

The background of the entire page is a faded, high-resolution aerial photograph of a city, likely Barcelona, showing a dense grid of streets and buildings. The text is overlaid on this background in a dark blue color.

Màster Producció Cartogràfica i Sistemes d'Informació Geogràfica
Facultat de Geografia i Història
Universitat de Barcelona

Projecte de Màster

**Derivació de geoinformació
temàtica mitjançant simulació
d'imatgeria de la iniciativa
MediMap**

Curs 2008 - 09

Lucas Martínez i Rodrigo
UB – Universitat de Barcelona
ICC - Institut Cartogràfic de Catalunya

Tutor: Oscar Miralles i Ruich
SITEM S.L.

Màster Producció Cartogràfica i Sistemes d'Informació Geogràfica
Facultat de Geografia i Història
Universitat de Barcelona



Derivació de geoinformació temàtica mitjançant simulació d'imatgeria de la iniciativa MediMap

Curs 2008 - 09

**Lucas Martínez i Rodrigo
UB – Universitat de Barcelona
ICC - Institut Cartogràfic de Catalunya**

**Tutor: Oscar Miralles i Ruich
SITEM S.L.**

Agraïments

Vull agrair molt sincerament la col·laboració de totes les persones que han fet possible que aquest projecte arribi a bon port.

A Oscar Miralles primer, per la seva direcció i per empentar-me cap a l'objectiu, i en segon lloc, al Dr. Jordi Corbera segon pel seu suport tècnic des de la direcció del Programa Català d'Observació de la Terra - PCOT.

A Jaume Miranda com a Director del Institut Cartogràfic de Catalunya en representació de tot el personal del mateix pel suport al Màster i al meu treball.

A la meva dona Ana per la seva comprensió pel tems robats amb els estudis.

Per últim que no menys important al director del Màster Dr. Josep Maria Rabella, i els sots-directors Ernest Ruiz i Dra. Montserrat Salvà en representació del professorat, assessors i especialistes per acompanyar-nos en aquest projecte.

Resum

Resum

Aquest Projecte de Màster té dos objectius. Primer analitzar l'efecte de l'atmosfera en la proposta MediMap de petit satèl·lit per teledetecció passiva a l'espectre solar. Segon comparar aquesta proposta amb els petits satèl·lits SeoSat i Deimos en l'obtenció de informació temàtica. Per fer-ho es desenvolupa una base de dades de transferència radiativa a l'atmosfera que s'aplica a espectres que representen les cobertes d'usos del sòl segons la extensió de les cobertes per a diverses comarques de Catalunya. Els valors de canal s'obtenen amb funcions de resposta espectral calculades a partir de les especificacions tècniques dels sensors. Del seu anàlisi es desprèn que el comportament radiomètric d'un territori està fortament lligat als tipus i extensió de les cobertes que el conformen, succeint que comarques ben diferenciades es comporten radiativament de forma idèntica per determinades regions espectrals. Per últim al comparar les capacitats temàtiques i d'aplicació de les tres propostes, MediMap es presenta com molt més complerta que les de Deimos i SeoSat per la seva combinació de resolució espectral i espacial.

Resumen

Este Proyecto de Máster tiene dos objetivos. Primero analizar el efecto de la atmósfera en la propuesta MediMap de minisatélite para teledetección pasiva en el espectro solar. Segundo comparar esta propuesta con los pequeños satélites SeoSat y Deimos en la obtención de información temática. Para hacerlo se desarrolla una base de datos de transferencia radiativa en la atmósfera que se aplica a espectros que representan las cubiertas de usos del suelo atendiendo a la extensión de las cubiertas para diversas comarcas de Cataluña. Los valores de canal se obtienen con funciones de respuesta espectral calculadas a partir de las especificaciones técnicas de los sensores. De su análisis se desprende que el comportamiento radiométrico de un territorio está fuertemente ligado a los tipos y extensión de las cubiertas que lo conforman. Se observa que comarcas muy diferentes se comportan radiativamente de forma idéntica para determinadas regiones espectrales. Por último al comparar las capacidades temáticas y de aplicación de las tres propuestas, MediMap se presenta como mucho más completa que las de Deimos y SeoSat por su combinación de resolución espectral y espacial.

Abstract

This Master Project has two objectives. First one is to analyse the atmospheric effect in MediMap proposal. MediMap is a small satellite for solar spectrum passive remote sensing. Second one is to compare MediMap proposal with other small satellites, such as SeoSat and Deimos, to derive thematic information. An atmospheric radiative transfer database is developed and applied to a set of spectra from spectral libraries. These spectra are selected to represent the different land use covers and they are weighted with their extension on several Catalanian areas. Band values are computed by using spectral sensitivity functions estimated from the sensors' technical specifications. Data examination yields that radiometric behaviour of these areas is strongly related to the kind and extension of their covers. However, different areas show a similar radiometric behaviour in some spectral regions. Finally, the comparison of thematic and application capabilities of the three proposals shows that MediMap conforms to a more complete solution than the others, mainly because of its spectral and spatial resolutions.

Índex

1. Introducció	
1.1 Programa Català d'Observació de la Terra	Pàg. 4
1.2 Mini i Petits satèl·lits al nostre entorn geogràfic	Pàg. 4
1.3 Efecte atmosfèric a l'espectre solar	Pàg. 5
1.4 Informació temàtica amb teledetecció	Pàg. 5
1.5 Marc d'aquest Projecte de Màster	Pàg. 5
2. Metodologia	
2.1 Base de dades de transferència radiativa	Pàg. 6
2.2 Base de dades d'espectres de cobertes	Pàg. 6
2.3 Transformació d'espectres a dades de canal	Pàg. 7
2.4 Generació d'imatgeria a partir d'imatgeria hiperespectral	Pàg. 7
2.5 Obtenció de dades i informació temàtica	Pàg. 7
3. Dades i Àrea de Treball	
3.1 Mapa de usos del sòl, comarques i ortofotomapa	Pàg. 8
3.2 Resolució espectral dels sensors	Pàg. 8
3.3 Espectres sintètics de biblioteca	Pàg. 8
3.4 Imatge CASI per la simulació d'imatgeria multiespectral	Pàg.10
4. Resultats	
4.1 Funcions de resposta espectral dels sensors	Pàg.11
4.2 Efecte de l'atmosfera pels espectres associats als usos del sòl	Pàg.12
4.3 Efecte de l'atmosfera al territori de Catalunya	Pàg.13
4.4 Classificació d'imatges simulades MediMap, SeoSat i Deimos	Pàg.15
4.5 Derivació d'informació d'aigües i vegetació	Pàg.17
5. Conclusions	Pàg.21
6. Perspectives obertes	Pàg.22
7. Referències	Pàg.23

1.Introducció

1.1 Programa Català d'Observació de la Terra

El Programa Català d'Observació de la Terra (PCOT) és una estratègia per impulsar les activitats, productes i serveis en Observació de la Terra a la societat. Els seus objectius passen, entre d'altres, per promoure l'interès de Catalunya en el disseny, desenvolupament i operació d'instrumentació i plataformes d'Observació de la Terra, col·laborar i participar en projectes d'altres agències d'arreu del món, permetre als usuaris l'accés a la informació d'observació de la Terra i potenciar el coneixement i el desenvolupament per tal de transformar la informació en coneixement.

