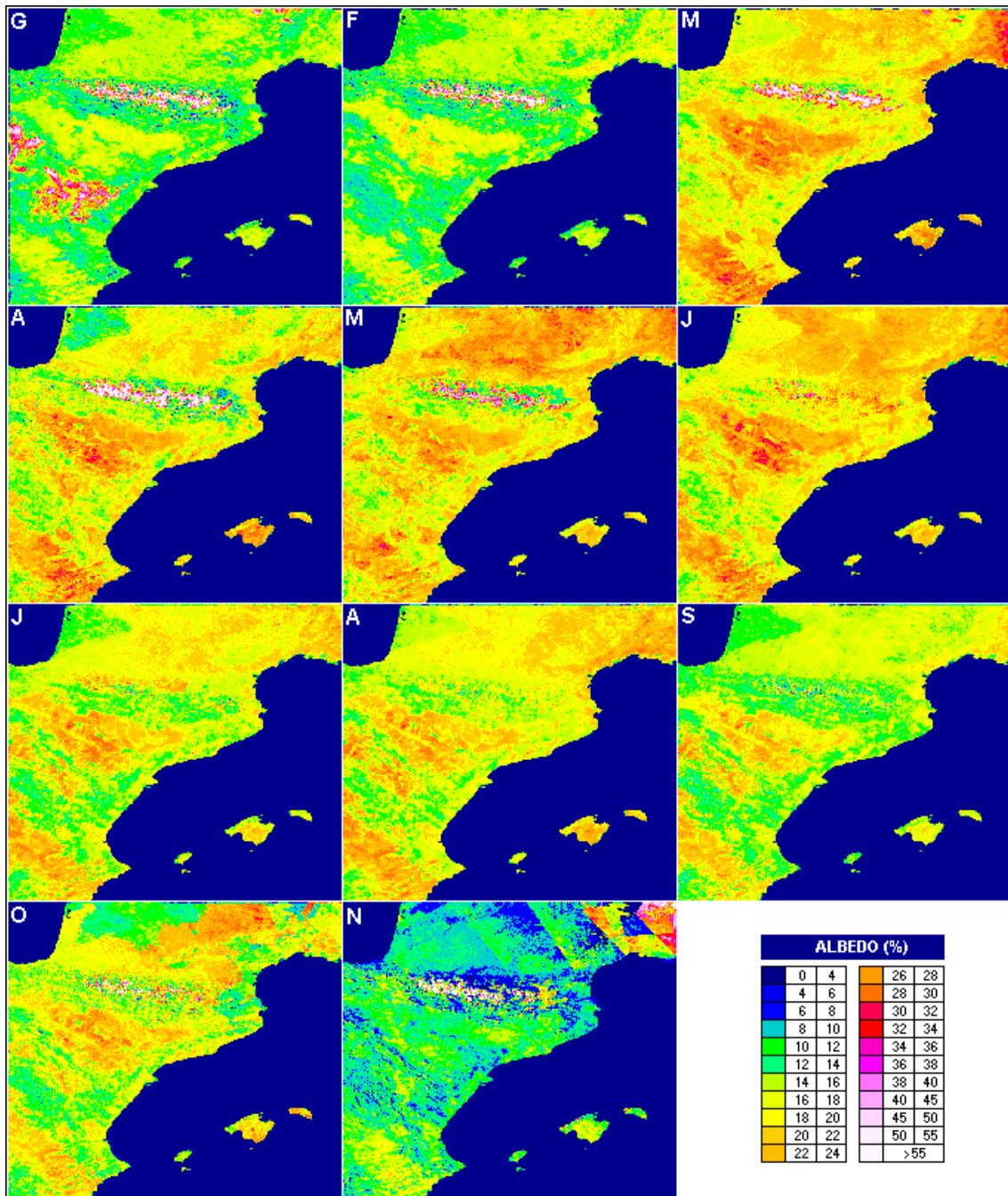


Figura 4.10. Imatges d'albedo calculades amb l'equació de Valiente *et al.* (1995) a partir de les sintètiques mensuals.

4.4.3. Emissivitat

S'ha calculat l'emissivitat amb dues metodologies diferents i per a dos rangs espectrals diferents. La primera, amb el mètode de Valor i Caselles (1996), correspon a l'emissivitat pel rang espectral dels 8-9 μm i és la que es presenta als resultats ja que és l'emissivitat que es fa servir en el model de mesoescala MM5. L'emissivitat segons Sobrino i Kharraz (1999) és un pas intermedi dins del mètode de càlcul de la temperatura del sòl i correspon al rang espectral dels canals 4 i 5 del AVHRR (10-12 μm), que són els que s'usen en el càlcul de la temperatura de la superfície terrestre i no es presenta en els resultats. L'emissivitat, en ambdós casos, es deriva de l'índex de vegetació NDVI. Els resultats de NDVI es

presenten a continuació, ja que a part de necessitar-se per estimar l'emissivitat els resultats s'han fet servir per valorar els resultats obtinguts, que es presenta al capítol següent.

4.4.3.1. Càlcul de l'índex de vegetació normalitzat NDVI

L'índex NDVI o índex de vegetació de la diferència normalitzada es calcula amb les bandes del visible i de l'infraroig proper, segons l'expressió (3.11). A la figura 4.11 es presenten els valors mitjans mensuals de NDVI calculats.

Com ja s'ha comentat anteriorment, les condicions d'il·luminació dels mesos de tardor són massa extremes, i encara que es mirin de corregir, els resultats del novembre i del desembre són dolents. Com ja passava amb els resultats d'albedo, es poden observar al sud de França, en la imatge de novembre, els efectes dels angles d'elevació solar massa baixos. En la seqüència d'imatges de NDVI es pot observar la diferència climàtica que estableixen els Pirineus, clarament visibles pel baix NDVI degut a la presència de neu, la qual desapareix progressivament en entrar la primavera. Al Sud de França la primavera marca un fort canvi fenològic, amb un increment generalitzat de l'activitat fotosintètica, mentre que al Sud dels Pirineus els canvis de NDVI són molt més puntuals, acusats en les zones de regadiu però gaire inexistents en extenses zones com els Monegros o la zona de Múrcia i Albacete.

4.4.3.2. Càlcul de l'emissivitat (8-9 micròmetres)

S'ha utilitzat el mètode de Valor i Caselles (1996) perquè aquest permet triar el rang d'espectre en que es calcula l'emissivitat, i s'ha pogut ajustar l'emissivitat a la que fa servir el model MM5. A més, l'Enric Valor, un dels coautors del mètode, de la unitat de teledetecció del Departament de Termodinàmica de la Universitat de València, ha proporcionat l'executable, fet que n'ha simplificat l'aplicació. L'executable és per a MS-DOS, però IDL permet cridar rutines de MS-DOS i fer-les servir en un procés automatitzat de càlcul.

L'algorisme necessita, a part de la imatge de NDVI, uns paràmetres amb els que calcula el percentatge de cobertura vegetal de la superfície, que és la variable que permet després estimar l'emissivitat. Aquests paràmetres són:

- El valor màxim i mínim de NDVI observat sobre la imatge a tractar (no els màxims i mínims possibles). Aquests valors corresponen a sòl nu (el valor mínim) i a una elevada cobertura vegetal (el valor màxim), al qual s'assigna un valor d'emissivitat de 1. Els valors de NDVI que corresponen a aigua i a zones ennuvolades no s'han de considerar a l'hora de determinar el valor mínim de NDVI.
- En segon lloc l'algorisme permet utilitzar una relació lineal o no lineal entre NDVI i percentatge de vegetació. En el primer cas no cal introduir paràmetres addicionals; en el segon, es necessiten els valors de reflectivitat del visible i de l'infraroig pròxim (canals 1 i 2 del AVHRR) sobre les zones on es troben el valor mínim de NDVI (sòl sense vegetació) i el valor màxim (només vegetació). En el present estudi s'ha fet servir la relació lineal, relació que s'hauria d'usar en un processament automàtic per tal de no haver d'estimar dades addicionals com és el cas de la relació no lineal.

- Independentment de la relació triada, l'algorisme necessita els paràmetres tèrmics per calcular l'emissivitat, que són: l'emissivitat del sòl sense vegetació, l'emissivitat de la vegetació i el terme de cavitat efectiu¹². Els autors proposen uns valors globals per aquests paràmetres tèrmics i que només depenen de la regió espectral triada en el càlcul de l'emissivitat. Els coeficients tèrmics es presenten en la taula 4.5. En el present estudi s'han fer servir els coeficients per la regió espectral de 8 a 9 micròmetres, regió que fa servir el model de mesoescala MM5.

