

TREBALL FINAL DE CARRERA

**ANÀLISI I AVALUACIÓ DELS
SENSORS AEROTRANSPORTATS
EN LA GESTIÓ DEL TERRITORI
MARÍTIM: COSTA I LITORAL**

AUTOR: JOFRE ENSEÑAT ESCOBAR

DNI: 41.503.916-W

DIRECTOR: FRANCESC XAVIER MARTÍNEZ DE OSÉS

CODIRECTOR: JORDI CORBERA SIMÓN

DESEMBRE DE 2008

**DIPLOMATURA EN NAVEGACIÓ MARÍTIMA
FACULTAT DE NÀUTICA DE BARCELONA
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**

Índex

1-Introducció	4
2-Costa, Litoral i Teledetecció	7
3-Objectiu	11
4-Metodologia	12
5-Estat actual dels sistemes aerotransportats	13
5.1-Antecedents	13
5.2-La teledetecció com una nova eina	14
6-Els sensors hiperespectrals	16
6.1-Introducció als sistemes hiperespectrals	16
6.2-Els sistemes en visible i infraroig proper (VNIR)	21
6.2.1-Introducció	21
6.2.2-El sistema CASI-ICC	24
6.3-Els sistemes tèrmics	27
6.3.1-Introducció	27
6.3.2-Funcionament dels sistemes tèrmics	29
6.4-Els sistemes SWIR	33
7-Els sistemes radar	35
7.1-Introducció	35
7.2-Antecedents històrics	36
7.3-Característiques del senyal radar	39
7.4-El sistema SAR	41
7.4.1-Introducció	41
7.4.2-Detecció de fenòmens mediambientals mitjançant imatges del SAR	44
7.5-El sistema SLAR	49

7.5.1-Introducció	49
7.5.2-Principis de Funcionament	49
8-Anàlisi de la problemàtica del litoral i la costa catalana	52
8.1-Introducció	52
8.2-Situació actual de la costa i litoral català	54
8.3-Actualitat del problema de la contaminació de les aigües marines ...	57
8.4-Fonts i tipus de contaminació en l'oceà	59
8.5-Estat ecològic actual de la Mediterrània	64
8.6-Impactes ecològics de les aigües marines causats mitjançant les indústries terrestres i els transports marítims	66
9-Els actors implicats el la gestió costanera i litoral	70
9.1-Introducció	70
9.2-Els actors	71
9.2.1-Administració estatal	71
9.2.2-Generalitat	71
9.2.3-Àmbit local i diputacions	71
9.2.4-Àmbit acadèmic	72
9.2.5-Àmbit internacional	72
10-Discussió	72
10.1-Punt de partida	72
10.2-Contaminació marítima	80
10.2.1-Introducció	80
10.2.2-Contaminació marítima d'origen tèrmic	80
10.2.3-Contaminació marítima d'origen terrestre	81
10.2.4-Contaminació marítima des de vaixells	81
10.3-Dinàmica oceànica	82
10.4-Fenòmens litorals	83
11-Conclusions	85
12-Bibliografia	90

1-Introducció

La constant ocupació, demogràfica, lúdica i d'activitat econòmica associada al transport de persones, mercaderies, turisme o noves fonts d'energia ha fet del territori marítim en la seva franja litoral i costanera, una zona de màxima afectació pel que fa a les interaccions entre l'home i el medi marí.

Així mateix, aquesta introducció de l'home en el territori natural, conjuntament amb el canvi climàtic incideix no tant sols en la forma en que ocupem aquest territori, sinó en la seva qualitat i capacitat com a generadora de biodiversitat o reguladora del clima i d'activitat econòmica, amb el turisme com a primer motor econòmic de Catalunya.

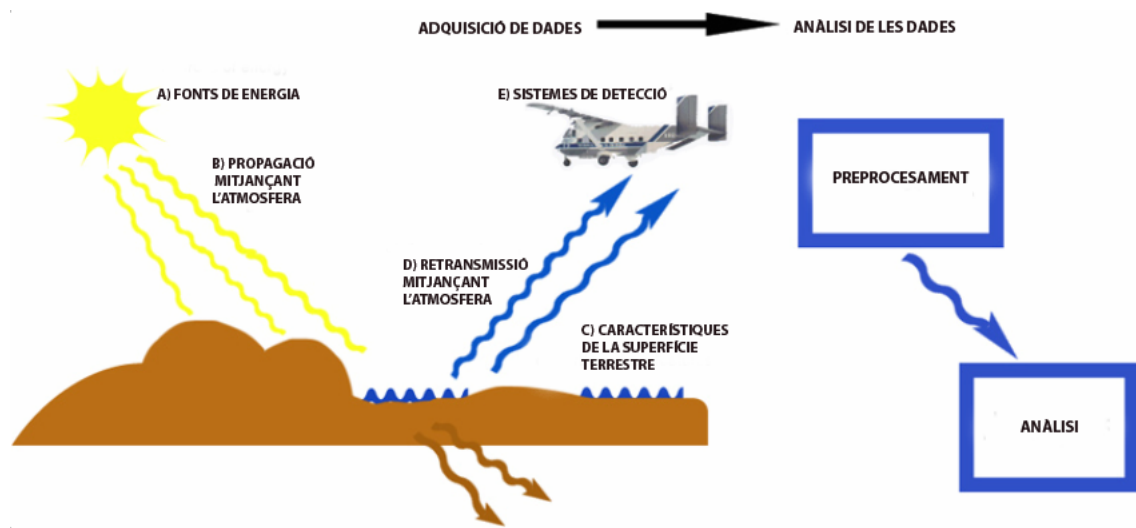
Els sistemes satèl·lit d'observació de la Terra, han tingut i segueixen tenint una àmplia acceptació en el seguiment dels fenòmens, la seva avaluació o quantificació (en paràmetres biofísics, geofísics o químics), tant en Terra, com en l'atmosfera, com en el mar, però donades les seves limitacions com a sistema orbitant, al seu temps de revista, així com el temps que passa entre la presa d'imatge i la utilització de la mateixa fa que, sobretot en l'àmbit marítim on els processos tenen una dinàmica molt alta, no constitueixin una eina operativa en la provisió de serveis operacionals que responguin a la creixent demanda i nivell d'interacció-afectació.

La solució passaria per monitoritzar, controlar, seguir, avaluar i quantificar els processos, naturals o antròpics que tenen lloc al litoral i la costa amb una plataforma d'observació que s'ajustés a l'escala espacial i temporal idònia: els avions o helicòpters i els seus sensors embarcats poden i representen una solució en termes de temps de revisita i actuació, però els costos i limitacions operatives (regulacions, permisos o condicions atmosfèriques) han limitat però les seves potencials prestacions.

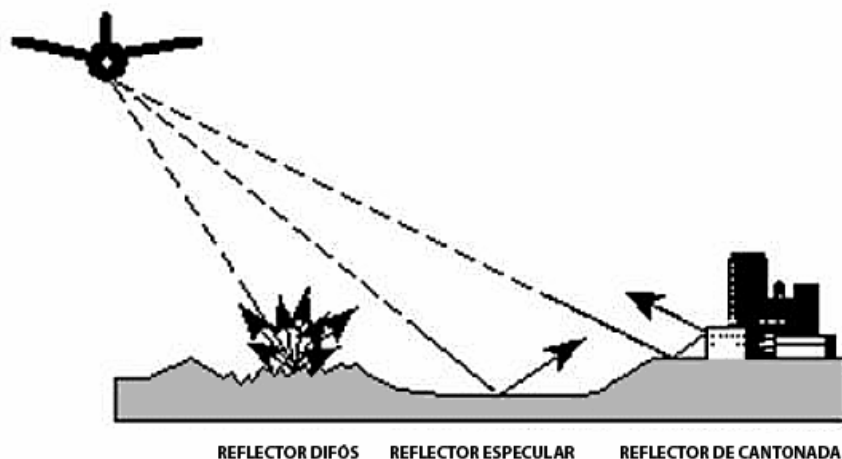
La teledetecció (*Remote Sensing*) és la ciència de mesurar les propietats físiques d'un objecte o medi, emprant un sensor que es troba a una certa distància de l'objecte o medi a estudiar. Normalment, el terme s'empra per a descriure les mesures de radiació electromagnètica emesa o dispersada per l'atmosfera terrestre o la seva superfície

emprant instruments instal·lats en avions o en satèl·lits si treballem amb sistemes passius on la font d'il·luminació és el Sol, però també existeixen sistemes actius com el radar on la font es troba en el propi instrument.

Una definició més general inclouria també la mesura d'ones acústiques, camps magnètics i gravitacionals, i mesures d'altres planetes o llunes del sistema Solar emprant sondejos interplanetaris.



Exemple amb un sistema passiu.