El programa Català d'Observació de la Terra, determina un escenari d'oportunitats per desenvolupar aquesta estratègia amb garanties d'èxit en el nou context dels petits satèl·lits d'òrbita baixa. En els petits satèl·lits el segment espacial està format per una plataforma i els sensors o instruments per portar a terme la seva funció amb una massa inferior als 1000 kg i una concepció general de "low cost".

1.2 Mini i Petits satèl·lits al nostre entorn geogràfic

En l'actualitat hi ha tres missions basades en el concepte de petits o mini satèl·lit per part d'empreses o entitats espanyoles amb instruments de teledetecció passiva a l'espectre solar:

Deimos-1 és un satèl·lit actualment en construcció per Deimos Imaging amb una massa prevista de 100 kg i les següents característiques:

- 3 bandes Verda, Vermella i Infraroig proper.
- Resolució espacial de 22 m.
- Amplitud de camp 600 km.

La capacitat del sistema és 3 milions de km² per dia, obtenint una cobertura setmanal de la Península Ibèrica, o una sencera d'Europa cada dos setmanes.

SEOSAT/Ingenio és un projecte del Programa Nacional de Observación de la Tierra amb una massa prevista de 730 kg i les següents característiques:

- 4 bandes Blava, Verda, Vermella i Infraroig proper.
- Resolució espacial de 10 m.
- Amplitud de camp 30 km.

La capacitat del sistema permet obtenir una cobertura de España cada 40 dies.

MediMap és un projecte del Programa Català d'Observació de la Terra, amb una massa prevista de 175 kg, amb les següents característiques:

- Entre 4 i 8 bandes al Visible i Infraroig proper.
- Resolució espacial entre 5 i 10 m.
- Amplitud de camp entre 30 i 70 km.

1.3 Efecte atmosfèric a l'espectre solar

Els sensors de teledetecció a l'espectre solar mesuren bàsicament la radiació del Sol reflexada per sistema superfície-atmosfera, donat que en el rang espectral d'aquests sensors les emissions tèrmiques de la Terra són menyspreables. Aquestes imatges presenten diverses distorsions geomètriques i radiomètriques. Les distorsions radiomètriques afecten a l'obtenció de paràmetres físics realistes i consistents, realitzar estudis multitemporals o treballar amb imatges de diversos sensors.

La radiació mesurada pel sensor depèn de la reflectivitat de la superfície observada i de la geometria d'il·luminació. Aquesta mesura està pertorbada per dos fenòmens atmosfèrics: la absorció gasosa, i la dispersió per molècules gasoses i aerosols, denominades dispersió de Rayleigh i Mie, respectivament. La absorció és una interacció inelàstica de caràcter discret amb la longitud d'ona. La dispersió és una interacció elàstica de caràcter continu amb la longitud d'ona, que modifica la direcció de propagació de la radiació electromagnètica. D'aquesta manera es genera l'efecte d'adjacència pel que la mesura radiomètrica d'un píxel es veu contaminada per la radiació que es propaga des dels píxels propers.

Atenent el descrit el tipus d'efecte atmosfèric depèn principalment de la longitud d'ona en la que es realitza la mesura per part del sensor de teledetecció, mentre que la intensitat dels diversos efectes atmosfèrics depèn tant de les condicions geomètriques d'il·luminació i observació, que incrementa el camí òptic del senyal per l'atmosfera, com dels paràmetres que defineixen l'estat de l'atmosfera a efectes radiatius que són els perfils de gasos i temperatures, els tipus d'aerosols presents i la càrrega total d'aerosols.

1.4 Informació temàtica amb teledetecció

Les imatges de teledetecció són un excel·lent instrument per la derivació d'informació temàtica per a diversos escenaris com el planejament del territori, l'agricultura, els riscos, l'aigua, la gestió forestal etc.

La capacitat dels sensors d'obtenir aquest tipus d'informació depèn principalment de les seves característiques radiomètriques pel nombre i ubicació de les seves bandes i de les seves característiques espacials per la mida dels píxels que captura.

1.5 Marc d'aquest Projecte de Màster

Aquest Projecte de Màster es centra en dos objectius

1er. Analitzar l'efecte de l'atmosfera al sensor MediMap i el seu impacte al territori de Catalunya.

2ón. Generar imatgeria simulada Deimos, SeoSat i MediMap per comparar la seva capacitat de derivar informació temàtica per classificació, anàlisi d'aigua i vegetació.

2. Metodologia

2.1 Base de dades de transferència radiativa

Mitjançant el codi de transferència radiativa "Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum" (6S) es realitza la simulació de l'efecte de l'atmosfera generant uns paràmetres que ens permetin aplicar-ho a quants espectres es desitgi. La simulació es realitza a màxima resolució espectral del codi (2,5 nm). Els paràmetres geomètrics han estat fixat a condicions estàndards, mentre que els paràmetres triats com a lliures són el tipus d'atmosfera i el tipus i càrrega d'aerosol (Taula 2.1.1).

Paràmetre	Valors
Atmosfera	Tropical Lat. Mitja Estiu Lat. Mitja Hivern Subàrtic Estiu Subàrtic Hivern
Model aerosol	Continental Marítim Urbà
Càrrega d'aerosols (Vis relativa a AOT)	7'5, 15, 30, 60, 120 km

Taula 2.1.1. Paràmetres lliures per les simulacions de transferència radiativa.

D'aquesta manera tenim l'eina per analitzar com les diverses condicions que es poden donar a l'atmosfera poden afectar el senyal acabat de reflexar a una coberta, tal com el veiem nosaltres des de prop quan arribi al sensor de teledetecció que està més enllà del final de l'atmosfera.

2.2 Base de dades d'espectres de cobertes

Cada coberta i material es caracteritza per les seves propietats reflectives que la distingeixen de les altres i genera efectes perceptibles pels sistemes de visualització com el color.

Com que l'objectiu del treball és l'anàlisi de l'efecte de l'atmosfera a les diverses bandes d'un sensor al territori de Catalunya, els espectres a analitzar seran els assignats a les cobertes del mapa d'usos del sòl. D'aquesta manera es podrà analitzar cada coberta per separat i també la seva distribució territorial com zones urbanes, zones muntanyenques i zones agrícoles mitjançant les eines SIG.

Els espectres de reflectivitat necessaris per realitzar aquesta tasca provenen de biblioteques espectrals de lliure accés com la ASTER Spectral Library, del Jet Propulsion Laboratory de NASA.

2.3 Transformació d'espectres a dades de canal

Un cop creuades la base de dades de transferència radiativa i la base de dades d'espectres de cobertes cal transformar des d'espectres fins a dades per a cada canal. Per realitzar-ho es fan servir les funcions de sensibilitat espectral per cada canal del sensor.

Aquestes funcions es mesuren generalment a un sensor just abans del seu llançament a l'espai i per tant no disposarem de les dades reals. Per aquest motiu es definiran unes sensibilitats espectrals per cada canal basades en les especificacions tècniques dels sensors que ens aproximaran bastant bé a les reals, donat que els possibles efectes d'absorció discreta a l'atmosfera (bandes d'absorció) són en general bastant més estretes que els canals del sensor.