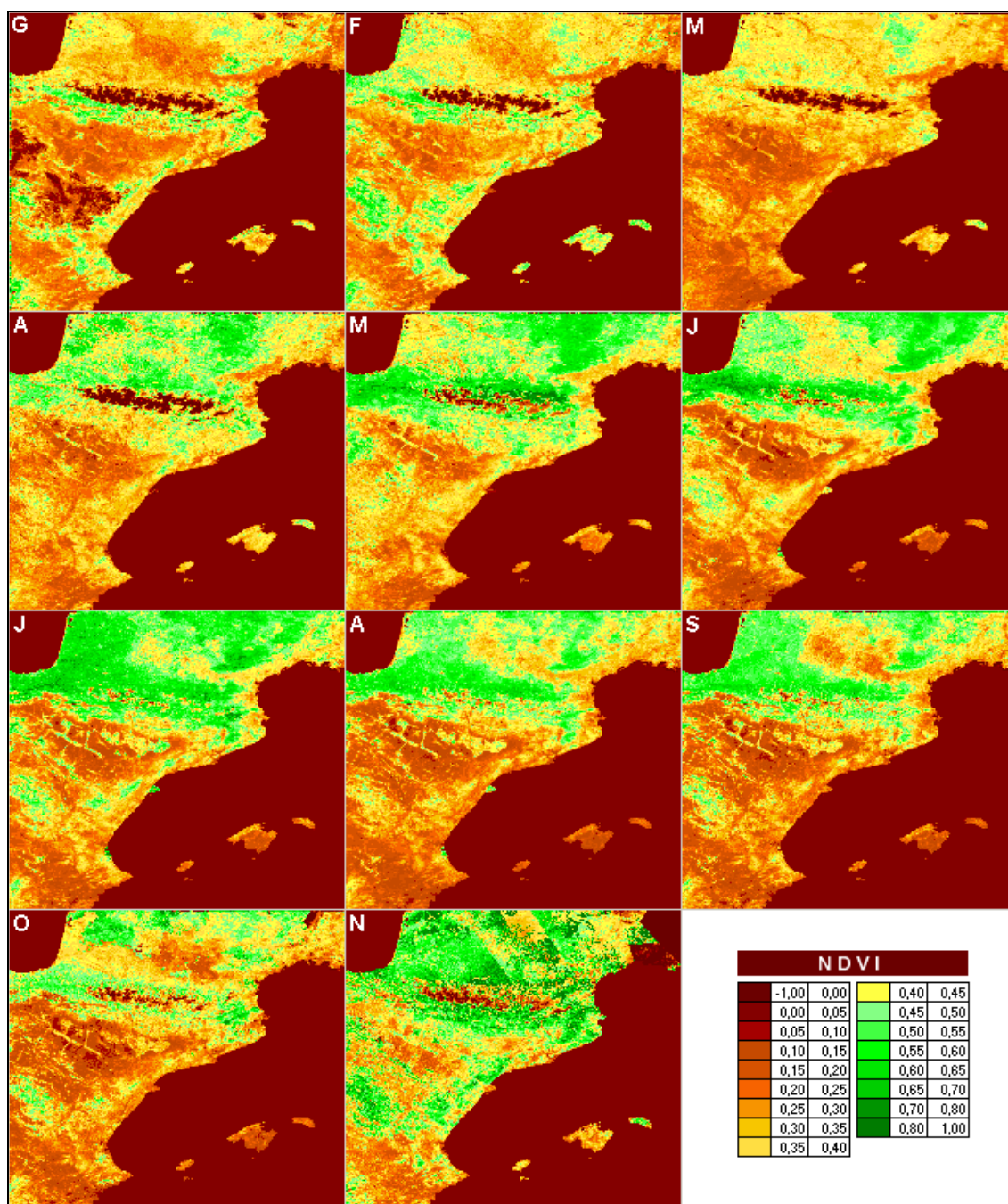


Figura 4.11. Imatges de NDVI a partir de les sintètiques mensuals.

¹² L'efecte de cavitat d'una superfície rugosa té en compte les radiacions que arriben al sensor indirectament, fruit de les reflexions que es donen entre les superfícies dels objectes que formen la superfície rugosa, i que s'afegeixen a les radiacions directes dels objectes (Caselles i Sobrino, 1989).

Taula 4.5. Coeficients tèrmics pel càlcul de l'emissivitat segons Valor i Caselles (1996)

Coeficients tèrmics	8-9 μm	8-13 μm	10,5-12,5 μm
Emissivitat sòl	0,900	0,930	0,960
Emissivitat vegetació	0,985	0,985	0,985
Terme cavitat	0,04	0,03	0,017

A la figura 4.12 es presenten els valors mensuals mitjans d'emissivitat. S'hi reconeix força el patró de comportament observat per al NDVI, però amb menys contrastos, ja que el rang de valors d'emissivitat és més reduït que el de NDVI.

4.4.4. Temperatura de Superfície

Per calcular la temperatura de la superfície terrestre (TST) s'ha fet servir l'algorisme proposat per Sobrino i Kharraz (1999) ja que els seus coeficients estan calculats per a dades NOAA-AVHRR de la Península Ibèrica (expressió 3.22). La TST diürna (vegeu figura 4.13a) es deriva de les imatges de la passada de la NOAA de la tarda i per a la temperatura nocturna es fa servir la passada de matinada.

L'emissivitat s'ha calculat amb el mètode de llandars de NDVI (Sobrino i Raissouni, 2000), introduint una petita modificació. S'ha substituït el mètode proposat d'estimació de la fracció de vegetació (P_v) (expressió 3.18), necessària en el càlcul de l'emissivitat amb el mètode dels llandars, per la proposada per Gutman i Ignatov (1998), ja que s'ha comprovat que l'expressió 3.18 fa estimacions per sobre de la unitat en algunes zones de l'àrea d'estudi. Els valors necessaris per al càlcul de la P_v es deriven del càlcul de la línia de sòls i de l'NDVI màxim per a Catalunya amb imatges LANDSAT-TM en el marc del projecte IMMPACTE (Jorge i Pineda, 2002).

La TST nocturna s'ha calculat amb la passada del NOAA de matinada (vegeu figura 4.13b). El mètode de Sobrino i Raissouni (2000) utilitza en el càlcul de la temperatura nocturna, l'emissivitat calculada amb la imatge diürna, ja que es considera que en 12 hores l'emissivitat no haurà variat substancialment. En el present estudi, en treballar amb composades mensuals, s'ha fet servir l'emissivitat mensual estimada amb les imatges sintètiques de cada mes.