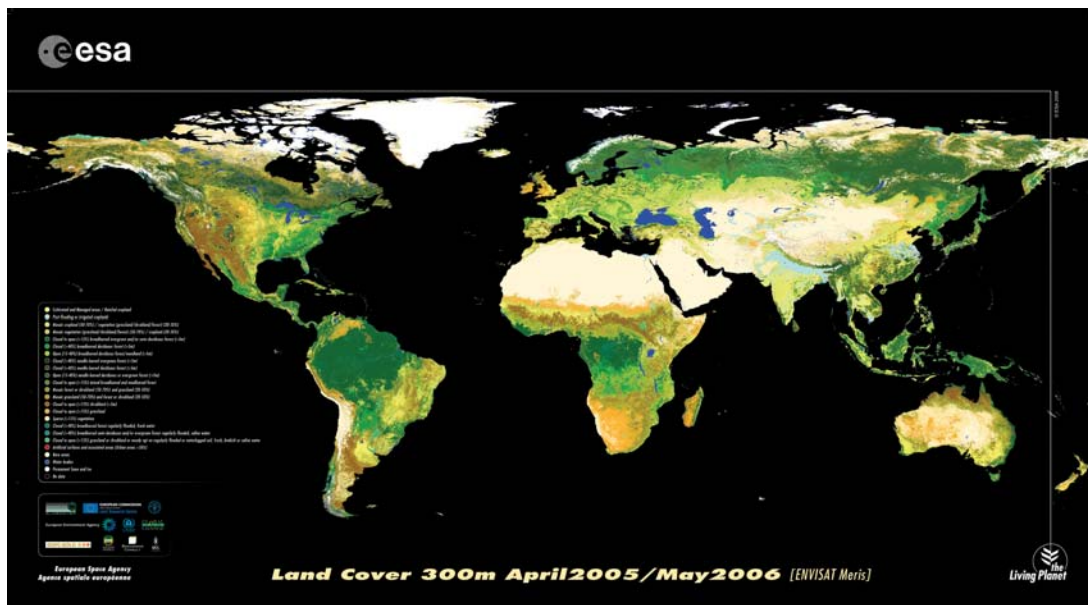
Exemple amb un sistema actiu (radar)

El sistema sensor, amb la seva òptica, detectors, el sistema de discriminació espectral i electrònica, és una forma de transductor. Un transductor converteix una forma d'energia en una altra. El sistema sensor converteix l'energia radiant, que pot ser d'origen solar en el cas dels sistemes passius o pròpia de l'instrument en el cas dels sistemes

actius(microones en el cas dels radars), en energia elèctrica. D'aquesta manera, la sortida del sistema sensor és un voltatge. El voltatge és una funció de tots els components dels sistemes de teledetecció previs i el sistema sensor electro-òptic.

El terme "Observació de la Terra" (*Earth Observation*) gaudeix actualment d'un ús generalitzat, però normalment es restringeix a descriure les mesures a escala regional a global des de satèl·lits. No obstant, recentment el grup d'observació de la Terra de la *Remote Sensing and Photogrammetry Society* (Woodhouse, 2006) ha fet extensiu aquest terme per tal d'incloure-hi l'adquisició, procés, modelatge i disseminació de les dades al voltant del sistema Terrestre. Aquestes dades poden haver estat adquirides mitjançant observacions *in-situ*, amb sensors aerotransportats (*airborne*) o bé des de l'espai amb dispositius instal·lats en satèl·lits, boies, sismòmetres, i altres dispositius.

La manca de coneixement i solucions sobre els problemes mediambientals que patim parteixen del nostre escàs o mal coneixement de la realitat planetària, així com la capacitat d'observar-la i quantificar-la de forma repetitiva i estable. Individual i col·lectivament hem de conèixer a fons quina és la lògica de l'entorn que habitem. Una fórmula per a aprendre a conviure millor amb el nostre planeta és monitoritzar-lo i prendre mesures des de l'aire. La mirada exterior ens ofereix una visió global de la Terra, sense fronteres, com un tot. Aquesta és una de les majors aportacions de la teledetecció i l'observació de la Terra: el canvi de visió sobre el nostre món.



Imatge de la Terra des de l'espai (ESA)

2-Costa, Litoral i Teledetecció

Dins l'estudi remot dels oceans podem diferenciar dos camps d'investigació fonamentals:

- L'estudi dels oceans: altura dels mars, cartografia de la superfície, mesura dels corrents, vents i ones.

- La vigilància dels oceans: seguiment del nivell mitjà, previsió de fenòmens com "El Niño", batimetria, temperatura i altres propietats de l'aigua.

Els oceans cobreixen el 71% de la superfície de la Terra i constitueixen un component essencial de l'equilibri climàtic del nostre planeta. Els mars de les zones tropicals reben i emmagatzemen la calor solar que es distribueix cap als pols gràcies als corrents oceànics profunds i de superfície. Actualment, l'estudi de la capacitat i canvis en la mateixa absorció de CO₂ per part de la mar és, probablement, un dels camps de recerca científica més importants en l'àmbit de les ciències geogràfiques.

L'observació remota de la mar proporciona valuosa informació sobre els corrents i les temperatures marines, la localització de bancs de pesca, els abocaments o el desplaçament dels icebergs. L'observació dels canvis de temperatura, densitat o salinitat de la mar són un indicatiu clau per a mesurar l'escalfament global i el canvi climàtic. I per aquesta finalitat hi ha destinats de forma exclusiva nombrosos instruments de teledetecció que ens proporcionen un gran volum de dades oceanogràfiques. Actualment, una de les missions de l'Agència Europea de l'Espai (ESA), amb llançament previst per a principis de 2009, és SMOS, que permetrà la mesura de la salinitat dels oceans a escala global i, per tant, una millor determinació del cicle de l'aigua.



Recreació del satèl·lit SMOS (*SMOS Barcelona expert centre*)

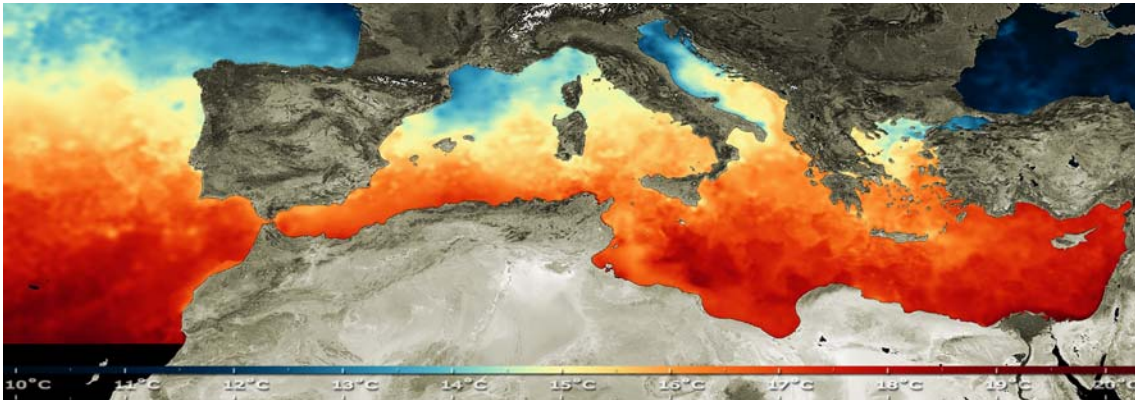
La teledetecció aporta dades meteorològiques i oceanogràfiques en temps real, amb les que es poden configurar series històriques. Cal assenyalar que, amb la teledetecció aèria, amb sensors en el rang de l'espectre visible i del radar, es poden observar, fins i tot, organismes vius.

Una altra vessant en la que la teledetecció juga un paper capdal és en l'àmbit de la pesca i en la millora de l'eficiència de les flotes pesqueres mitjançant:

- Cartes marines de major qualitat
- Previsions meteorològiques i oceanogràfiques
- Localització, navegació, gestió i vigilància de flotes
- Dades periòdiques sobre: temperatura, fitoplàncton¹, corrents, salinitat, altura de les mareas

¹ La clorofil·la del fitoplàncton té una firma espectral característica i gràcies a aquest fet és possible mesurar la seva concentració en la mar. Els peixos es desplacen cap a aquests punts per a alimentar-se.