Així, es podrà analitzar l'efecte de l'atmosfera a les diverses cobertes típiques de Catalunya com també l'efecte de la seva distribució a diverses part del territori, amb les eines del SIG Miramon.

2.4 Generació d'imatgeria a partir d'imatgeria hiperespectral

Per analitzar la capacitat de la imatgeria de la proposta MediMap per obtenir informació temàtica i comparar-la amb la dels altres petits satèl·lits objecte d'aquest Projecte és necessari disposar d'imatges que són evidentment impossibles d'obtenir pel fet que no són encara sensors operatius.

Com a alternativa es proposa fer servir imatges del sensor hiperespectral Compact Airborne Spectral Imager (CASI) del Institut Cartogràfic de Catalunya. Aquestes imatges hiperespectrals es poden transformar de la mateixa manera que fem amb els espectres, amb l'ajuda de la funció de resposta espectral de cada banda del sensor.

2.5 Obtenció de dades i informació temàtica

Un dels productes temàtics que es poden derivar de les imatges multiespectrals com les generades pels sensors analitzats en aquest Projecte és la classificació. Per realitzar la classificació es fa servir el mètode de classificació no supervisada d'una imatge amb el mètode IsoData del SIG Miramon. Amb els resultats s'intentarà agrupar les classes obtingudes per verificar que les cobertes diferents no quedin dintre d'una mateixa classe.

Per altres aplicacions com la discriminació d'espècies vegetals i estudis de contaminació de l'aigua per matèria en suspensió són interessants les bandes situades al red-edge i el blau, respectivament. Amb aquestes informacions es realitzaran composicions en fals color per analitzar la capacitat del sistema per tractar aquest àmbits.

3. Dades i Àrea de Treball

3.1 Mapa de usos del sòl, comarques i ortofotomapa

El mapa d'usos del sòl que es fa servir al Projecte és la base Classificació dels usos del sòl a Catalunya 2002, obtinguda de la Web del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya en format Miramon. Una classificació de l'any 2002 en 22 categories i que es lliura en dades ràster de píxel de 30m. La base de referència és imatge Landsat-TM.

Com a complement i per fer seleccions geogràfiques es fa servir la Base Geogràfica de l'organització territorial de Catalunya en comarques, obtinguda de la Web del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya en format Miramon. La base es recolza a la Base municipal 1:250 000 de Catalunya, versió 3.3 – ICC i que es lliura en dades vectorials de tipus vector estructurat.

Per últim s'ha obtingut un Ortofotomapa 1:25000 de la zona de Banyoles Full 7623 de juny de 2006 de la web del Institut Cartogràfic de Catalunya. Aquest ortofotomapa està generat aplicant tècniques de rectificació digital d'imatges a partir de la base de dades d'elevacions de Catalunya i que es lliura en format MrSid.

3.2 Resolució espectral dels sensors

Com s'ha comentat als apartats anteriors les respostes espectrals per cada canal no es poden obtenir fins que el sensor està preparat per ser enviat a l'òrbita terrestre. Per aquest motiu el que tenim són límits més o menys aproximats de la ubicació d'aquestes bandes (Taula 3.2.1).

	Límits espectrals en nm							
	440-460	440-510	520-540	520-590	620-680	690-730	760-840	850-890
MediMap	B6	B1	B8	B2	B3	B4	B7	B5
SeoSat	-	B1	-	B2	B3	-	B4	
Deimos	-	B1	-	B2	B3	-	-	-

Taula 3.2.1 Relació de bandes i regions espectrals presents als sensors MediMap, SeoSat i Deimos.

Per simplicitat i sense pèrdua de fidelitat es fa la hipòtesi de que les bandes situades a les mateixes regions espectrals són iguals per tots els satèl·lits analitzats, de manera que generant una imatge amb el de més bandes podem obtenir la resta seleccionant només les bandes presents al sensor en concret.

3.3 Espectres sintètics de biblioteca

Malauradament el nombre de mostres diferents que es pot trobar a les biblioteques d'espectres és bastant limitat de manera que les diverses categories del Mapa d'usos del sòl es representaran per espectres semblants des del punt de vista radiomètric o per combinació dels que estiguin disponibles (Taula 3.3.1 i Figura 3.3.1). Tot i que des del punt de vista biològic els conreus de secà i de regadiu són molt diferents els podem representar en bona aproximació amb el mateix espectre, com també passa en el cas dels boscos, etc.

Valor	Categoria	Espectres de biblioteca
2	Aigua continental	TapWater
3	Aigua marina	SeaWater
4	Congestes	Coarse Granular Snow
5	Infraestructures viàries	Construction Asphalt
6	Urbanitzacions	Cement Cinderblock
7	Nuclis urbans	Reddish Asphalt roofing shingle
8	Zones industrials i comercials	Cement Cinderblock
9	Conreus herbacis de secà	50%Grass + 50%DryGrass
10	Conreus herbacis de regadiu	50%Grass + 50%DryGrass
11	Fruiters de secà	50%Grass + 50%DryGrass
12	Fruiters de regadiu	50%Grass + 50%DryGrass
13	Vinya	50%Grass + 50%DryGrass
14	Prats supraforestals	50%Grass + 50%DryGrass
15	Bosquines i prats	Deciduous
16	Bosc d'escleròfil·les	Deciduous
17	Bosc de caducifolis	Deciduous
18	Bosc d'aciculifolis	Deciduous
19	Vegetació de zones humides	Grass
20	Sòl amb vegetació nul·la	DryGrass
21	Zones cremades	DryGrass
22	Sorrals i platges	Light yellowish brown loamy sand

Taula 3.3.1 Relació d'espectres de biblioteca per representar les classes del mapa d'usos del sòl.

Exemple d'espectres de llibreria

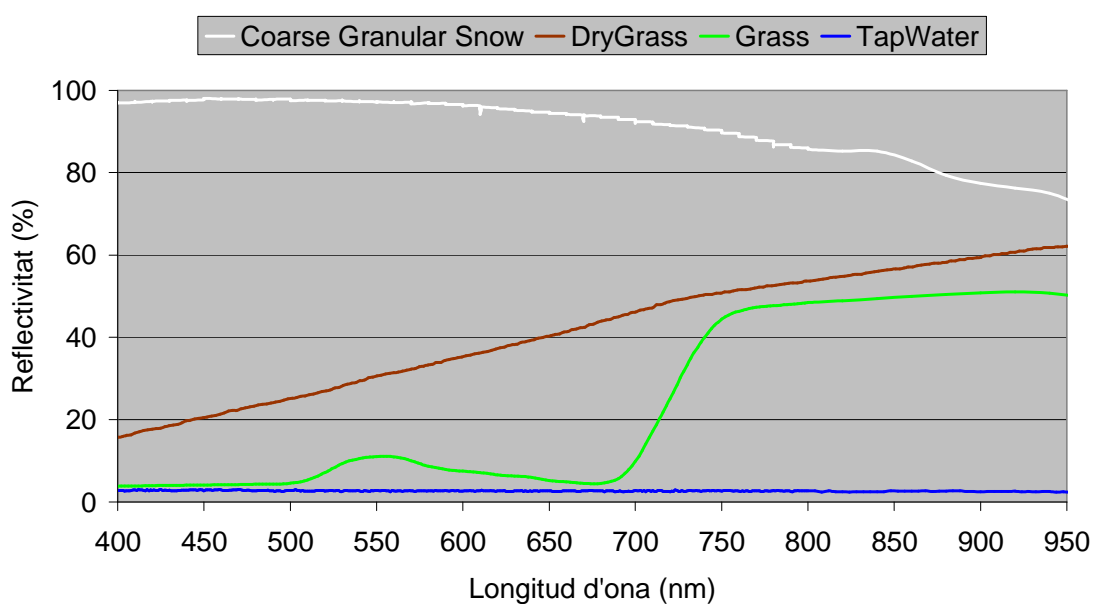


Figura 3.3.1 Exemple d'espectres de biblioteca per representar les classes del mapa d'usos del sòl.