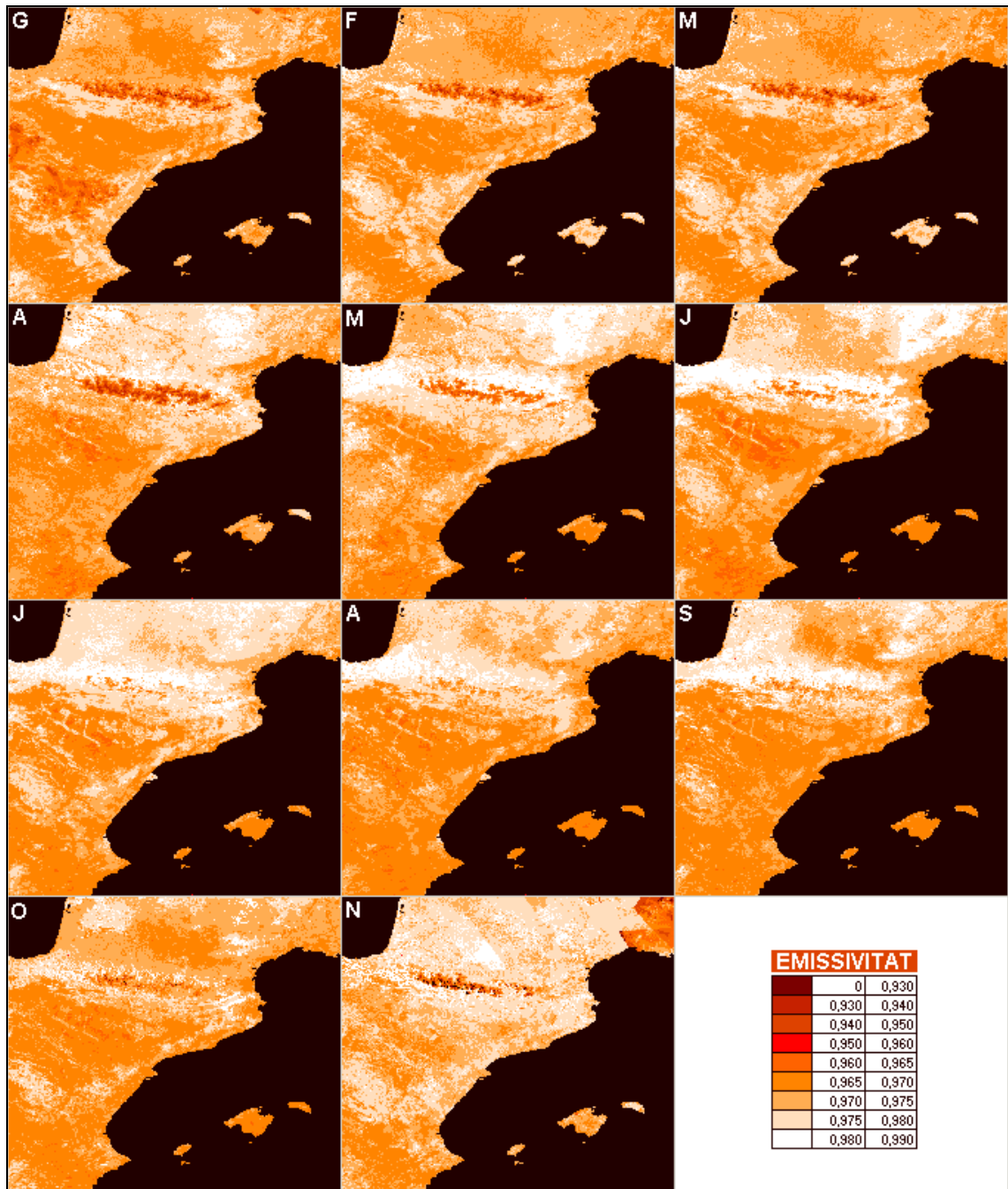


Figura 4.12. Imatges d'emissivitat calculades amb el mètode de Valor i Caselles (1996) a partir de les sintètiques mensuals de NDVI.

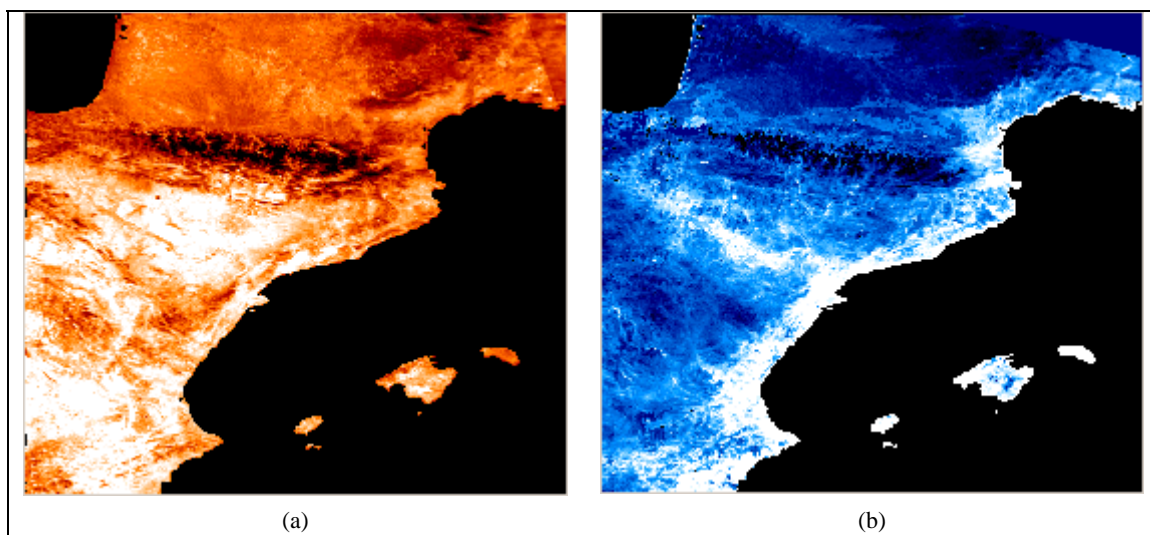


Figura 4.13. TST (a) diürna i (b) nocturna per la mitjana del mes de març de 2000.
Els colors clars representen valors més elevats. El mar es presenta emmascarat en aquestes imatges.

A partir de les imatges de TST i la d'albedo, ja es pot calcular la inèrcia tèrmica. Un producte intermediari és l'amplitud tèrmica (vegeu figura 4.14) que pot tenir interès com a resultat per si mateix.

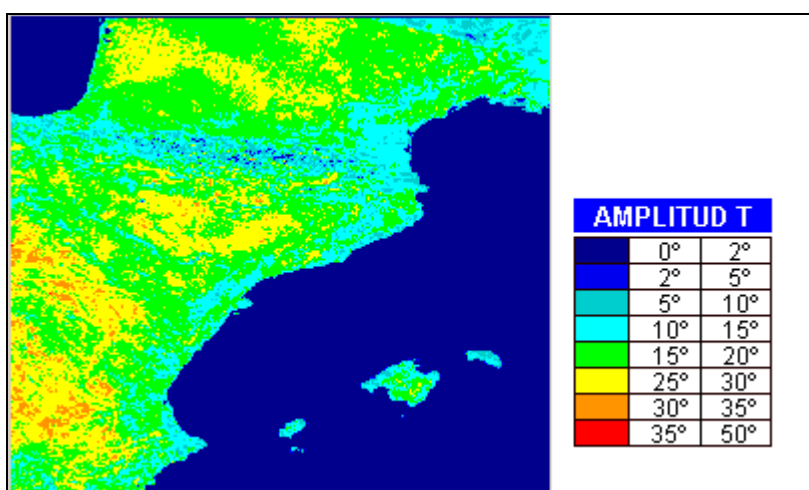


Figura 4.14. Amplitud tèrmica per la mitjana del mes de març de 2000.

L'amplitud tèrmica presenta una clara continentalitat. L'alta inèrcia tèrmica de les masses d'aigua fan que l'amplitud tèrmica es vegi molt influenciada per la distància al mar. A Catalunya, aquest efecte del mar, però, no penetra molt cap a l'interior degut als sistemes litorals i prelitorals. També es nota l'efecte orogràfic, essent molt més acusada l'amplitud tèrmica en les depressions. Finalment cal destacar la baixa amplitud tèrmica dels Pirineus, deguda a l'altitud i a la presència de neu.

4.4.5. Inèrcia Tèrmica

En el càlcul de la inèrcia tèrmica (P), s'ha triat l'adaptació del model de Price feta per Sobrino *et al.* (2000) per la seva senzillesa (vegeu apartat 3.3.5.1 per més detalls). Els coeficients de Fourier necessaris es calculen a partir de la declinació solar i la latitud de la zona de treball. Els resultats del càlcul per l'any

2000 es presenten a la taula 4.6. En els càlculs de les mitjanes mensuals s'ha fet servir el valor del dia central de cada mes. A la figura 4.15 es presenten els resultats gràfics de la P calculada. Les unitats del sistema internacional per a la inèrcia tèrmica són les UIT ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1} \text{s}^{1/2}$) però els resultats es presenten en les unitats que fa servir el USGS ($\text{cal cm}^{-2} \text{K}^{-1} \text{s}^{-1/2}$), les que fa servir el USGS-24 en les taules del MM5.

Taula 4.6. Valors del primer terme dels coeficients de Fourier (A_1) calculats segons la fórmula de Sobrino *et al.* (2000). DOY: dia de l'any. Declinació solar en graus.

mes	DOY	Declinació	A_1
G	15	-21,62	0,21
F	46	-15,78	0,25
M	75	-6,37	0,32
A	106	5,67	0,41
M	136	16,23	0,47
J	167	22,63	0,49
J	197	22,77	0,49
A	228	16,91	0,48
S	259	6,45	0,42
O	289	-5,25	0,33
N	320	-15,69	0,25
D	350	-21,57	0,21

L'amplitud tèrmica, que puja progressivament del gener fins al agost en les zones més continentals, presenta una inflexió descendent de març a abril, essent el valor del març força més alt que el de l'abril. Aquest descens repercuteix en la inèrcia tèrmica, generant el salt acusat que s'observa entre les inèrcies tèrmiques del març i de l'abril. A la costa es produeix un increment progressiu de la P al llarg de l'any. Ara bé, la manca de valors fiables per al novembre i desembre, així com els dubtes sobre els valors del gener i del febrer produïts per uns valors anormalment baixos d'albedo fan que no es pugui saber en quin moment la inèrcia tèrmica comença a baixar per arribar als mínims del mes de març. Als Pirineus, deixant de banda l'increment molt acusat de la tardor, si que sembla que hi ha un cicle anual amb una època de valors d'inèrcia tèrmica més elevats quan no hi ha neu i uns valors més baixos quan hi ha neu (la neu és la cobertura de menor inèrcia tèrmica).