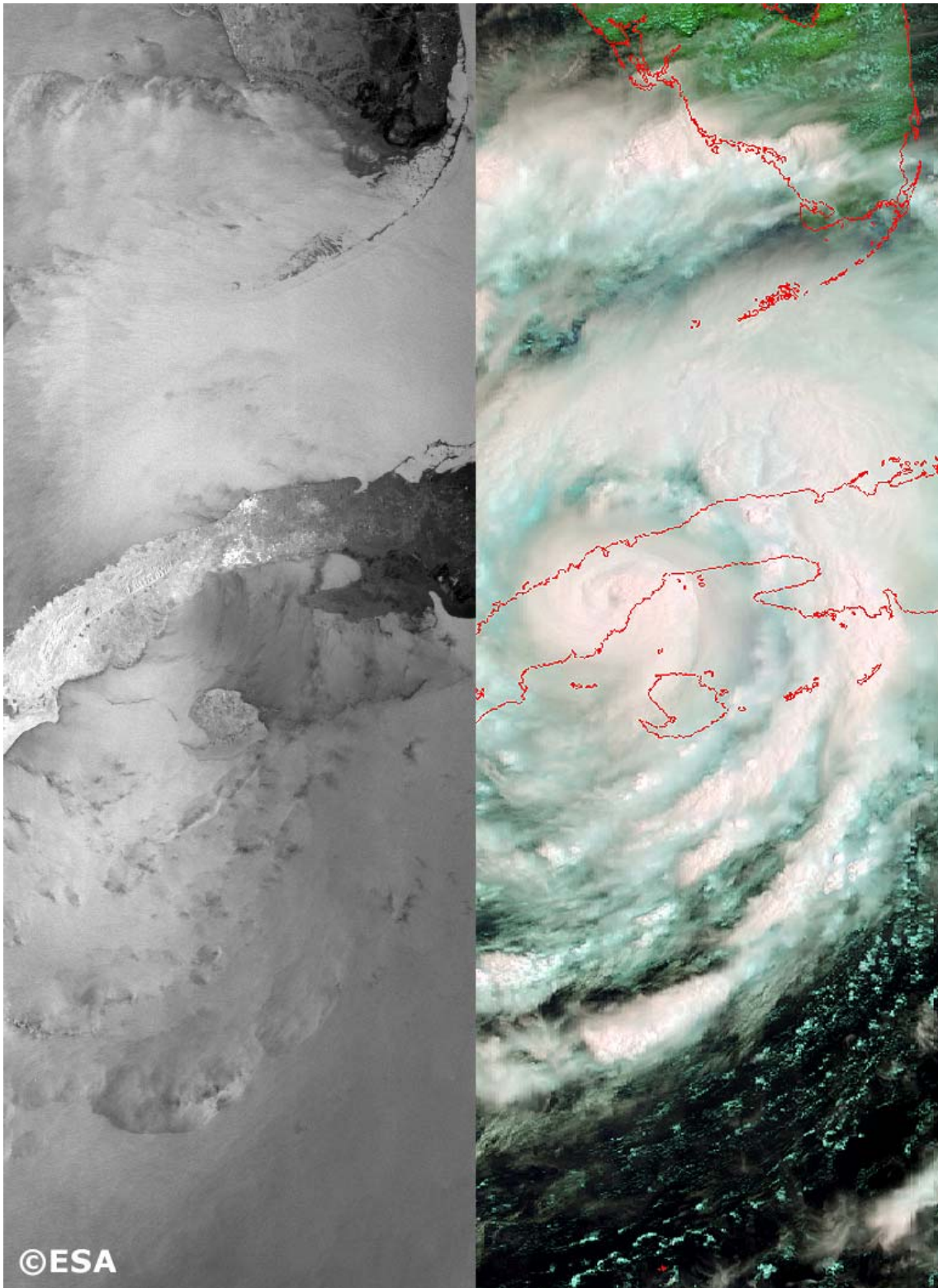
· Estudi de la dinàmica dels bancs de peixos, la seva agregació, el seu comportament i les seves reaccions.



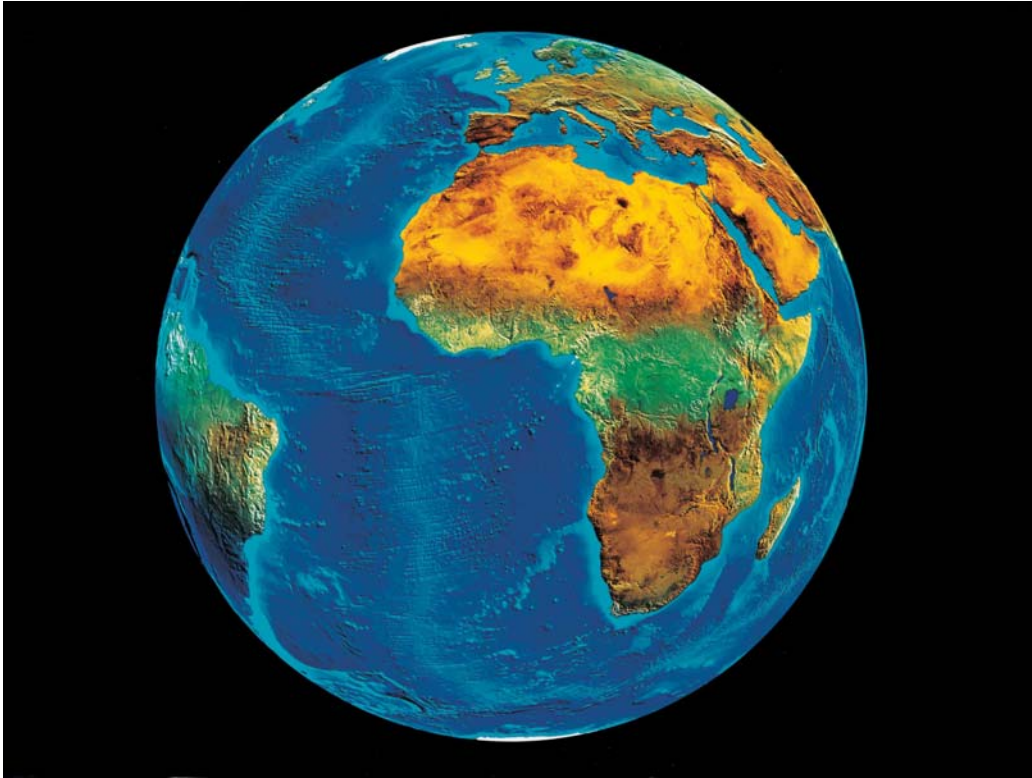
Imatge de la temperatura superficial de la Mar Mediterrània fruit del projecte *Medspiration* de l'ESA.
(Novembre de 2008)



Presència de fitoplàncton davant la costa escocesa. Font: ESA.



Imatge de l'huracà Ike del 9 de Setembre de 2008. Gràcies a la capacitat de l'Envisat d'adquirir simultàniament imatges òptiques i radars de la mateixa zona, podem veure la part de dalt i la més baixa de l'huracà en el mateix instant. Aquest és un exemple de la combinació de dues tècniques, la òptica MERIS i el radar ASAR.



Imatge de la Terra sense núvols mitjançant el satèl·lit Meteosat. Font: ESA.

3-Objectiu

En aquest treball volem realitzar un estudi que ens permeti determinar quin és l'estat de l'art de l'observació del medi litoral i costaner des d'avió, per poder traduir aquestes capacitats i ajustar-les a l'anàlisi de les potencials necessitats i requeriments del litoral i la costa del nostre país.

Ens centrarem en l'anàlisi des d'avions ja que aquest és un camp en que encara hi ha una gran feina per fer, però que alhora, ofereix un avantatge significatiu respecte a la teledetecció satel·litària i aquest avantatge és la disminució de l'error derivat de la gran distància a la que es troben els satèl·lits de l'objecte observat.

Tanmateix, estudiarem diferents sistemes basant-nos en els sensors imatge, és a dir, sensors hiperspectrals i sensors radar, ja que, com argumentarem més endavant, són aquells que ens permetran obtenir uns millors resultats per al nostre àmbit concret de treball.

Ens centrarem en l'anàlisi de la problemàtica del litoral i costa catalana i en els actors i institucions implicades.

A continuació, avaluarem quines són les potencials utilitats dels sensors aerotransportats en la gestió del territori marítim i prevenció de riscos.

4-Metodologia

Hem plantejat aquest treball com un estudi que segueix la metodologia de prospecció tecnològica de les prestacions actuals de la teledetecció en l'àmbit marítim per veure com aquestes prestacions s'acoblen a les necessitats dels actors i usuaris que la poden demandar. D'aquesta manera la metodologia del treball es tradueix en requeriments per tal de fer d'aquest estudi de l'estat de l'art una eina metodològica per avaluar mitjançant unes conclusions la situació actual, requeriments i factibilitat de la teledetecció en l'àmbit marítim en general i costaner-litoral en particular.

En un primer bloc descriurem alguns dels sistemes d'observació de la terra des de plataformes aèries com avions, helicòpters i aeronaus no tripulades, totes elles potencials plataformes on embarcar sensors imatge.

Seguidament, estudiarem la situació actual del litoral i zona costanera catalana per tal de presentar quins són els riscos potencials i els fenòmens que s'estan donant en aquests moments i l'afectació dels quals representa un repte social, econòmic i mediambiental important.

Després presentarem als actors i institucions implicades en la problemàtica del litoral català i enumerarem quines són les seves principals competències.