3.4 Imatge CASI per la simulació d'imatgeria multiespectral

En aquest cas es fa servir una imatge CASI per poder simular imatges dels sensors MediMap, GeoSat i Deimos. Es tracta d'una imatge de l'àrea de Banyoles obtinguda al juliol de 2005, des de 4000 m respecte al terra (Figura 3.4.1). És hiperspectral de 144 bandes al visible i infraroig proper, píxel de 6m i amplitud de camp de 3000 m aproximadament. Està orientada i la seva rectificació es va realitzar per veí més proper per mantenir la puresa radiomètrica tant com fos possible.



Figura 3.4.1 Imatge CASI de l'àrea de Banyoles obtinguda al juliol de 2005, des de 4000 m respecte al terra. Mida de píxel 6 m. Nombre de bandes 144 entre 400 i 900 nm aproximadament. Rectificació a veí més proper. Composició RGB fals color.

4. Resultats

4.1 Funcions de resposta espectral dels sensors

A les Figures 4.4.1, 4.1.2 i 4.1.3 es mostren les gràfiques de les funcions simulades pels tres sensors estudiats. Les sensibilitats modelitzades amb funcions gaussianes tenen amplada FWHM dos terços dels límits nominals del canal de la Taula 3.2.1.

Sensibilitats espectrals simulades per a bandes Deimos

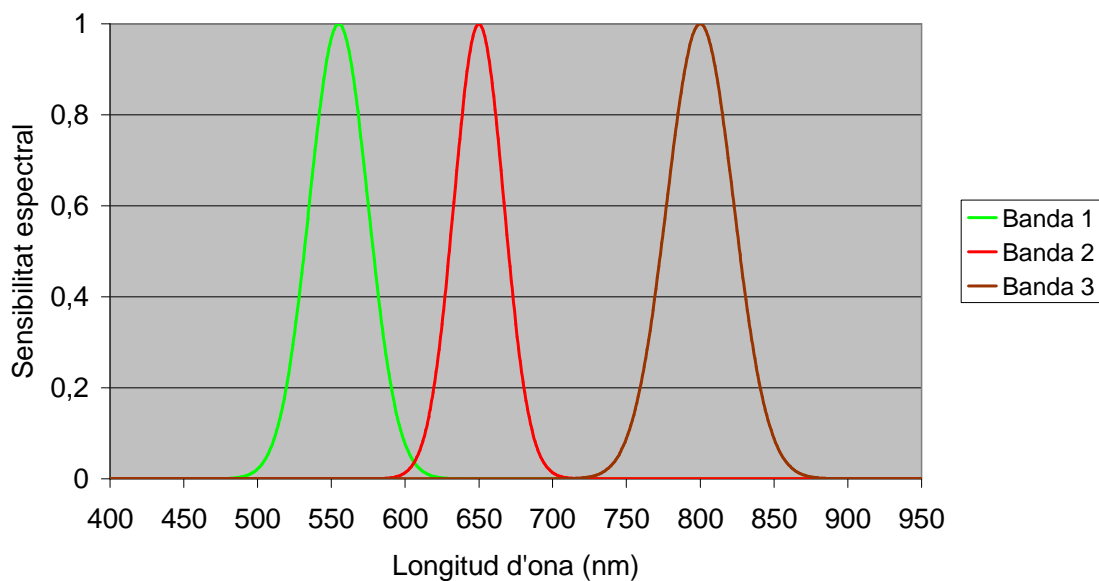


Figura 4.1.1 Sensibilitat espectral simulada per a bandes Deimos.

Sensibilitats espectrals simulades per a bandes Seosat

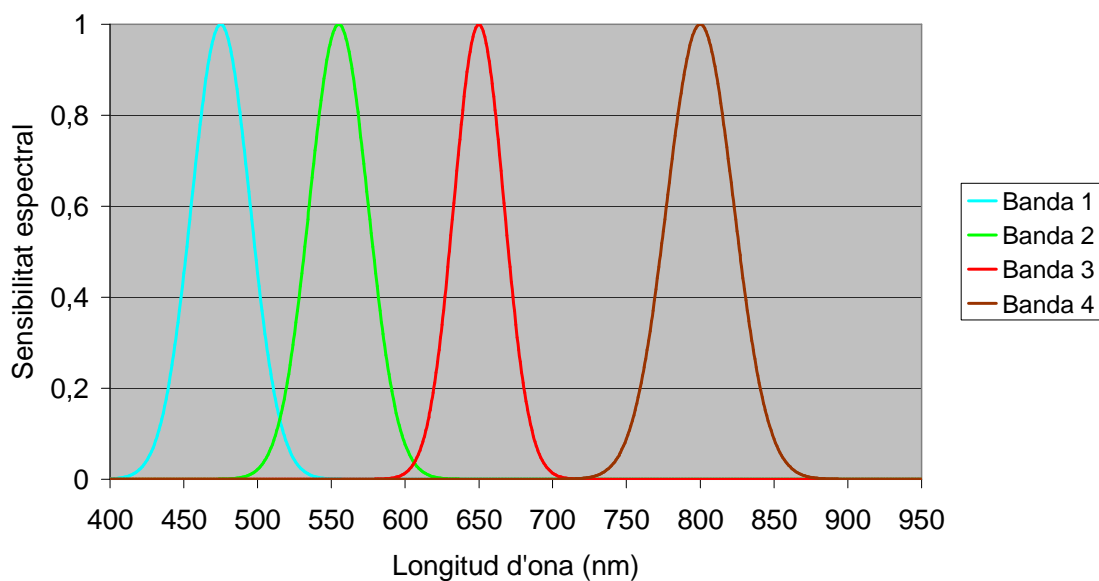


Figura 4.1.2 Sensibilitat espectral simulada per a bandes SeoSat .