4.5. Paràmetres de superfície per a les categories dels mapes d'usos del sòl

Per tal de fer una anàlisi estadística de les dades i per poder incorporar els resultats al model de mesoescala meteorològic MM5, s'ha calculat per a les categories dels mapes d'usos del sòl USGS-24 i CORINE¹³, els valors dels paràmetres de superfície. S'inclou en aquest càlcul de paràmetres el NDVI, ja que aquest índex és el que ens servirà al capítol següent per comparar els resultats obtinguts amb el AVHRR amb dades del sensor SPOT-VGT. El CORINE té una resolució original de 250 metres, que s'ha reduït a la resolució d'un quilòmetre, triant la categoria més representada en la quadrícula AVHRR de 1 x 1 quilòmetre.

Per tal d'obtenir els valors mitjans mensuals dels diferents paràmetres de superfície per a les categories dels mapes d'usos del sòl, s'han definit àrees d'interès en les diferents categories dels mapa d'usos del

¹³ Les taules 2.3 i 2.4 del capítol 2 presenten les categories dels dos mapes d'usos del sòl, amb la seva definició i la superfície relativa que ocupen en la zona d'estudi.

sòl. El fet de dividir en mostres les diferents categories permet, a part de calcular els valors mitjans mensuals dels paràmetres de superfície, calcular la desviació de les mostres respecte la mitjana, que posteriorment s'ha fet servir per estudiar la homogeneïtat de les categories dels mapes d'usos del sòl. Els resultats dels valors mitjans mensuals es presenten a continuació, mentre que l'estudi de les categories dels mapes d'usos del sòl es fa en el capítol següent.

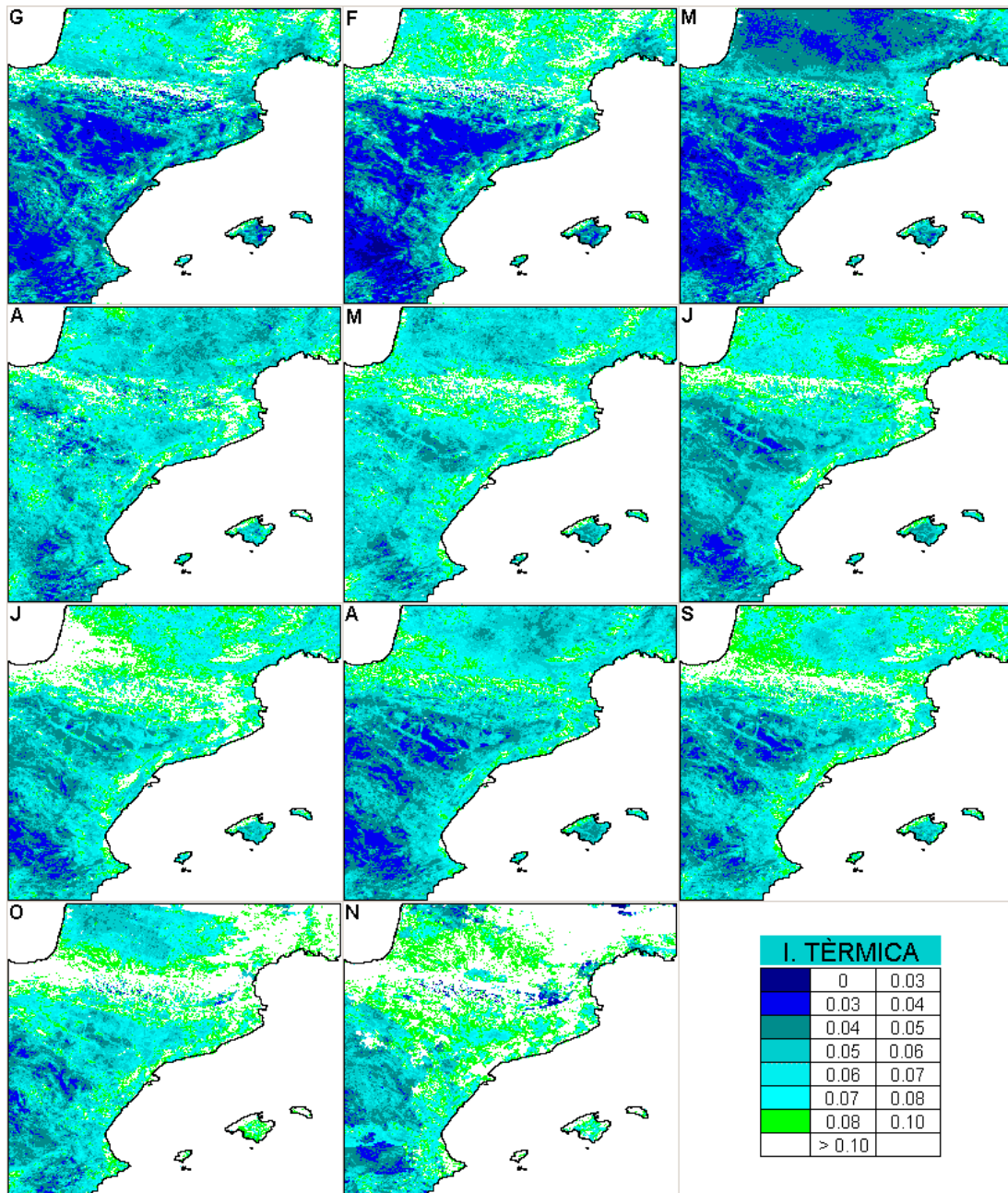


Figura 4.15. Inèrcia tèrmica a partir de les imatges sintètiques mensuals de l'any 2000.

4.5.1. Mostreig

Per a cada categoria del mapa d'usos del sòl (USGS-24 i CORINE), s'ha dividit la superfície de la categoria en una sèrie de mostres. S'han aplicat una sèrie de criteris per tal de ser objectius a l'hora de mostrejar i de reduir els errors en els resultats:

- Com a pas previ s'ha aplicat un filtre d'erosió de les categories, que ha deixat fora de l'àrea de mostreig els píxels frontera d'entre categories. Aquest procediment disminueix la presència de zones de transició entre categories en les mostres.
- S'han eliminat les mostres amb menys de 4 píxels, per mirar de disminuir les mostres de zones amb poca presència de la categoria.
- S'han dividit en mostres més petites les mostres massa grans, per augmentar el número de mostres i homogeneïtzar-ne les dimensions.

A la figura 4.16 es mostra un exemple de la forma i dimensions d'aquestes mostres.

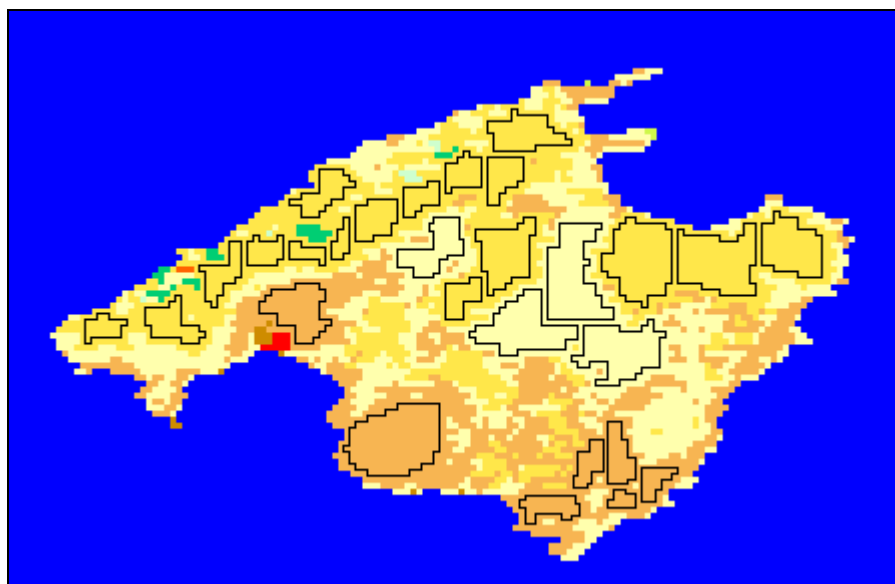


Figura 4.16. Exemple de les mostres de les categories del USGS-24 a la illa de Mallorca.