Finalment, avaluarem quines són aquelles eines que més s'ajusten a cada hipotètica situació, quins són els seus avantatges i inconvenients, la seva resolució i l'àmbit d'aplicació.

5-Estat actual dels sistemes aerotransportats

5.1-Antecedents

La teledetecció és una ciència aplicada i, com a tal, molt dependent de l'estat de desenvolupament tecnològic existent en cada moment. Les primeres fotografies aèries van ser realitzades a França el 1839, poc temps després, el 1840, es varen realitzar les primeres aplicacions en el mapeig topogràfic concebudes pel director de l'Observatori de París.

El 1858, Gaspart Felix Tournachon, sota el pseudònim de "Nadar" va ascendir sobre París en un globus amb el propòsit de fotografiar la ciutat i poder mapejar-la.

Un interessant precursor de la teledetecció varen ser els globus de reconeixement militar. Aquests varen ser emprats durant la segona Guerra Civil Nord-americana (1861-1865) i, fins i tot, durant la Guerra de la Triple Aliança (1865-1870).



Caricatures de "Nadar"

Al voltant de 1871, la tecnologia de la fotografia havia avançat el suficient per a que no fos necessari l'immediat revelat del negatiu després de l'exposició el que va permetre el desenvolupament de cameres més lleugeres com la patentada per Julius Neubronner el 1903 que podia ser transportada mitjançant un arnés especial adherida al pit de coloms. El 1906, G. Lawrence va desenvolupar als Estats Units un conjunt que permetia transportar cameres de fins a 1000 lliures (453.592 kg) i va fer fotos aèries dels danys ocasionats pel terratrèmol de San Francisco des d'una alçada de 600 metres.

Les primeres fotos preses des d'un avió les va obtenir Wilbur Wright el 1909 sobre Centocelli (Italia).

Cap al final de la Primera Guerra Mundial (1914-1918), quan la importància de la Teledetecció com a eina d'intel·ligència va quedar fora de tot dubte, la fotografia aèria va ser considerada com una ciència "seriosa" i no simplement com una novetat. En els últims quatre mesos de la guerra es van fer més d'un milió de fotografies aèries.

La Segona Guerra Mundial (1939-1945) va donar un gran impuls al desenvolupament de noves càmeres, lents, muntatges i tècniques de reconeixement. Cap al final d'aquesta guerra no s'iniciava cap moviment militar d'importància sense primer obtenir i interpretar fotografies aèries del terreny. En aquesta època es va començar a reconèixer el potencial valor d'aquestes tècniques per a l'ús civil.

Les tècniques sistemàtiques per l'anàlisi del terreny i producció de cartografia varen ser desenvolupats duran les dècades dels 40's i 50's del segle passat, mentre diferents professions reconeixien les contribucions de les interpretacions de fotografies aèries mitjançant la transformació de les dades i la informació de les fotografies en eines de mesura i coneixement del territori.

5.2-La Teledetecció com una nova eina

El paper de la teledetecció en la recerca mediambiental i cartogràfica adquireix ple reconeixement al 1969 amb la publicació d'una nova revista dedicada exclusivament a aquesta tècnica i les seves aplicacions². Però, tot i la tendència de l'època, per a molts geògrafs, aquesta tècnica va restar com un mètode desconegut per a l'anàlisi de l'espai terrestre.

L'obscurantisme que envoltava la teledetecció es pot entendre, en part, en l'endarreriment que sovint presenta l'aplicació d'un mètode respecte del coneixement i desenvolupament de la tècnica en que es fonamenta. A més, en aquest cas, el fenomen es veia accentuat pel fet de que, fins fa relativament poc temps, les tècniques de teledetecció eren classificades per motius de seguretat militar.

² *Remote sensing of environment*, I (1969). Publicada trimestralment per American Elsevier, i editada per D. S. Simonett, Department of Geography and Center for Research in Engineering Science, University of Kansas at Lawrence. Veure també la nova *Journal of Remote Sensing* (Jan. 1970 *et seq.*, Sacramento, California), i *Remote sensing with special reference to agriculture and forestry* (National Research Council, Washington D.C., 1970)

Els primers avenços significatius ens arriben dels Estats Units d'Amèrica tot i que a Europa, a partir de l'any 1970 es comença a promoure activament l'ús de la teledetecció al Regne Unit gràcies al *Royal Radar Establishment*, al *Royal Aircraft Establishment* i altres organismes governamentals; per organitzacions comercials com, *EMI Electronics Ltd*, *Fairey Aviation Ltd*, *Hawker Siddeley Dynamics Ltd* y *Huntings Surveys Ltd*, i pels departaments universitaris en Aberystwyth, Glasgow i Londres, entre altres.

A partir d'aquest moment, la teledetecció comença el seu desenvolupament de forma lenta però continuada cap a la resta de països amb interessos en l'àmbit de la recerca i desenvolupament (R+D).

Fins a l'actualitat, la teledetecció s'ha desenvolupat amb el suport econòmic dels governs com una tècnica encaminada a proporcionar dades d'alta, mitja i baixa resolució espacial pel coneixement del clima, del medi ambient i del territori (cartografia). En el futur de la teledetecció s'entreveu un creixent interès per adaptar els programes espacials i aeris a les necessitats presents i futures de l'usuari (societat civil), coordinar esforços entre països i facilitar la trobada i cooperació de cara a assolir un ús efectiu de la tecnologia per la resolució de problemes regionals i globals i contribuir al desenvolupament econòmic i cultural.

La història de la teledetecció tant aèria com espacial mostra un increment constant i exponencial en el volum de dades adquirides, en termes de cobertura espacial, temporal i espectral. És a dir, cada vegada es cobreixen majors àrees del planeta, amb sensors de major resolució espacial, de forma més freqüent i utilitzant zones de l'espectre electromagnètic més amples.

Ens trobem en una etapa on la disponibilitat d'informació abasta llindars òptims i on la teledetecció entra en la fase d'explotació de les citades dades. La cooperació internacional, en termes científics i tecnològics per a que l'explotació de les dades d'observació de la Terra des de l'aire i l'espai sigui rendible i fructífera és el repte amb que ens enfrontem.

Pel que fa estrictament a l'àmbit de la teledetecció aerotransportada, una mostra significativa de la importància que està assolint en aquest darrers anys és la iniciativa

d'empreses com INASMET-TECNALIA, AZTI-TECNALIA i ROBOTIKER-Tecnalia que, juntament amb promotors privats, es dediquen al disseny, fabricació i comercialització de plataformes volants no tripulades (UAVs), de dimensions i costos reduïts i amb aplicacions marítimes.



Imatge d'un model d'UAV

El primer producte en veure la llum va ser la plataforma aèria FULMAR, la qual es va presentar el Juny de 2005 a Le Bouget (França). Aquest UAV pot recórrer fins a 800Km en 8 hores, en vol autònom programat mitjançant navegació GPS. Pot també efectuar reconeixements visuals en temps reals en un radi de 50Km del centre de control, amb cameres de vídeo de llum visible o infraroja o amb qualsevol altre tipus de sensor, fins una càrrega útil de 8 Kg i una altura d'operació màxima de 4.000m.

El sistema de monitorització aèria és idoni per a la monitorització de nombroses activitats, tant sobre la mar com sobre terra: lluita contra incendis, control d'abocaments, monitorització de la vida marina, detecció d'emergències, control del tràfic rodat, inspecció d'infraestructures, caracterització del medi ambient, etc.; tractant-se d'un nou mètode econòmic i segur per a realitzar les tasques aèries, substituint a altres mètodes més costosos com són els helicòpters i les avionetes.

No obstant, tant les normes administratives (restriccions de vol), com les tecnològiques (limitacions en potència i pes dels sensors) són problemes encara no resolts.

6-Els sensors hiperespectrals

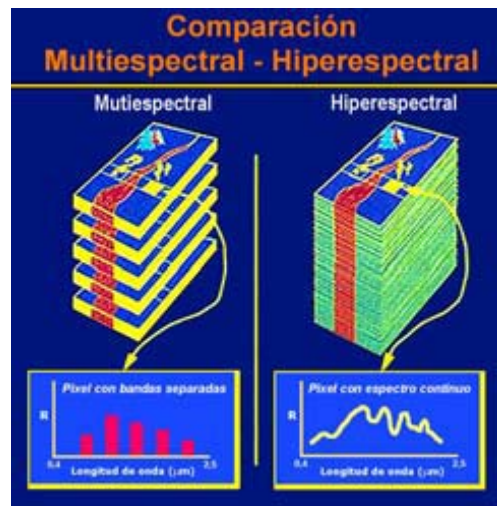
6.1-Introducció als sistemes hiperespectrals

Un sensor artificial multiespectral és aquell capaç de respondre a estímuls en múltiples petites zones de l'espectre visible (i límitrofs). Així trobem sensors artificials de tres bandes (vermella, verda i blava), també anomenats de "color real" (perquè el resultat s'assembla o es pot aconseguir que s'assembli molt al que perceben els nostres ulls), com per exemple els CCD de les cameres digitals de fotografia, de set bandes com el

Landsat Thematic Mapper, que a més d'una banda en el vermell, una altra en el verd i una en el blau, en té tres en l'infraroig proper i una en l'infraroig tèrmic, i altres que combinen capacitats multiespectrals amb pancromàtiques o de similar sensibilitat per a diverses freqüències (com el satèl·lit SPOT).