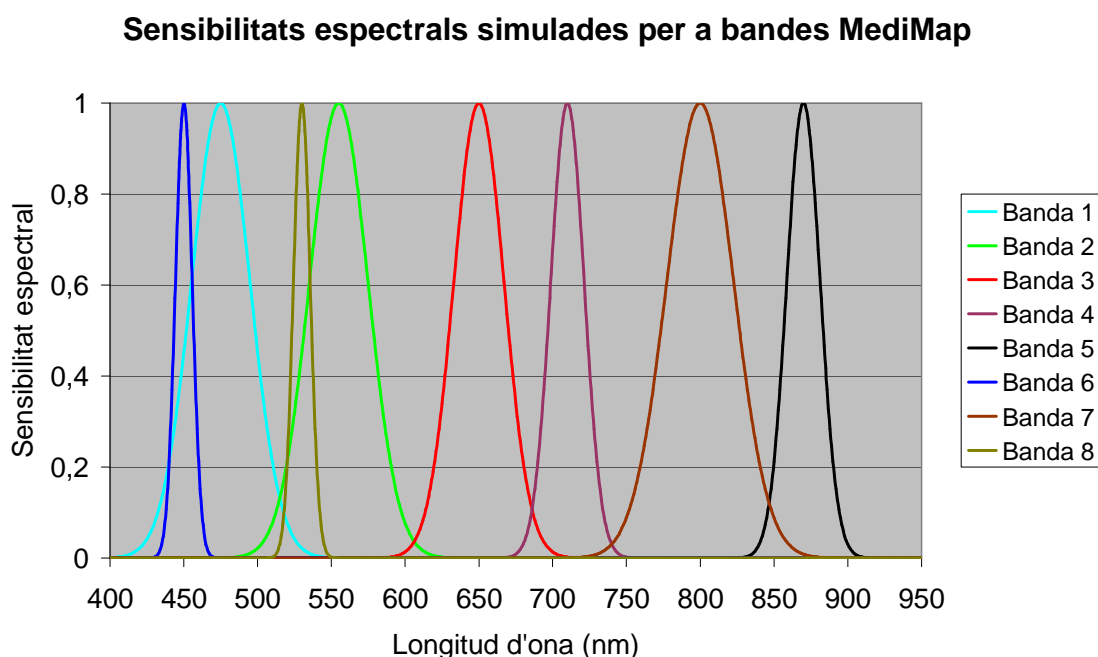


Figura 4.1.3 Sensibilitat espectral simulada per a bandes MediMap.

4.2 Efecte de l'atmosfera pels espectres associats als usos del sòl

La Taula 4.2.1 ens mostra a la seva primera fila les reflectivitats promig del conjunt d'espectres calculats per tots els usos del sòl per cada canal MediMap. Com es pot observar els valor són bastant elevats per la gran quantitat de cobertes vegetals que imposen les seves característiques radiatives respecte a la resta.

	B6	B1	B8	B2	B3	B4	B7	B5
Reflectivitat sense atmosfera	15,2	16,1	19,9	20,8	22,1	29,1	42,4	43,7
Reflectivitat màxima amb atmosfera	23,9	23,3	23,4	23,2	23,1	28,7	41,1	44,1
Reflectivitat mitjana amb atmosfera	20,8	20,3	20,5	20,2	20,5	24,8	36,4	40,8
Reflectivitat mínima amb atmosfera	16,0	15,3	14,8	14,6	15,3	17,7	26,6	31,8
Diferència màxima relativa	147%	120%	58%	46%	37%	16%	11%	14%
Diferència mitjana relativa	110%	85%	33%	22%	14%	-4%	-7%	-1%
Diferència mínima relativa	81%	57%	5%	-4%	-8%	-28%	-30%	-21%

Taula 4.2.1 Valors per canal de la reflectivitat (escalada de 0 a 100) promig de les categories del mapa d'usos del sòl i valors màxim, mitjà i mínim de l'efecte de l'atmosfera tant en termes absoluts com relatius. Bandes ordenades de manera creixent amb la longitud d'ona.

Amb els mencionats valors i amb la base de dades de transferència radiativa es calcula l'efecte atmosfèric per cada canal. La Taula 4.2.1 a les seves files segona a quarta ens presenta els valor màxim, mitjà i mínim del conjunt de totes les cobertes. Els valors mostren com les longituds d'ona més baixes (blaus) incrementen de manera general els seus valors i les longituds d'ona més altes tendeixen a conservar o perdre senyal, degut a la conjugació dels valors de reflectivitat i l'efecte a la banda corresponent.

Les esmentades variacions al paràgraf anterior es poden consultar a les files cinquena a vuitena de la Taula 4.2.1. Com mostra la taula els increments de senyal són realment importants a les longituds d'ona més baixes (blau) i aquest increment és menor segons creix la longitud d'ona. Així les bandes situades a longituds d'ona grans (infraroig proper) té fins i tot pèrdua de senyal. Tots dos efectes a altes i baixes longituds d'ona són el resultat dels valors de reflectivitat de les cobertes i de l'efecte de l'atmosfera.

4.3 Efecte de l'atmosfera al territori de Catalunya

A continuació es reproduïx l'estudi de l'apartat anterior però, atenent a la distribució geogràfica i l'extensió de les diverses cobertes del mapa d'usos del sòl a diverses comarques tipus. En concret al Barcelonès pel seu caràcter urbà, el Pla d'Urgell pel seu caràcter agrícola i la Vall d'Aran per ser un territori més muntanyós i per tant menys transformat. Per fer aquest estudi es treballa amb les fraccions corresponents del mapa d'usos del sòl obtingudes a partir de la coberta de comarques. Cadascuna d'elles ha estat analitzada amb les eines de vectorització i estadística de Miramon per obtenir els percentatges d'ocupació del territori de cada categoria (Taula 4.3.1) Com es pot observar la taula confirma el caràcter suposat a cadascuna de les comarques seleccionades.

Valor	Categoria	Barcelonès	Pla d'Urgell	Vall d'Aran
2	Aigua continental	0,12%	0,076%	0,37%
3	Aigua marina	0,15%	-	-
4	Congestes	0,00%	-	0,06%
5	Infraestructures viàries	11,96%	1,091%	-
6	Urbanitzacions	6,18%	0,227%	0,07%
7	Nuclis urbans	44,48%	2,487%	0,22%
8	Zones industrials i comercials	13,92%	0,963%	0,03%
9	Conreus herbacis de secà	0,32%	3,258%	-
10	Conreus herbacis de regadiu	0,33%	80,334%	-
11	Fruiters de secà	0,07%	0,291%	-
12	Fruiters de regadiu	-	8,926%	-
13	Vinya	-	1,201%	-
14	Prats supraforestals	-	-	24,53%
15	Bosquines i prats	10,56%	0,171%	30,58%
16	Bosc d'escleròfil·les	2,29%	-	-
17	Bosc de caducifolis	0,42%	0,025%	11,02%
18	Bosc d'aciculifolis	4,86%	0,005%	20,40%
20	Sòl amb vegetació nul·la	3,37%	0,942%	12,28%
21	Zones cremades	0,73%	-	0,45%
22	Sorrals i platges	0,23%	-	-

Taula 4.3.1 Proporcions de les diverses cobertes del mapa d'usos del sòl per les comarques del Barcelonès, Pla d'Urgell i la Vall d'Aran.

A continuació es mostra el resultat de l'anàlisi de l'efecte de l'atmosfera equivalent al de la Taula 4.2.1 però, considerant les proporcions de les cobertes calculades que mostra la Taula 4.3.1.