4.5.2. Paràmetres de superfície per les categories dels mapes d'usos del sòl

Un cop introduïdes totes les imatges al SIG, s'han creuat les imatges mensuals de l'any 2000 amb les categories del mapa d'usos del sòl. Els resultats es presenten en les següents taules, on s'han afegit les mitjanes estacionals per facilitar-ne la interpretació. Els mesos de novembre i desembre, degut als problemes en la correcció de la il·luminació, no s'han inclòs en els càlculs. Així, les dades per a la tardor corresponen a les del mes d'octubre. Les categories dels mapa d'usos del sòl amb una presència mínima o nul·la en la zona d'estudi no s'han fet servir en els càlculs¹⁴.

4.5.2.1. Resultats per al mapa d'usos del sòl USGS-24

En el càlcul dels paràmetres per les categories del USGS-24, no s'han inclòs les categories amb presència mínima o nul·la a l'àrea d'estudi (vegeu la figura 2.5 i la taula 2.3 al capítol 2). Així, no hi ha resultats per a dues categories forestals (Bosc de coníferes caducifòlies i Bosc de planifolis perennes), per a les categories de tundra i ni per a la categoria de neu perenne que segons el USGS-24 no es dona als Pirineus.

¹⁴ El percentatge de presència de cada classe es pot consultar a les taules 2.3 i 2.4

La taula 4.7 presenta els resultats d'albedo per a les categories del USGS-24 presents en l'àrea d'estudi (vegeu figura 2.6).

Taula 4.7. Sèrie mensual i estacional de l'any 2000 d'albedo (%) per a les categories del USGS-24

Albedo	G	F	M	HIV	A	M	J	PRI	J	A	S	EST	O	TAR
1. Urbà	14,8	14,8	20,5	16,7	20,4	21,0	20,5	20,6	18,4	19,2	16,4	18,0	18,5	18,5
2. Cultius secà	15,4	15,1	20,9	17,1	20,0	21,1	21,3	20,8	18,5	19,0	17,0	18,2	18,0	18,0
3. Cultius regadiu	18,9	19,7	24,9	21,2	25,5	24,4	23,2	24,4	19,9	20,0	18,1	19,3	21,1	21,1
5. M.Cultius+prats	24,4	21,6	26,1	24,0	27,6	23,4	22,1	24,4	18,1	18,6	16,2	17,6	18,2	18,2
6. M.Cultius+bosc	14,4	14,1	19,9	16,2	18,8	20,5	20,7	20,0	18,3	18,7	16,5	17,8	17,7	17,7
7. Prats	41,2	36,9	37,0	38,4	42,3	28,8	22,7	31,3	16,8	16,9	16,7	16,8	30,2	30,2
8. Matollar	16,5	18,4	26,5	20,4	26,0	24,5	26,8	25,7	23,4	23,3	21,5	22,7	22,3	22,3
9. M.Matollar+Prats	14,0	13,6	19,3	15,6	18,4	18,7	18,9	18,7	16,2	17,5	15,1	16,3	16,7	16,7
10. Sabana	15,1	11,3	16,6	14,3	15,7	16,8	16,2	16,2	13,8	15,2	12,9	14,0	14,4	14,4
11. Bosc caduc.	23,4	21,8	26,8	24,0	26,9	17,7	20,1	21,6	17,8	16,6	13,7	16,0	19,3	19,3
14. Bosc conif.	15,5	15,5	19,2	16,7	16,2	19,6	18,9	18,2	15,3	16,4	13,9	15,2	14,8	14,8
15. Bosc mixt	12,6	12,8	17,8	14,4	16,1	17,1	18,2	17,1	15,4	16,5	13,8	15,2	16,7	16,7
16. Aigua	7,9	6,4	9,2	7,8	7,5	8,0	7,1	7,5	7,2	8,5	7,3	7,7	8,7	8,7
19. Erm/Veg.escassa	14,2	11,9	17,7	14,6	15,9	17,2	17,4	16,8	14,5	15,7	13,7	14,6	14,2	14,2

Els valors d'albedo es mouen en un rang d'entre 7 i 41%, mínim que es dona en la categoria d'aigua i màxim que correspon als prats de muntanya coberts de neu en els mesos d'hivern. Els valors de l'aigua, que haurien de ser estables al llarg de tot l'any, amb uns valors aproximats de 7 a 8 % segons les dades bibliogràfiques consultades, presenten una fluctuació des del 6,4% del febrer al 9,2% del març. Aquestes desviacions del valor teòric indiquen problemes en les correccions de les dades, que es discuteixen al capítol següent. Les majors fluctuacions es donen a la categoria "prats" que durant els mesos d'hivern està coberta de neu, amb una fluctuació de gairebé 25%. Les categories forestals (matollars i boscos) presenten uns albedos molt estables, exceptuant la categoria de bosc caducifoli en la qual la presència de neu en algunes zones de muntanya afecta les mitjanes dels mesos d'hivern. Les categories agrícoles (cultius) tenen un comportament més discontinu, fluctuant l'albedo en funció de l'estat fenològic dels diversos cultius que engloben aquestes categories. Finalment, les categories amb poca cobertura vegetal, com la urbana, la sabana i les zones ermes també presenten valors força estables, encara que augmenten a la primavera i l'estiu, fet que pot estar relacionat amb la major elevació solar en aquests mesos, efecte que no s'hauria eliminat del tot en el preprocessament.

La taula 4.8 presenta els resultats de NDVI per a les categories del USGS-24. El índex de vegetació NDVI expressa la quantitat de cobertura vegetal activa de cada categoria. Per interpretar el NDVI, es considera que per sota de 0,20 no hi ha vegetació, en el tram de 0,20 a 0,50 hi ha una barreja de vegetació i sòl nu en el senyal, i per sobre de 0,50 la cobertura de vegetació és del 100%.

Taula 4.8 Sèrie mensual i estacional de l'any 2000 de NDVI per a les categories del USGS-24

NDVI	G	F	M	HIV	A	M	J	PRI	J	A	S	EST	O	TAR
1. Urbà	0,17	0,20	0,17	0,18	0,22	0,23	0,20	0,22	0,22	0,19	0,19	0,20	0,18	0,18
2. Cultius Secà	0,28	0,31	0,29	0,29	0,35	0,39	0,32	0,35	0,34	0,29	0,27	0,30	0,26	0,26
3. Cultius Regadiu	0,20	0,23	0,23	0,22	0,27	0,31	0,32	0,30	0,39	0,35	0,32	0,35	0,25	0,25
5. M.Cultius+prats	0,16	0,20	0,18	0,18	0,16	0,29	0,44	0,29	0,50	0,43	0,39	0,44	0,32	0,32
6. M.Cultius+bosc	0,32	0,34	0,29	0,32	0,36	0,41	0,38	0,38	0,40	0,36	0,35	0,37	0,31	0,31
7. Prats	0,05	0,08	0,08	0,07	0,02	0,21	0,38	0,20	0,45	0,40	0,37	0,41	0,22	0,22
8. Matollar	0,21	0,21	0,16	0,19	0,18	0,20	0,14	0,18	0,17	0,15	0,15	0,15	0,13	0,13
9. M.Matollar+Prats	0,36	0,40	0,35	0,37	0,41	0,41	0,34	0,39	0,36	0,30	0,29	0,32	0,31	0,31
10. Sabana	0,39	0,52	0,38	0,43	0,42	0,42	0,44	0,43	0,47	0,39	0,42	0,42	0,43	0,43
11. Bosc caduc.	0,11	0,16	0,13	0,13	0,17	0,52	0,58	0,42	0,59	0,54	0,54	0,56	0,36	0,36
14. Bosc conif.	0,36	0,42	0,39	0,39	0,46	0,45	0,49	0,47	0,61	0,49	0,52	0,54	0,47	0,47
15. Bosc mixt	0,46	0,46	0,38	0,44	0,43	0,50	0,51	0,48	0,54	0,46	0,47	0,49	0,44	0,44
16. Aigua	-0,07	-0,09	-0,14	-0,10	-0,21	-0,15	-0,20	-0,19	-0,10	-0,13	-0,14	-0,12	-0,12	-0,12
19. Erm/Veg.escassa	0,37	0,45	0,32	0,38	0,37	0,38	0,39	0,38	0,42	0,35	0,37	0,38	0,39	0,39

A part de l'aigua, els mínims es donen quan hi ha presència de neu, com és el cas dels prats a l'hivern, amb valors per sota de 0,10 de gener a abril. Els màxims es donen a les categories forestals on la cobertura vegetal és elevada, i particularment en la categoria de bosc de planifolis de fulla caduca. Aquesta categoria presenta un rang elevat de variació al llarg del cicle, de gairebé 0,50, ja que la pèrdua de la fulla en els mesos freds fa variar molt el NDVI. Les categories agrícoles també presenten variacions anuals, segons els cicles fenològics dels cultius. La categoria urbana hauria de presentar valors per sota del límit de presència de vegetació (aproximadament 0,15) al llarg de tot l'any, però als mesos de primavera i estiu, es nota la presència de vegetació en aquesta categoria, ja que es detecta un lleuger augment. Finalment cal comentar que la categoria "erm i vegetació escassa" hauria de presentar valors més baixos i, per tant, sembla mal caracteritzada en la regió d'estudi pel mapa d'usos del sòl.