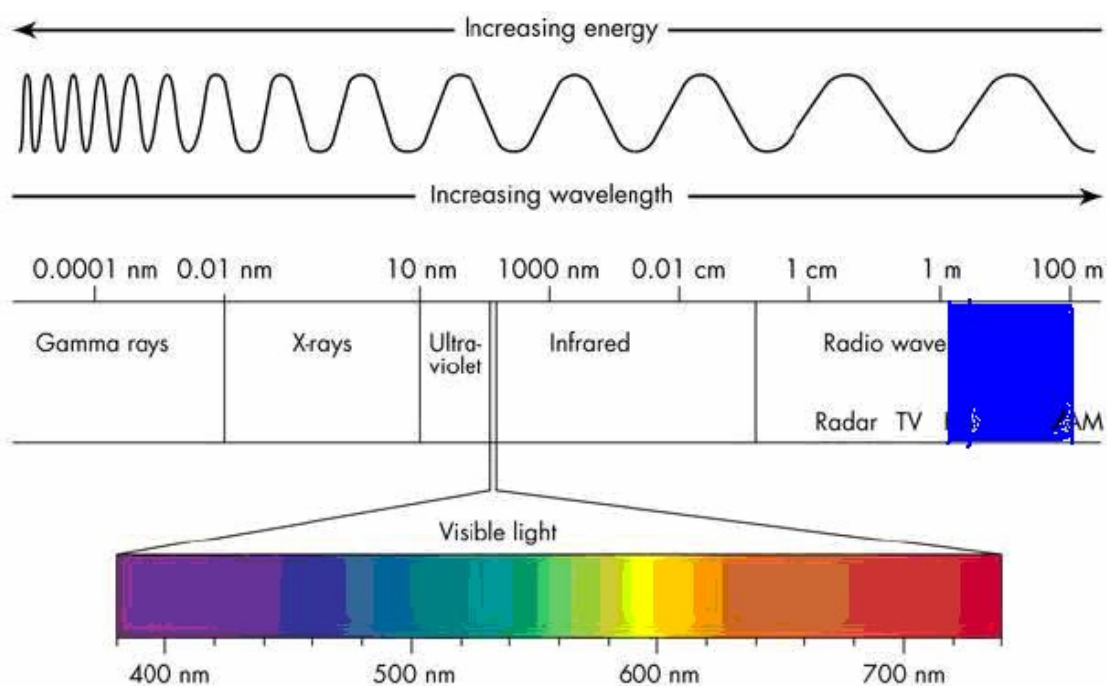
El problema dels sistemes multiespectrals (amb unes poques bandes) és que diferents formes en l'espectre (és a dir, diferents llums formades per diferents mesclades d'ones en diferents freqüències amb diferents intensitats) al passar a través de les respostes espectrals que generen la sortida en cada banda (cada zona de l'espectre) poden generar exactament la mateixa sortida en els detectors del sensor. Com a conseqüència, "a ulls" del sensor diferents materials poden veure's exactament iguals i, per tant, ser indistingibles.

Això es pot evitar emprant un sensor hiperespectral, que és un sensor capaç de mesurar la radiació en moltes bandes molt estretes, de forma que és molt més difícil que diferents combinacions espectrals, tot i ser molt semblants, generin la mateixa sortida i, per tant, es confonguin. Per això els sensors hiperespectrals són capaços de distingir materials, substàncies i objectes (per exemple, abocaments de substàncies contaminants a la mar que són indistingibles a simple vista). Però no només això, sinó que d'un mateix objecte o substància en podem fer un seguiment i conèixer en cada moment el seu estat.



Comparació entre els sensors Multiespectrals i Hiperespectrals

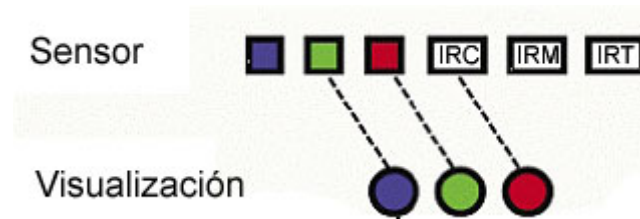
Una imatge hiperespectral, per tant, és una imatge en la que cada punt no ve descrit per un únic valor d'intensitat (com en una imatge en blanc i negre) o per tres components de color (com en una imatge RGB del monitor de l'ordinador), sinó per un vector (conjunt ordenat de valors numèrics) de valors espectrals que es corresponen amb la contribució de la llum detectada en aquell punt a estretes bandes de l'espectre, típicament entre 1 i 5 nm d'amplada (recordem que l'espectre visible abasta uns 300nm), un nombre de bandes des de les desenes fins a varis centenars, en moltes ocasions, i com veurem més endavant, no limitat estrictament al visible sinó també en l'infraroig i l'ultraviolat (no suposen una excepció aquells sensors que cobreixen des dels 300nm fins els 2500nm). Per això s'empra el terme *Imaging Spectroscopy* per a referir-se als sensors d'imatge hiperespectral perquè d'alguna manera és com si estiguéssim mesurant simultàniament amb multitud d'espectròmetres (que únicament mesuren la llum incident en un punt) tota una reixeta de punts (els punts de la imatge) en una gran zona geogràfica.



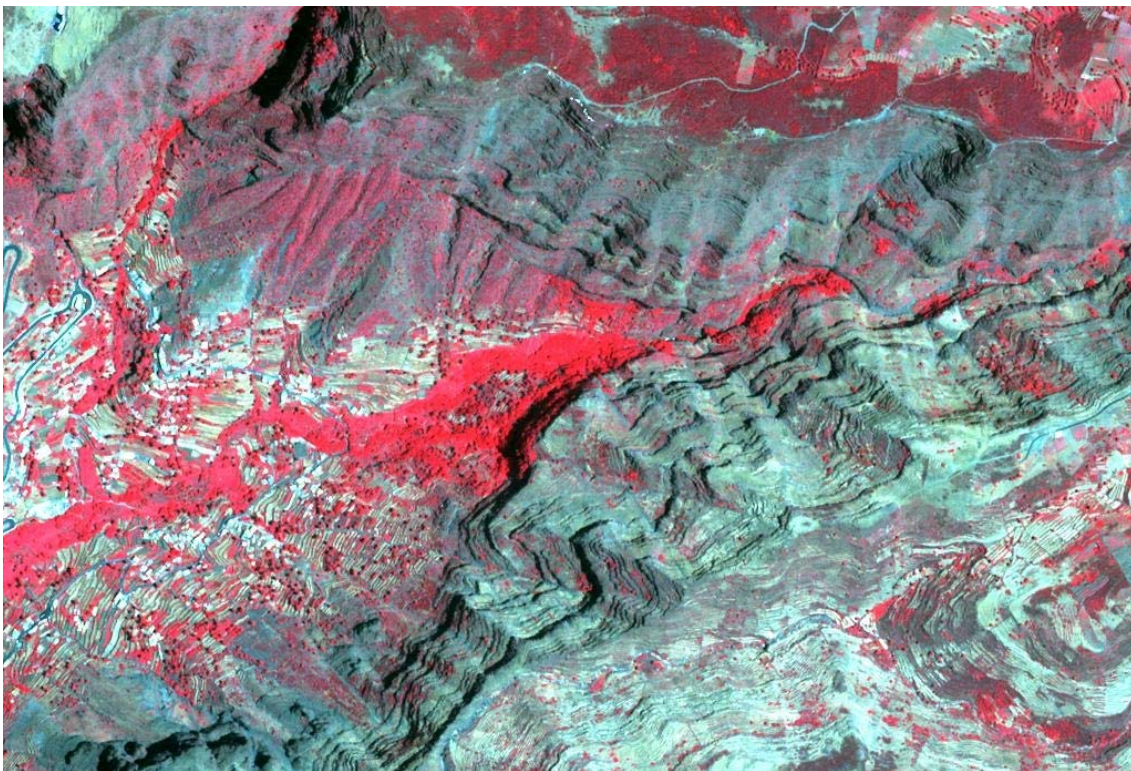
Representació de l'espectre electromagnètic amb ampliació de la zona corresponent al visible

Amb els sistemes hiperespectrals també és necessari un cert processat de senyal, ja que la visualització d'una imatge hiperespectral no és fàcil. Una possibilitat és aplicar la informació de tres bandes qualsevol dels centenars que pot tenir la imatge als canals vermell, verd i blau d'un monitor, i veure així una imatge que, si les bandes es trien amb cura, a les parts adients de l'espectre, es pot semblar molt a una imatge de color real (fotogràfica). També es poden promitjar o integrar varies bandes. En molts casos,

s'assigna el vermell a la zona de l'IR, especialment en aquells treballs en que estudiem la vegetació d'una zona, i en aquest cas, direm que la resultant és una imatge en “fals color”.