	B6	B1	B8	B2	B3	B4	B7	B5
Reflectivitat sense atmosfera Barcelonès	9,5	10,0	12,2	12,6	13,7	17,3	23,6	23,9
Reflectivitat sense atmosfera Pla d'Urgell	13,9	15,1	20,0	21,7	24,1	33,0	49,9	52,6
Reflectivitat sense atmosfera Vall d'Aran	9,2	10,0	14,4	15,0	14,1	26,8	52,1	54,2
Diferència màxima relativa Barcelonès	230%	191%	108%	83%	44%	23%	18%	20%
Diferència màxima relativa Pla d'Urgell	70%	52%	18%	10%	2%	-4%	-4%	0%
Diferència màxima relativa Vall d'Aran	148%	119%	38%	32%	46%	4%	-4%	0%
Diferència mitjana relativa Barcelonès	174%	139%	69%	49%	19%	1%	-3%	3%
Diferència mitjana relativa Pla d'Urgell	50%	34%	4%	-3%	-8%	-15%	-15%	-7%
Diferència mitjana relativa Vall d'Aran	112%	86%	19%	13%	20%	-11%	-15%	-7%
Diferència mínima relativa Barcelonès	144%	110%	42%	24%	2%	-20%	-23%	-15%
Diferència mínima relativa Pla d'Urgell	22%	7%	-23%	-29%	-31%	-40%	-38%	-28%
Diferència mínima relativa Vall d'Aran	87%	62%	-5%	-11%	2%	-34%	-38%	-28%

Taula 4.3.2 Valors per canal de la reflectivitat promig de les categories del mapa d'usos del sòl ponderades per la seva proporció al territori i valors màxim, mitjà i mínim de l'efecte de l'atmosfera tant en termes relatius. Bandes ordenades de manera creixent amb la longitud d'ona.

Com mostra la Taula 4.3.2 a les files primera a tercera, les comarques del Barcelonès i la Vall d'Aran tenen un comportament radiomètric bastant semblant a baixes longituds d'ona (blau) però aquestes comarques es diferencien substancialment a altes longituds d'ona (infraroig proper), degut al domini dels espectres de materials artificials en la primera i dels espectres de vegetació en la segona. Això fa que el Pla d'Urgell i la Vall d'Aran tinguin un comportament radiomètric semblant a altes longituds d'ona perquè en tots dos les cobertes vegetals tenen un gran pes.

Les files quarta a dotzena de la Taula 4.3.2 recullen les diferències relatives màxima, mitjana i mínima de les tres comarques d'estudi de les reflectivitats amb atmosfera respecte als corresponents valors sense atmosfera de cada comarca. Com es pot observar els valors corresponents al Barcelonès són sempre els més grans, seguits dels valors de la Vall d'Aran i per últim els valors del Pla d'Urgell pels casos que s'afegeix senyal (blau) o aquest roman més o menys constant. En les bandes que l'atmosfera resta senyal (infraroig proper) el Barcelonès també té uns valors més grans, i per tant menys descens de la reflectivitat que les altres comarques però, tant el Pla d'Urgell com la Vall d'Aran presenten un comportament semblant.

4.4 Classificació d'imatges simulades MediMap, SeoSat i Deimos

L'estudi de la classificació es centra a l'entorn del Parc de la Draga i l'Estany de Banyoles que com es pot observar a la Figura 4.4.1 presenta diverses cobertes vegetals, estructures artificials, sòl nu i aigua amb diverses batimetries.



Figura 4.4.1 Ortofotomapa escala 1:25.000 del Parc de la Draga i Estany de Banyoles per analitzar les classes obtingudes amb les classificacions.

Les imatges classificades de manera no supervisada generen 16 classes en les imatges simulades per tots tres sensors però, han estat agrupades posteriorment seguint la Figura 4.4.1 com a referència per analitzar si les característiques dels sensors permeten discriminar entre cobertes i definir els objectes presents a l'àrea analitzada.

La Figura 4.4.2 mostra el resultat de la classificació no supervisada amb la imatge simulada pel sensor Deimos. Les cobertes d'aigua són reconegudes perfectament observant certes diferències de profunditat a l'Estany. Les cobertes vegetals són reconegudes però no es distingeixen els arbres de la vegetació baixa. Les característiques espectrals dels sensor són bones però la resolució espacial és massa grollera per arribar als detalls de l'escena.

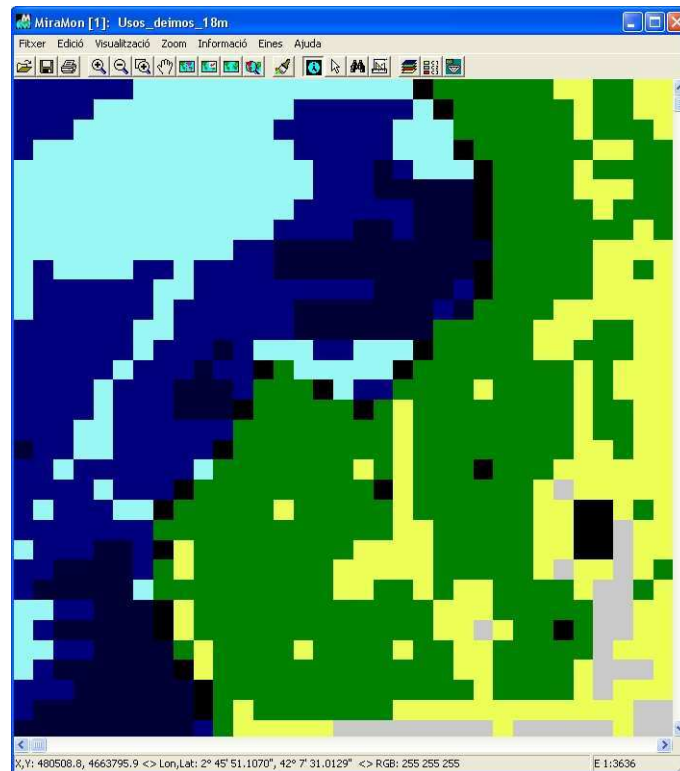


Figura 4.4.2 Classificació no supervisada del Parc de la Draga i Estany de Banyoles amb imatge simulada **Deimos**. Les classes resultants han estat agrupades seguint la veritat terreny de l'ortofotomapa de la Figura 4.4.1. Blaus: aigua, Verd: vegetació, Groc: sòl nu, Gris: paviment o ciment, Negre: altres.