La taula 4.9 correspon als resultats d'emissivitat. Els resultats presenten certa similitud amb els de NDVI, ja que es calculen a partir d'aquests. Ara bé, les variacions d'emissivitat entre categories i entre mesos són menys acusades que en el NDVI, amb un mínim de 0,93 i un màxim de 0,99.

Taula 4.9. Sèrie mensual i estacional de l'any 2000 d'emissivitat per a les categories del USGS-24

Emissivitat	G	F	M	HIV	A	M	J	PRI	J	A	S	EST	O	TAR
1. Urbà	0,94	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,94	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
2. Cultius Secà	0,96	0,96	0,96	0,96	0,97	0,98	0,96	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95
3. Cultius Regadiu	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96
5. M.Cultius+prats	0,94	0,95	0,94	0,94	0,95	0,96	0,98	0,96	0,98	0,98	0,97	0,98	0,96	0,96
6. M.Cultius+bosc	0,97	0,97	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,97	0,96	0,96
7. Prats	0,97	0,96	0,96	0,96	0,98	0,95	0,97	0,97	0,98	0,98	0,97	0,98	0,96	0,96
8. Matollar	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,95	0,93	0,94	0,94	0,93	0,93	0,94	0,93	0,93
9. M.Matollar+Prats	0,97	0,98	0,97	0,97	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
10. Sabana	0,97	0,99	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
11. Bosc caduc.	0,96	0,97	0,95	0,96	0,96	0,98	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,97
14. Bosc conif.	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98
15. Bosc mixt	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,98	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
16. Aigua	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
19. Erm/Veg.escassa	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,98	0,97	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97

Els mínims corresponen a la categoria de matollar que també és la categoria que presenta els mínims als valors del USGS-24, encara que amb un valor més baix, de 0,88. El màxims es donen a les categories forestals, que al USGS-24 tenen uns valors d'emissivitat d'entre 0,93 i 0,95. Veiem doncs que els valors climàtics del USGS-24 tenen un major rang de variació (de 0,88 a 0,98), i uns valors al voltant de 0,5 punts per sota dels obtinguts.

La inèrcia tèrmica representa la resposta tèrmica de la superfície a un subministrament d'energia, en aquest cas per part del sol. Els valors més baixos corresponen a les superfícies que tenen una major variació de la temperatura superficial en resposta de la radiació solar incident. Aquests s'haurien de donar a les categories amb menys vegetació, ja que aquesta té un efecte inhibidor del canvi de temperatura superficial, ja que part de l'energia incident es transforma en el procés de fotosíntesi. La inèrcia tèrmica augmenta amb la cobertura i l'alçada de la vegetació. Per altra banda, la humitat del sòl juga un paper important, ja que la humitat fa augmentar ràpidament la inèrcia tèrmica¹⁵.

Si ens fixem en els valors de la taula 4.10, deixant de banda l'aigua, els valors màxims es donen en els boscos de frondoses, on es conjuga una alta humitat i una bona cobertura vegetal. Els valors bibliogràfics més baixos d'inèrcia tèrmica corresponen a la neu (0,004), però aquest fet no es reflexa en els valors calculats pels prats, coberts de neu de gener a abril. Només en el mes d'abril la P és menor que en els mesos d'estiu. Per altra banda els boscos de frondoses també estan coberts en part de neu a l'hivern, però en canvi els valors d'inèrcia tèrmica al gener i al febrer són dels més alts. Si bé el valor teòric de la neu correspon a neu fresca, la qual no és massa present a les imatges, sembla que els resultats de gener i febrer en aquests dues categories amb neu no són els esperats.

Taula 4.10. Sèrie mensual i estacional de l'any 2000 d'inèrcia tèrmica ($Wm^{-2}k^{-1}s^{1/2}$) per a les categories del USGS-24

Inèrcia Tèrmica	G	F	M	HIV	A	M	J	PRI	J	A	S	EST	O	TAR
1. Urbà	0,06	0,07	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,08	0,07	0,09	0,09
2. Cultius Secà	0,05	0,05	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07
3. Cultius Regadiu	0,06	0,07	0,04	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,09	0,09
5. M.Cultius+prats	0,08	0,08	0,06	0,07	0,08	0,09	0,08	0,08	0,10	0,07	0,08	0,08	0,13	0,13
6. M.Cultius+bosc	0,07	0,07	0,05	0,06	0,07	0,08	0,07	0,07	0,08	0,06	0,08	0,07	0,10	0,10
7. Prats	0,09	0,09	0,06	0,08	0,10	0,10	0,08	0,09	0,10	0,07	0,09	0,08	0,14	0,14
8. Matollar	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
9. M.Matollar+Prats	0,06	0,06	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09
10. Sabana	0,06	0,07	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,10	0,10
11. Bosc caduc.	0,17	0,14	0,08	0,13	0,09	0,11	0,09	0,09	0,11	0,08	0,14	0,11	0,17	0,17
14. Bosc conif.	0,07	0,08	0,05	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,10	0,07	0,09	0,09	0,08	0,08
15. Bosc mixt	0,06	0,08	0,06	0,07	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,07	0,09	0,09	0,12	0,12
16. Aigua	0,12	0,15	0,15	0,14	0,19	0,18	0,19	0,19	0,20	0,13	0,18	0,17	0,18	0,18
19.Erm/Veg.escassa	0,05	0,06	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,06	0,07	0,07	0,09	0,09

4.5.2.2. Resultats per al mapa d'usos del sòl CORINE

En el CORINE, l'elevat nombre de categories s'ha reduït agrupant les categories similars amb poca representació. Així, s'ha considerat una categoria urbana més genèrica que engloba les primeres 11 categories del CORINE. Les zones agroforestals (22), poc representades, s'han inclòs a les zones de

¹⁵ L'aigua és el material amb valors d'inèrcia tèrmica més elevats, degut a la seva calor específica elevada i a la seva conductivitat.

barreja d'agricultura i vegetació natural (21); s'ha fet una categoria més genèrica per a les categories d'aiguamolls i zones pantanoses (35), torberes (36), maresmes (37) i salines (38); i finalment s'ha fet el mateix amb les categories 40 a 43, que a nivell de teledetecció són el mateix ja que bàsicament són aigua. La categoria de glaceres i neu perenne (34) està molt poc representada als Pirineus, i s'ha comprovat que les poques neus perennes observades en les imatges de l'any 2000 no es corresponien a les localitzacions de la categoria del CORINE. Els resultats que es presenten s'han calculat sobre píxels seleccionats de neu perenne en les imatges i no sobre els que indicava el mapa d'usos del sòl.

La taula 4.11 presenta els resultats d'albedo per al CORINE.