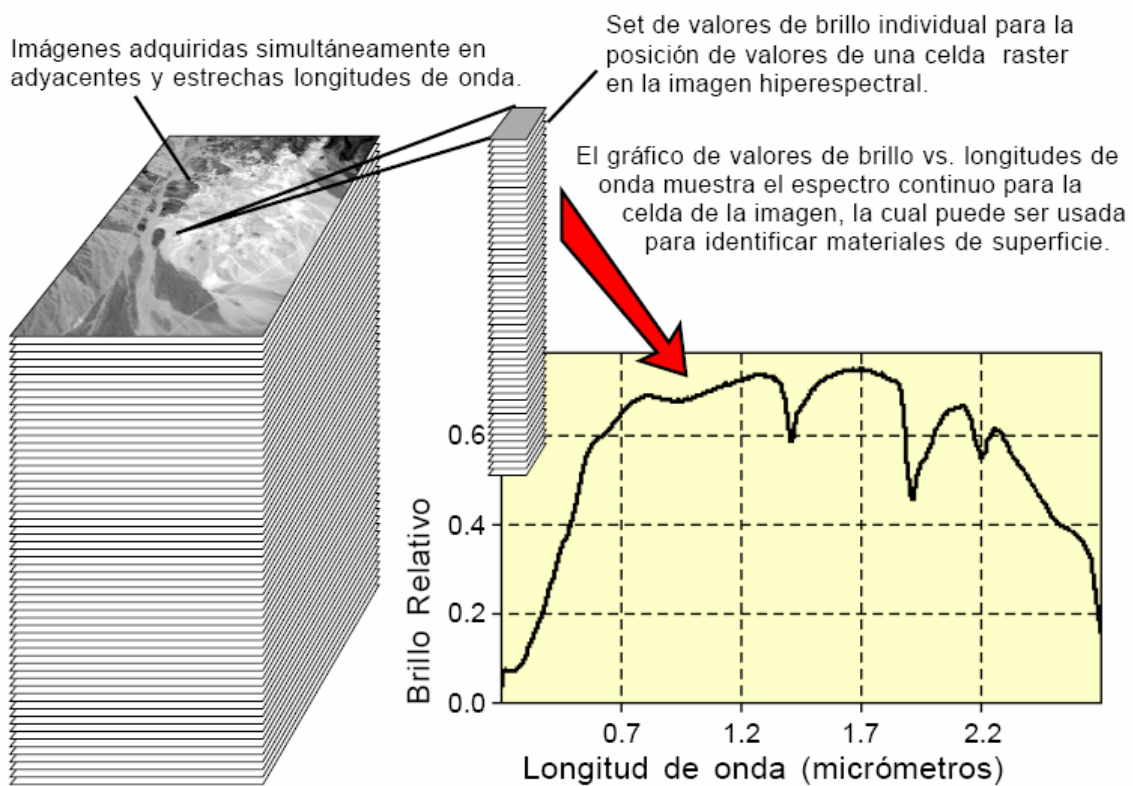


Esquema de formació d'una imatge en “fals color” per la combinació de tres bandes diferents dels colors primaris: blau, verd i vermell



Imatge del satèl·lit Quickbird mostrant en fals color vermell la vegetació associada als naixements de la vall *Gran Rey* (La Gomera – Illes Canàries)

Sigui com sigui, tota la informació continguda en una imatge hiperespectral no es pot visualitzar d'un sol cop, i per això en moltes ocasions es parla d'“hipercub” (imaginant una imatge hiperespectral com una pila d'imatges monocromàtiques, el que forma un volum 3D, en el que hi ha dos dimensions espacials, ample i alt, i una dimensió espectral, fons).



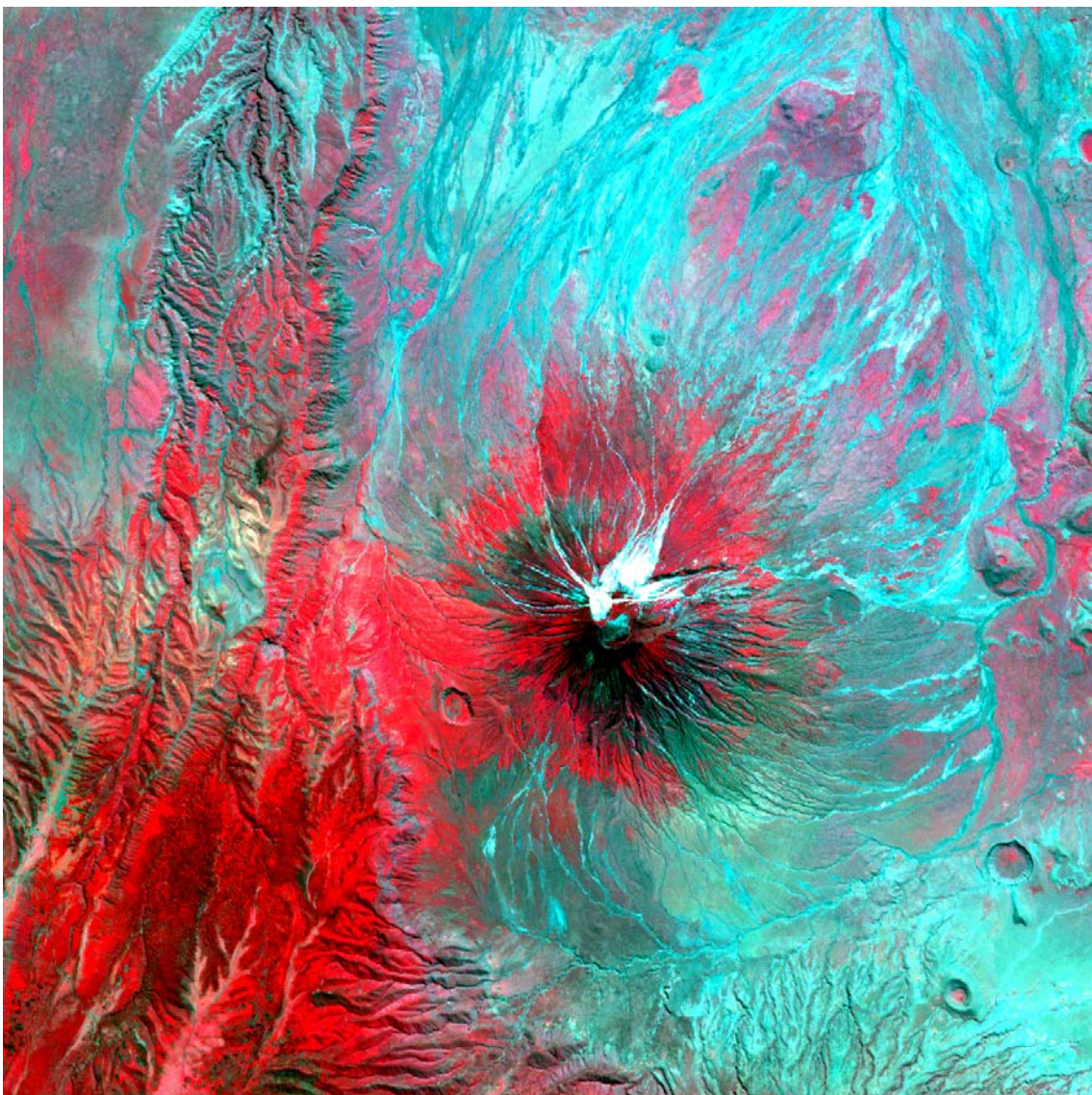
Exemple d'una imatge espectral on podem observar les dues dimensions espacials i l'espectral

De totes formes, visualitzar una imatge hiperespectral no és realment important en moltes de les seves aplicacions. La informació continguda en la imatge és molt més que la continguda en una imatge visible, i per obtenir informació sobre els objectes a la imatge s'usen mètodes específics de tractament de dades que no requereixen la visualització de la imatge, més que com ajuda per interpretar certs efectes i ajustar els algoritmes (mètodes de processament de la informació). El que si es visualitza clarament és la informació extreta de la imatge després del processament adient en forma, per exemple, de mapes de presència i concentració de contaminants en mars o zones costaneres.

6.2-Els sistemes en visible i infraroig proper (VNIR)

6.2.1-Introducció

Els sistemes òptics en la zona visible i infraroig proper s'han reivindicat com una potent eina per obtenir informació temàtica del territori. Tot i que no capta informació radiomètrica en les regions de l'infraroig mitjà i tèrmic, el fet de poder configurar una sèrie de bandes estretes, li proporciona una alta resolució espectral i una gran capacitat d'adaptació a objectes concrets i de discriminació d'elements del territori.