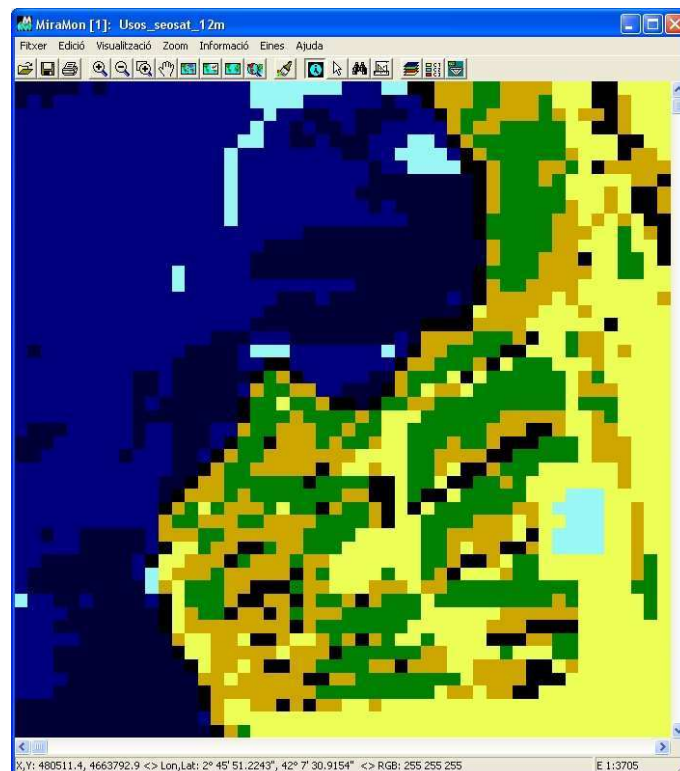


Figura 4.4.3 Classificació no supervisada del Parc de la Draga i Estany de Banyoles amb imatge simulada **SeoSat**. Les classes resultants han estat agrupades seguint la veritat terreny de l'ortofotomapa de la Figura 4.4.1. Blaus: aigua, Verd: arbrat, Taronja: gespa, Groc: sòl nu, Blau clar: altres.

La Figura 4.4.3 mostra el resultat de la classificació no supervisada amb la imatge simulada pel sensor SeoSat . Les cobertes d'aigua són reconegudes amb més detall que abans però, hi ha una confusió amb una teulada. Per la seva part la vegetació és distingida en dos tipus que corresponen a arbres i vegetació baixa. Les millors característiques espectrals dels sensor i la millor resolució espacial del mateix permeten una classificació més acurada que en el cas anterior, permetent distingir més detalls de l'escena.

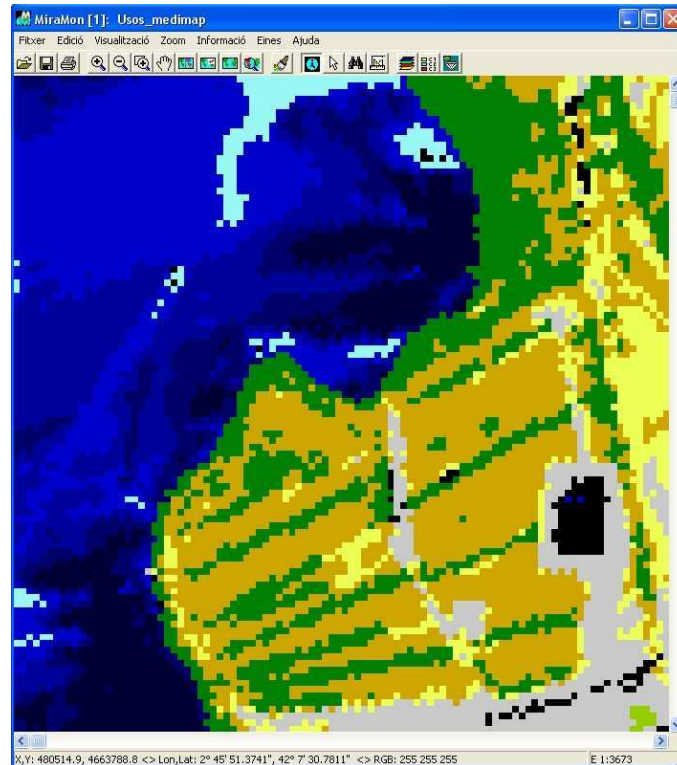


Figura 4.4.4 Classificació no supervisada del Parc de la Draga i Estany de Banyoles amb imatge simulada **MediMap**. Les classes resultants han estat agrupades seguint la veritat terreny de l'ortofotomapa de la Figura 4.4.1. Blaus: aigua, Verd: arbrat, Taronja: gespa, Groc: sòl nu, Gris: paviment i ciment ,Negre: altres.

La Figura 4.4.4 mostra el resultat de la classificació no supervisada amb la imatge simulada pel sensor MediMap. Les cobertes d'aigua són reconegudes de manera excel·lent i sense confusió. La vegetació es distingida en arbres i gespa gràcies també a la resolució espacial. De igual manera el sòl nu i les zones pavimentades són distingides força bé. Les excel·lents característiques espectrals dels sensor i la màxima resolució espacial del mateix respecte als altres li permeten una classificació molt acurada que permetent distingir gran quantitat de detalls de l'escena si la comparem amb la referència de la Figura 4.4.1.

Per tant la combinació de configuració espectral i espacial de la proposta MediMap es presenta com molt més completa que les de Deimos i SeoSat per les seves capacitats per classificar.

4.5 Derivació d'informació d'aigües i vegetació

El sensor Deimos té una configuració de bandes que permet realitzar imatges de fals color com les de la Figura 4.5.1 que són de gran utilitat per aplicacions relacionades amb la vegetació i la classificació.



Figura 4.5.1 Combinacions RGB amb bandes simulades **Deimos** de l'àrea de Banyoles. Descripció: Imatge fals color.

Les característiques del SeoSat li permeten com a la Figura 4.5.2 fer també combinacions amb el blau que tenen interès pels estudis d'aigua i també per poder generar imatge color real. La banda addicional respecte a Deimos és un important avantatge pel sensor SeoSat .



Figura 4.5.2 Combinacions RGB amb bandes simulades SeoSat de l'àrea de Banyoles. Descripció (de dalt a baix): Imatge fals color, imatge color real.