Taula 4.11. Sèrie mensual i estacional de l'any 2000 d'albedo (%) per a les categories del CORINE

ALBEDO	G	F	M	HIV	A	M	J	PRI	J	A	S	EST	O	TAR
1-11 Urbà	15,0	15,0	20,2	16,8	19,8	21,1	20,3	20,4	18,3	18,8	16,4	17,8	18,4	18,4
12. Cultius secà	16,4	16,6	22,1	18,4	21,5	23,7	24,0	23,1	21,6	21,4	19,1	20,7	20,7	20,7
13. Cultius regadiu	17,5	17,3	24,3	19,7	23,5	23,1	23,2	23,2	20,9	21,1	19,5	20,5	20,5	20,5
14. Arrossars	13,5	14,4	19,3	15,7	16,2	15,3	16,9	16,1	17,8	17,5	15,6	17,0	14,4	14,4
15. Vinyes	15,4	16,6	23,5	18,5	22,6	23,1	23,3	23,0	20,2	21,3	18,3	19,9	19,2	19,2
16. Fruïters	14,3	14,6	20,5	16,5	20,1	20,3	19,8	20,1	17,3	18,2	15,9	17,1	17,3	17,3
17. Oliveres	13,5	14,1	19,9	15,8	20,1	20,0	20,5	20,2	17,0	17,8	16,5	17,1	17,7	17,7
18. Prats	14,6	14,4	19,0	16,0	17,5	21,0	20,3	19,6	18,1	17,8	15,5	17,1	19,0	19,0
19. C.Anuals+Perm.	16,0	16,0	23,5	18,5	24,7	21,7	21,7	22,7	20,2	22,6	18,4	20,4	20,5	20,5
20. Mosaic Cultius	15,1	15,7	21,5	17,4	20,5	22,7	22,2	21,8	19,4	19,7	17,4	18,8	19,3	19,3
21-22. M.Agric+Veg.Nat.	15,3	15,7	22,2	17,8	21,2	21,3	22,5	21,7	19,9	20,0	18,4	19,4	19,7	19,7
23. Bosc planifolis	13,4	12,7	17,1	14,4	15,7	18,4	18,8	17,6	16,8	17,1	14,4	16,1	16,0	16,0
24. Bosc coníferes	13,1	12,0	17,3	14,1	15,7	16,7	17,3	16,6	14,1	15,5	13,4	14,3	14,7	14,7
25. Bosc mixt	13,5	11,8	17,0	14,1	16,1	16,6	17,7	16,8	15,1	15,8	13,5	14,8	16,0	16,0
26. Pastures naturals	17,7	15,3	20,0	17,7	18,1	19,7	19,9	19,2	18,0	18,0	15,5	17,2	17,9	17,9
27. Landes+Matollar	14,5	14,4	19,0	16,0	17,2	18,5	20,1	18,6	16,6	17,7	14,8	16,4	17,1	17,1
28. Veget.Escleròfil·la	15,3	12,7	18,8	15,6	17,9	18,3	18,5	18,2	15,6	16,9	15,0	15,8	15,6	15,6
29. Matollar boscós	14,8	12,7	18,7	15,4	17,6	18,0	18,3	18,0	15,3	16,8	14,7	15,6	15,9	15,9
30. Platja, sorrals	14,1	14,1	22,0	16,8	16,7	19,7	19,3	18,6	16,3	18,2	16,9	17,1	15,5	15,5
31. Rocalla	16,2	15,2	20,4	17,3	21,1	14,9	26,3	20,8	18,2	20,8	17,6	18,9	19,7	19,7
32. Vegetació escassa	16,2	17,2	25,3	19,5	23,9	21,8	24,4	23,4	20,8	22,2	20,1	21,1	20,6	20,6
33. Zones cremades	11,3	11,7	17,0	13,3	15,8	16,5	17,2	16,5	14,2	14,5	12,9	13,8	14,5	14,5
34. Neus permanents	50,1	54,8	49,1	51,3	50,2	48,0	45,7	48,0	41,2	41,2	42,2	41,5	68,6	68,6
35-39.Aiguamolls	13,1	13,3	17,7	14,7	14,6	15,6	15,8	15,3	14,8	16,5	15,1	15,5	14,7	14,7
40-44.Aigua	7,9	6,4	9,2	7,8	7,5	8,0	7,1	7,5	7,2	8,5	7,3	7,7	8,7	8,7

Els valors d'albedo per a les categories del CORINE es mouen entre valors mínims de les categories d'aigua i els màxims de la neu. Així com el USGS-24 no situa neus perennes als Pirineus, sembla que aquesta si que hi és present, com demostren els albedos de la categoria 34, que romanen per sobre del 40% durant tot l'any. El màxim es dona a l'octubre. Els valors bibliogràfics d'albedo de neu del USGS-24 oscil·len entre el 55% de l'estiu al 70% de l'hivern. Aquest últim valor és molt elevat i correspon a neu nova, mentre que en els mesos on no neva, la neu permanent s'embruta i perd albedo. Segons els resultats de la taula 4.11, la neu de la imatge d'octubre s'apropa als valors de neu nova, mentre que la neu de la resta de mesos té valors de neu bruta. La neu afecta bàsicament tres categories del CORINE, la de pastures naturals, la rocalla i els espais amb vegetació escassa. En aquestes categories s'ha separat les mostres amb neu de les que no en tenen a l'hivern, i s'han calculat els resultats d'ambdós subgrups, que es presenten a la taula 4.12. Els resultats que es presenten per als diferents paràmetres per al CORINE

(taules 4.11, 4.13, 4.14 i 4.15) presenten els resultats de la zona que no té neu. A l'hora d'introduir els paràmetres al model MM5, calen paràmetres sense neu, ja que la presència de neu es tracta amb una màscara dins del model.

Taula 4.12. Sèrie mensual i estacional de l'any 2000 d'albedo per a les categories 26, 31 i 32 del CORINE, considerant les subcategories amb i sense presència de neu

ALBEDO		G	F	M	HIV	A	M	J	PRI	J	A	S	EST	O	TAR
26. Pastures naturals		17,7	15,3	20,0	17,7	18,1	19,7	19,9	19,2	18,0	18,0	15,5	17,2	17,9	17,9
26. Pastures naturals	NEU	38,8	34,5	36,2	36,3	40,1	27,7	22,9	30,3	17,7	17,1	15,8	16,9	26,2	26,2
31. Rocalla		16,2	15,2	20,4	17,3	21,1	14,9	26,3	20,8	18,2	20,8	17,6	18,9	19,7	19,7
31. Rocalla	NEU	38,8	44,3	41,9	41,6	47,9	33,0	25,8	35,6	18,2	17,6	16,7	17,5	34,3	34,3
32. Vegetació escassa		16,2	17,2	25,3	19,5	23,9	21,8	24,4	23,4	20,8	22,2	20,1	21,1	20,6	20,6
32. Vegetació escassa	NEU	43,3	43,7	41,7	42,9	47,1	30,8	23,1	33,7	18,8	17,9	17,4	18,1	32,5	32,5

S'observa a la taula 4.12 com la neu afecta a les categories amb presència als Pirineus des del mes d'octubre fins a l'abril, i fins i tot al maig, mes en el que encara hi ha extensions considerables de neu als Pirineus.

A la taula 4.13 es presenten els valors de NDVI per a les categories del CORINE. Com ja passava amb les categories del USGS-24, les teòricament invariants com la urbana o els espais amb vegetació escassa presenten una certa estacionalitat, amb valors superiors a la primavera i a l'estiu, que denoten la presència de vegetació en les categories.

Taula 4.13. Sèrie mensual i estacional de l'any 2000 de NDVI per a les categories del CORINE