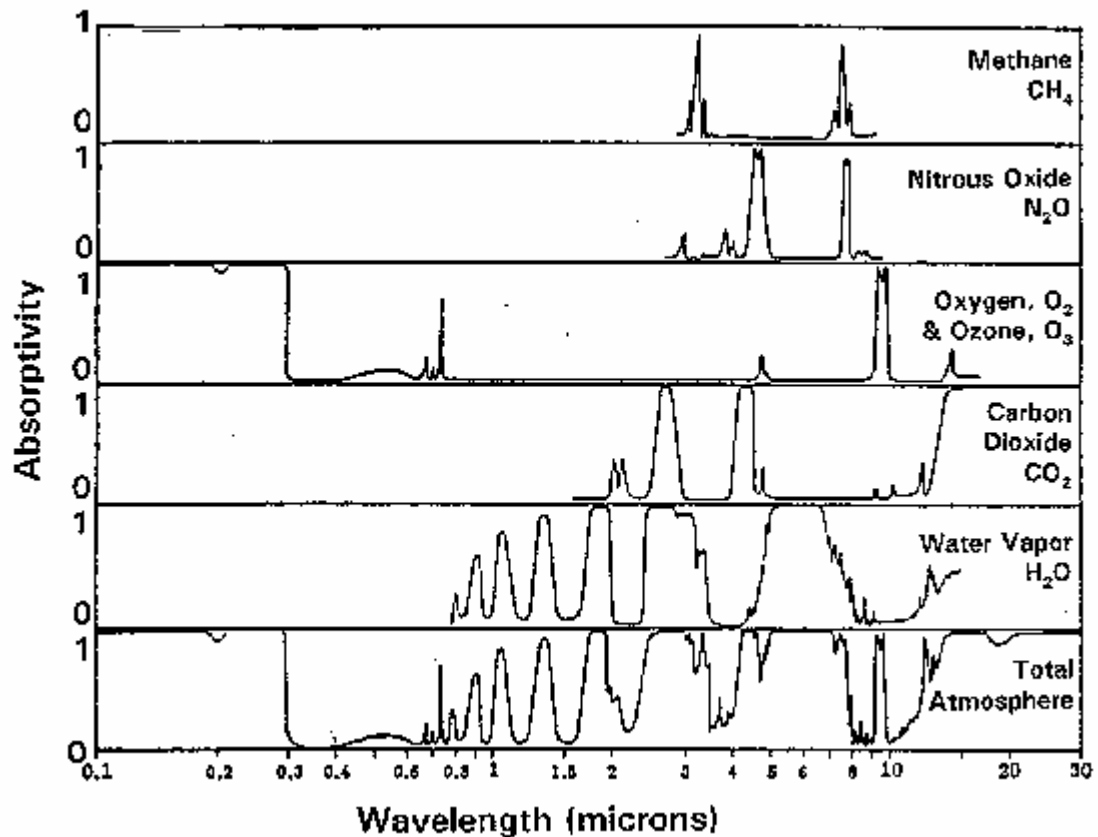
Imatge VNIR del volcà Ol Doinyo Lengai (Tanzania)

El CASI és un sensor òptic d'escombrat multiespectral basat en un dispositiu CCD bidimensional, amb una dimensió espacial i l'altra espectral. El rang de longituds d'ona sobre les quals opera el sensor, va des de 405 nm fins a 950 nm. La resolució espacial de les imatges que es capturen depèn, en el seu eix transversal a la línia de la navegació, de l'altura del vol i la focal del sensor (12,5 mm que fa que el FOV - *Field of View* - valgui 34,5°), intentant que tingui forma quadrada. Normalment s'obtenen resolucions entre 2 i 10 m.

Permet la selecció de bandes per obtenir informació espacial i espectral. El rang de longituds d'ona sobre les que opera va de 430 nm fins 950 nm. En la dimensió espectral ofereix 288 files, cada una correspon a una franja d'1,8 nm. Pel que fa a la dimensió espacial disposem de 612 columnes, de les que 512 passen a generar la imatge que tractarem i la resta s'utilitzen per a la calibració de les dades.

La resolució espacial de les imatges que es capturen depèn, en el seu eix transversal a la línia de navegació, de l'altura de vol i la focal del sensor. Típicament, s'obtenen resolucions de 2 a 10 m. En quant a la mida del píxel en el sentit de la direcció de vol, està en funció de la velocitat de l'avió sobre el terreny i del temps d'integració. Sovint es busquen uns paràmetres d'altura de vol, velocitat i temps d'integració que proporcionen una mida semblant en ambdós eixos: transversal i al llarg de la línia de vol. És a dir, es busca que el píxel sigui quadrat.

La importància de la resolució espectral recau en que, com major sigui, més capacitat tindrem per a discernir entre dues bandes d'absorció properes.



Espectres d'absorció d'alguns gasos presents en l'atmosfera terrestre on podem veure la proximitat entre les bandes, el que fa evident la importància de l'amplada espectral del sistema sensor.

El CASI és periòdicament calibrat al laboratori amb l'objectiu d'establir amb exactitud el seu rang espectral, conèixer i homogeneïtzar les petites deficiències d'uniformitat entre els elements que formen el CCD i, sobretot, convertir els DN (*Digital Number*) en radiàncies espectrals, és a dir, en l'energia total que arriba al sensor per unitat de longitud d'ona, per unitat de superfície i per unitat d'angle sòlid. A més, es procedeix a una calibració radiomètrica per a cada imatge processada, la qual utilitza els resultats de calibració en laboratori i, a més, mesures simultànies per a la obtenció de cada línia d'escombrat. Aquestes mesures són: offset electrònic, *dark scattering* i *fss (frame shift smear)*, que alhora depèn del llum incident, obertura del diafragma, temperatura i temps d'integració.

6.2.2-El sistema CASI-ICC

Per poder georeferenciar les imatges enregistrades pel sensor CASI és necessari determinar la posició i l'actitud (angles) del sensor en el moment de la presa de dades. A l'ICC s'ha optat per per determinar la posició del sensor mitjançant la utilització de tècniques de GPS diferencial i determinar l'actitud del sensor mitjançant la utilització d'un sistema de navegació inercial (INS).

El sistema CASI-ICC (figura següent) disposa de dos modificacions per a poder utilitzar correctament els valors d'orientació obtinguts a partir del sistema GPS i del subsistema INS. En primer lloc, disposa d'un muntatge especial per l'aïllament de vibracions i en segon lloc d'un protocol de sincronització dels diferents subsistemes aerotransportats (el subsistema d'imatge: CASI en si mateix, el subsistema de posicionament: receptor GPS i el subsistema d'actitud: un INS model LTN-101).



Sistema CASI-ICC, receptor GPS i INS en l'avió Partenavia P-68 Observer de l'Institut Cartogràfic de Catalunya.

El subsistema d'actitud del sistema CASI inicial és un giroscopi que únicament proporciona dos angles, *roll* i *pitch*, aleteig i capficall respectivament. La precisió que proporciona aquest giroscopi pels angles de *roll* i *pitch* és insuficient per a garantir el mosaic d'imatges CASI. A més, la informació que proporciona és incompleta al no proporcionar *heading*, angle que ha de ser aproximat per la trajectòria GPS.

El subsistema d'actitud ha estat millorat per un LTN-101. Aquest sensor inercial proporciona l'actitud completa *roll*, *pitch* i *heading*. Com s'ha dit anteriorment, per a poder transferir les orientacions del subsistema d'actitud al CASI s'ha sol·licitat a ITRES canvis estructurals en el sensor. Originàriament, el CCD del CASI té instal·lats dispositius d'aïllament contra les vibracions per protegir l'electrònica del sensor, fet que aïlla el CCD del subsistema d'actitud, no registrant, aquest últim, els moviments reals del CCD, és a dir, del sensor d'imatge pròpiament. Per a que les mesures del subsistema d'actitud corresponguin a la imatge registrada, el sensor inercial s'instal·la solidàriament al CCD, fent-se necessaris així, nous sistemes aïllants de les vibracions pel conjunt CCD-INS.

El sistema ha sigut dotat d'un nou protocol de sincronització que permet tenir les dades d'imatge (de fet, cada línia de la imatge) i les dades capturades per l'INS referides a temps GPS amb una precisió d'un mil·lisegon .

L'ICC ha desenvolupat el SISA (sistema integrat de sensors aerotransportats), *hardware* i *software* encarregat d'emmagatzemar les dades capturades en vol pels diferents sensors d'orientació (receptor GPS i INS) i de sincronitzar diferents subsistemes (GPS, INS i imatge CASI) en temps GPS.