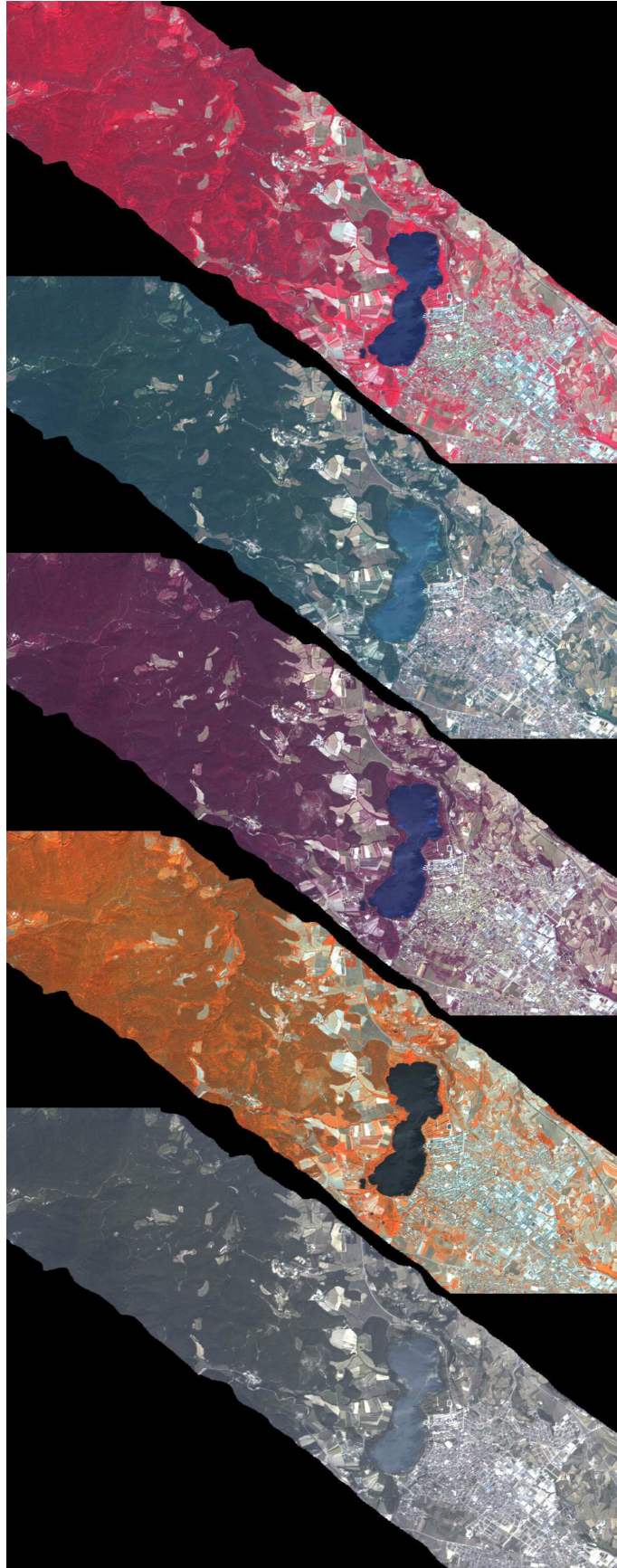


Figura 4.5.2 Combinacions RGB amb bandes simulades **MediMap** àrea Banyoles. Descripció (de dalt a baix): Imatge fals color, imatge color real, imatge fals color extrem infraroig proper, imatge fals color amb red-edge, imatge fals color aigua.

Per últim la figura 4.5.2 ens mostra el gran potencial de la proposta MediMap per generar diversos tipus de composicions de molt diversa aplicació. Per suposat permet fer les mateixes que amb Deimos i amb SeoSat però, també de noves que els altres no poden realitzar.

Primerament la imatge fals color fent servir l'extrem de l'infraroig proper té una gran capacitat de aportar informació de les espècies vegetals perquè està situada més enllà del màxim de reflectivitat de la vegetació, on les diverses cobertes vegetals en poden tenir diferents comportaments radiomètrics atenent també al seu estat fenològic.

A més a més, la imatge de fals color amb red-edge és molt important perquè permet analitzar la vegetació des d'un punt de vista diferent del realitzat clàssicament mitjançant teledetecció de satèl·lit que és la ubicació del red-edge, el punt d'inflexió a la resposta espectral de la vegetació entre el mínim del vermell i el màxim del infraroig proper.

Per últim la imatge de fals color aigua realitzada amb bandes blaves i verdes és un excel·lent instrument d'anàlisi dels continguts de xantofila, de l'anàlisi de la substància groga, de la matèria en suspensió, etc. per les especials característiques radiomètriques de l'aigua que gairebé no retorna radiació més enllà del verd.

Per tant en la derivació d'informació d'aigua i vegetació, la configuració de la proposta MediMap es presenta com molt més complerta que les de Deimos i SeoSat per les seves capacitats espectrals.

5. Conclusions

En aquest Projecte de Màster s'ha presentat l'escenari i propostes de petits satèl·lits per teledetecció passiva en l'espectre solar que s'estan desenvolupant al nostre entorn més proper: Deimos, SeoSat i MediMap. S'ha plantejat analitzar l'impacte de l'atmosfera a un sensor d'aquest tipus com també comparar les diverses configuracions de petits satèl·lits proposades o en curs per l'obtenció d'informació temàtica. S'ha desenvolupat una base de dades de transferència radiativa que s'ha aplicat a espectres de biblioteca que representen les diverses cobertes presents a Catalunya segons el seu mapa d'usos del sòl. Posteriorment aquestes dades s'han transformat a valors de canal amb les funcions de resposta espectral simulades a partir de les especificacions tècniques dels sensors.

Del seu anàlisi es desprèn que el comportament radiomètric d'un territori està fortament lligat als tipus i extensió de les cobertes que el conformen, succeint que comarques ben diferenciades com el Barcelonès, el Pla d'Urgell i la Vall d'Aran comparteixen algun comportament radiomètric a les bandes de la regió del blau i a la regió infraroig proper.

Pel que fa a la classificació s'han simulat imatges dels sensors estudiats a partir d'imatge hiperespectral CASI de l'àrea de Banyoles que han estat classificades de manera no supervisada i agrupades les seves classes. Quan es comparen els resultats amb un ortofotomapa de la zona d'estudi la combinació de configuració espectral i espacial de la proposta MediMap es presenta com molt més completa que les de Deimos i SeoSat per les seves capacitats a l'hora de classificar.

Per últim en analitzar la capacitat d'obtenir informació relativa a vegetació i aigua, la configuració de la proposta MediMap es presenta com molt més completa que les de Deimos i SeoSat per les seves capacitats espectrals doncs li permet obtenir molta més informació que els altres sensors a regions espectrals fonamentals per aquest tipus d'estudi.

6. Perspectives obertes

La realització d'aquest Projecte de Màster ha generat una sèrie de perspectives obertes que es detallen a continuació.

-Efecte atmosfèric: es proposa incorporar a les bases de dades de transferència radiativa l'efecte dels angles d'observació i il·luminació com també l'altura de la superfície observada que modifiquen la massa d'aire relativa i per tant l'efecte atmosfèric.

-Espectres de biblioteca: es proposa cercar altres biblioteques d'espectres per incrementar les cobertes representables pels mateixos especialment pel que fa a les de cobertes vegetals.

-Àmbit d'estudi: es proposa entendre tot l'estudi a altres indrets per tenir la capacitat d'analitzar la dependència dels resultats amb les cobertes presents a la Terra.

-Anàlisi quantitatiu: es proposa cercar índexs numèrics quantitatius que puguin treure profit de les bandes situades al blau i verd pels estudis de l'aigua i també índexs per analitzar la regió del red-edge i l'infraroig proper que siguin d'utilitat en els estudis de vegetació.

-Validació: per últim es proposa validar els càlculs i estimacions realitzades en aquest i posteriors estudis amb imatgeria real dels sensors Deimos, SeoSat i MediMap.

6. Referències

- Web del PCOT www.pcot.cat
- Disseny i anàlisi de missió Cartosat IV (Ref. N-41/1576-06)
- Web DMAH mediambient.gencat.cat
- Web ICC www.icc.cat

Martínez L., Arbiol R., Palà V. i Pérez F. (2007): Digital Metric Camera Radiometric and Colorimetric Calibration with Simultaneous CASI Imagery to a CIE Standard Observer Based Colour Space. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007.

Martínez L., Caselles V., Valor E. i Arbiol R. (en preparació): Impact of the atmospheric effect on thermal emissivity calculated with the vegetation cover method for multi and hiperespectral sensors.

Vermote, E., Tanré, D., Deuzé, J.L., Herman, M. i Morcrette, J.J. (1997): Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: an overview. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 35: 675-686.