NDVI	G	F	M	HIV	A	M	J	PRI	J	A	S	EST	O	TAR
1-11 Urbà	0,22	0,24	0,21	0,22	0,26	0,27	0,24	0,26	0,26	0,23	0,22	0,24	0,21	0,21
12. Cultius secà	0,24	0,29	0,31	0,28	0,39	0,42	0,30	0,37	0,33	0,29	0,25	0,29	0,21	0,21
13. Cultius regadiu	0,23	0,27	0,25	0,25	0,31	0,34	0,30	0,32	0,35	0,31	0,29	0,32	0,25	0,25
14. Arrossars	0,15	0,17	0,11	0,14	0,09	0,10	0,42	0,20	0,61	0,43	0,27	0,44	0,18	0,18
15. Vinyes	0,26	0,25	0,22	0,24	0,26	0,28	0,27	0,27	0,30	0,25	0,25	0,27	0,26	0,26
16. Fruïters	0,33	0,36	0,28	0,32	0,33	0,31	0,28	0,31	0,31	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29
17. Oliveres	0,35	0,36	0,27	0,33	0,30	0,29	0,25	0,28	0,29	0,24	0,24	0,25	0,26	0,26
18. Prats	0,37	0,41	0,40	0,39	0,50	0,57	0,56	0,54	0,59	0,54	0,52	0,55	0,44	0,44
19. C. Anuals+Perm.	0,32	0,40	0,31	0,34	0,33	0,24	0,18	0,25	0,18	0,15	0,16	0,17	0,17	0,17
20. Mosaic Cultius	0,31	0,34	0,32	0,32	0,40	0,41	0,36	0,39	0,40	0,35	0,34	0,36	0,30	0,30
21-22 M. Agr.+V. Nat.	0,28	0,31	0,26	0,28	0,31	0,35	0,26	0,31	0,27	0,24	0,24	0,25	0,23	0,23
23. Bosc planifolis	0,35	0,40	0,35	0,37	0,43	0,55	0,56	0,51	0,56	0,49	0,49	0,52	0,43	0,43
24. Bosc coníferes	0,38	0,43	0,34	0,38	0,38	0,40	0,41	0,39	0,45	0,37	0,39	0,40	0,37	0,37
25. Bosc mixt	0,36	0,43	0,34	0,38	0,38	0,52	0,52	0,47	0,54	0,47	0,48	0,50	0,41	0,41
26. Pastures naturals	0,20	0,27	0,24	0,24	0,28	0,43	0,50	0,40	0,50	0,44	0,43	0,46	0,35	0,35
27. Landes+Matollar	0,35	0,37	0,33	0,35	0,36	0,49	0,54	0,46	0,56	0,47	0,47	0,50	0,43	0,43
28. Veget. Escleróf.	0,31	0,38	0,28	0,32	0,31	0,34	0,32	0,32	0,33	0,27	0,28	0,30	0,28	0,28
29. Matollar boscos	0,33	0,39	0,29	0,34	0,33	0,36	0,35	0,34	0,37	0,30	0,32	0,33	0,32	0,32
30. Platja, sorrals	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12	0,18	0,16	0,15	0,18	0,13	0,12	0,14	0,07	0,07
31. Rocalla	0,05	0,12	0,11	0,10	0,01	0,30	0,47	0,26	0,46	0,42	0,38	0,42	0,29	0,29
32. Veget. escassa	0,23	0,25	0,18	0,22	0,21	0,25	0,25	0,24	0,26	0,23	0,23	0,24	0,21	0,21
33. Zones cremades	0,38	0,39	0,30	0,36	0,37	0,38	0,35	0,37	0,38	0,31	0,31	0,33	0,32	0,32
34. Neus permanents	-0,05	-0,04	-0,05	-0,04	-0,06	-0,01	0,05	-0,01	0,23	0,18	0,20	0,20	0,15	0,15
35-39. Aiguamolls	0,17	0,18	0,16	0,17	0,18	0,27	0,24	0,23	0,28	0,21	0,20	0,23	0,20	0,20
40-44. Aigua	-0,07	-0,09	-0,14	-0,10	-0,21	-0,15	-0,20	-0,19	-0,10	-0,13	-0,14	-0,12	-0,12	-0,12

El NDVI de la categoria urbana és superior al de la categoria equivalent en el USGS-24. Això es deu a la definició més ampla de la categoria, que fa que la seva extensió sigui major i estigui incorporant més vegetació residual. De les categories agrícoles, l'única que té una marcada pauta fenològica és la categoria dels arrossars, localitzada bàsicament al delta de l'Ebre. El característic cicle fenològic de l'arròs, amb períodes on els camps estan inundats, afavoreix un marcat canvi en el NDVI entre els mesos d'estiu i els d'hivern. La categoria de zones cremades presenta un comportament molt similar a les categories de matollar i bosc, fet que posa en dubte que representi incendis recents. La categoria de rocalla, bàsicament localitzada als Pirineus, sembla ben caracteritzada ja que presenta uns valors per sota del límit de la presència de vegetació (NDVI de 0,15).

La taula 4.14 presenta les emissivitats per a les categories del CORINE. Els mínims corresponen a la categoria dels arrossars en els mesos d'abril i maig, quan aquests estan inundats i presenten un NDVI molt baix. A part dels arrossars, les categories amb menor emissivitat són les que menys vegetació tenen, com la urbana o els sorrals. A part de la categoria de neu permanent, els màxims corresponen a categories forestals on els valors són força constants al llarg del cicle anual. Les màximes variacions es donen a les categories agrícoles, com els arrossars o els cultius anuals, mentre que les variacions al llarg de l'any són mínimes en les categories forestals i a la categoria urbana.

Taula 4.14. Sèrie mensual i estacional de l'any 2000 d'emissivitat per a les categories del CORINE

Emissivitat	G	F	M	HIV	A	M	J	PRI	J	A	S	EST	O	TAR
1-11 Urbà	0,95	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,95	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
12. Cultius secà	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97	0,98	0,96	0,97	0,96	0,96	0,95	0,96	0,95	0,95
13. Cultius regadiu	0,95	0,96	0,95	0,95	0,96	0,97	0,96	0,96	0,97	0,96	0,96	0,97	0,96	0,96
14. Arrossars	0,93	0,93	0,92	0,93	0,94	0,92	0,98	0,95	0,99	0,98	0,96	0,97	0,94	0,94
15. Vinyes	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,96	0,95	0,95
16. Fruiters	0,97	0,97	0,96	0,96	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
17. Oliveres	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
18. Prats	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98
19. C.Anuals+Perm.	0,97	0,98	0,97	0,97	0,97	0,95	0,94	0,95	0,94	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94
20. Mosaic Cultius	0,96	0,97	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,97	0,96	0,96
21-22 M.Agric+Veg.Nat.	0,96	0,96	0,95	0,96	0,96	0,97	0,95	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
23. Bosc planifolis	0,97	0,98	0,97	0,97	0,98	0,99	0,99	0,98	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
24. Bosc coníferes	0,97	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
25. Bosc mixt	0,97	0,98	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,98	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
26. Pastures naturals	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
27. Landes+Matollar	0,97	0,98	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,98	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
28. Veget.Escleròfil-la	0,96	0,97	0,96	0,96	0,96	0,97	0,96	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
29. Matollar boscós	0,97	0,97	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
30. Platja, sorrals	0,94	0,95	0,94	0,94	0,96	0,95	0,97	0,96	0,96	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96
31. Rocalla	0,96	0,97	0,97	0,97	0,96	0,97	0,98	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97
32. Vegetació escassa	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,98	0,97	0,98	0,98	0,97	0,97
33. Zones cremades	0,97	0,97	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
34. Neus permanents	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	0,97	0,97	0,95	0,96	0,96	0,96
35-39.Aiguamolls	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,96	0,96	0,95	0,95
40-44.Aigua	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98

Finalment, la taula 4.15 presenta els valors d'inèrcia tèrmica per a les categories del CORINE. A part de les característiques de la inèrcia tèrmica en funció de la cobertura del sòl, es pot observar com les variacions d'inèrcia tèrmica sembla que segueixen també un patró de variació mensual en el conjunt de categories. En la majoria de categories el mínim es dona al març, amb valors que augmenten progressivament fins a l'octubre. La manca de dades pel novembre i el desembre no permeten veure on es produeix la inflexió de baixada, fins als mínims del març. Aquest efecte, que es tracta amb més detall en el capítol següent, sembla relacionat amb una dependència de la inèrcia respecte d'altres factors com són l'altitud i la distància al mar, a part de la cobertura vegetal i la humitat de la superfície.

Taula 4.15. Sèrie mensual i estacional de l'any 2000 d'inèrcia tèrmica ($Wm^{-2}k^{-1}s^{1/2}$) per a les categories del CORINE

Inèrcia Tèrmica	G	F	M	HIV	A	M	J	PRI	J	A	S	EST	O	TAR
1-11 Urbà	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08
12. Cultius secà	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06
13. Cultius regadiu	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06
14. Arrossars	0,05	0,07	0,06	0,06	0,06	0,09	0,10	0,08	0,12	0,09	0,08	0,10	0,07	0,07
15. Vinyes	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07
16. Fruïters	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08
17. Oliveres	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07
18. Prats	0,07	0,08	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,07	0,09	0,07	0,08	0,08	0,10	0,10
19. C.Anuals+Perm.	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,09	0,09
20. Mosaic Cultius	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07
21-22 M.Agr.+V.Nat.	0,05	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,07	0,07
23. Bosc planifolis	0,07	0,08	0,05	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,11	0,11
24. Bosc coníferes	0,06	0,06	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08
25. Bosc mixt	0,06	0,07	0,06	0,06	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09	0,07	0,08	0,08	0,10	0,10
26.Pastures naturals	0,06	0,07	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,10	0,10
27. Landes+Matollar	0,06	0,07	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,07	0,08	0,08	0,12	0,12
28.Veget.Escleròfil-la	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07
29. Matollar boscós	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,08	0,08
30. Platja, sorrals	0,07	0,08	0,05	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08
31. Rocalla	0,06	0,07	0,05	0,06	0,10	0,07	0,06	0,08	0,09	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07
32. Veget. escassa	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
33. Zones cremades	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07
34.Neus permanents	0,14	0,09	0,05	0,09	0,08	0,07	0,09	0,08	0,07	0,07	0,08	0,07	0,13	0,13
35-39.Aiguamolls	0,07	0,07	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,11	0,11
40-44.Aigua	0,12	0,15	0,15	0,14	0,19	0,18	0,19	0,19	0,20	0,13	0,18	0,17	0,18	0,18