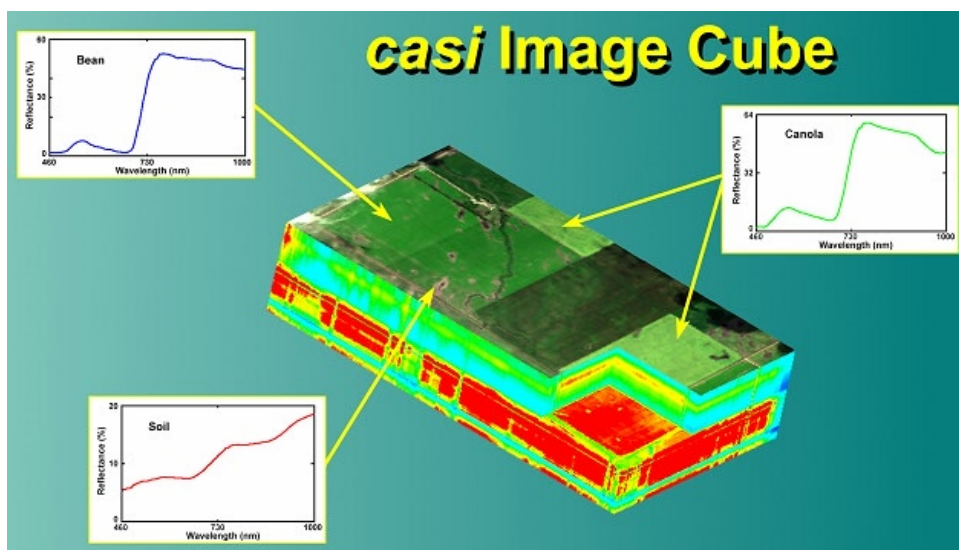
L'objectiu del procés de georeferenciació és determinar la posició i actitud per a cada línia de la imatge CASI. La posició es determina mitjançant tècniques de GPS diferencial en post-procés, combinant les dades d'una estació GPS de referència a terra amb les dades GPS de l'avió emmagatzemades pel SISA mitjançant el *software* GeoTeX-TRADER (desenvolupat per l'ICC).

L'actitud del sensor es determina mitjançant l'INS. En la versió actual del SISA es realitza un alineament del sensor inercial que proporciona un sistema de referència inercial (IRS), sistema de referència en que es calcula l'actitud. L'INS proporciona l'actitud del sensor en tot el vol, proporcionant els angles de *roll*, *pitch* i *heading* cada 20 mil·lisegons.

Degut a que, en la instal·lació de l'INS, no és possible alinear-lo exactament amb el CCD del CASI, és necessari calcular *a posteriori* una matriu de desalineament entre el CCD i l'INS, és adir, existeix una discrepància entre l'IRS i el sistema de referència de la imatge.

Per a completar el procés d'orientació s'identifiquen en les imatges alguns punts de control i altres punts de registre entre les imatges que formen un bloc. Aquestes informacions, juntament amb les de posició (GPS) i actitud (INS) són utilitzades en un ajust per a determinar la matriu de desalineament entre el sistema de referència imatge i l'IRS, emprant el GeoTeX. Un cop determinats aquests paràmetres es calcula, per a cada una de les línies de les imatges CASI, la orientació i es pot realitzar la rectificació de les imatges.

El resultat de la integració de subsistemes realitzada per obtenir el CASI-ICC i dels subsegüents desenvolupaments *software* per a la geocodificació i rectificació són la generació d'ortoimatges CASI. Aquestes imatges permeten la integració directa en un SIG (Sistema d'Informació Geogràfica) dels resultats que es puguin obtenir de la interpretació (automàtica o assistida) de les imatges CASI. Totes aquelles disciplines en les que el sensor s'ha mostrat útil (agricultura, estudis de litoral i qualitat de l'aigua, estudis forestals, etc.) poden aprofitar aquestes noves capacitats. La multitemporalitat o captura reiterada sobre una mateixa zona permet avaluar els canvis que en ella es produeixen en funció del temps i això té una importància capdal en qüestions de dinàmica elevada com són els fenòmens que afecten al litoral català.



Imatge CASI de Manitoba (Canadà). Font: *Canada centre for remote sensing*

6.3-Els sistemes tèrmics

6.3.1-Introducció

A l'any 1800, Sir William Herschel va realitzar un descobriment. Volia determinar la quantitat de calor que passava a través de diferents filtres acolorits que usava per a observar la llum solar.

Va observar que filtres de diferents colors semblaven deixar passar diferents quantitats de calor. Va pensar que possiblement els colors tindrien temperatures diferents i va idear un brillant experiment per a investigar aquesta hipòtesi.

Va direccionar la llum del Sol a través d'un prisma de cristall per a crear un espectre i així mesurar les temperatures de cada color.

Herschel va emprar tres termòmetres amb el bulb enfosquit per a cada color de l'espectre.

Segons anava mesurant les temperatures individuals de les llums violeta, blava, verda, groga, taronja i vermella, va comprovar que tots els colors tenien temperatures més altes que els controls. A més, va observar que les temperatures dels colors augmentaven des del violeta fins a la part vermella de l'espectre.

Després d'estudiar aquest patró, Herschel va decidir mesurar la temperatura existent just més enllà de la porció vermella de l'espectre, on la llum solar ja no era visible. Per a la seva sorpresa, va trobar que aquesta regió tenia la temperatura més alta de totes les registrades.

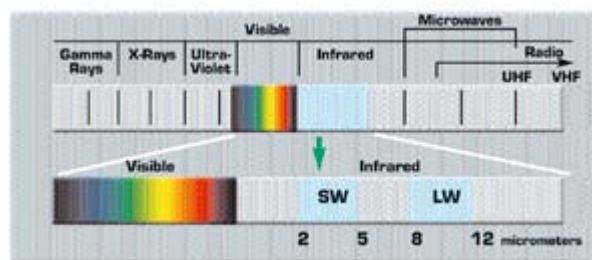


Imatge de Sir William Herschel

L'experiment de Herschel va ser important perquè va ser la primera vegada que algú va demostrar que existeixen tipus de llum que no podem veure amb els nostres propis ulls.

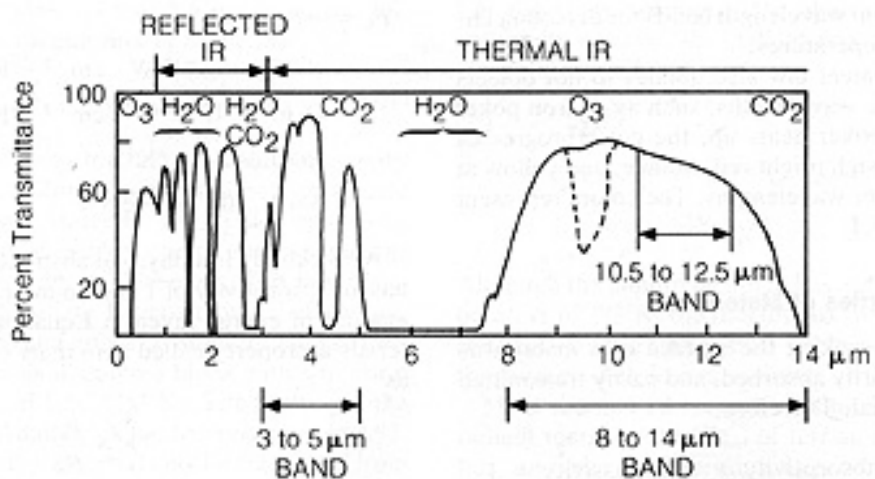
El que Herschel havia descobert va ser un tipus de llum més enllà de la llum vermella que ara coneixem com radiació infraroja.

Els nostres ulls són sensors dissenyats per a detectar llum visible (o radiació visible). Existeixen altres formes de llum (o radiació) que no podem veure però que sí que podem sentir. L'ull humà només pot veure una petita part de l'espectre electromagnètic. En un dels extrems de l'espectre no podem veure la llum ultraviolada, mentre que en l'altre els nostres ulls no poden veure la infraroja.



Part de l'espectre electromagnètic on veiem ampliada la zona visible i infraroja.

Radiacions infraroges es troben entre les zones visibles i invisibles de l'espectre electromagnètic. La principal font de radiació infraroja és la calor o radiació tèrmica. Qualsevol objecte que tingui una temperatura per sobre del zero absolut (-273,15 graus centígrads o 0 K) emet una radiació en la zona d'infrarojos. Fins i tot aquells objectes que pensem poguessin estar molt freds com glaçons de gel, emeten radiació. Estem exposats a la radiació infraroja cada dia. La calor que sentim del sol, d'un foc o d'un radiador també és infraroig. Encara que els nostres ulls no poden veure-les, els nervis de la nostra pell poden sentir-les com calor. Com més calent estigui l'objecte, major quantitat de radiació infraroja emetrà.



Zona de l'espectre electromagnètic de l'infraroig tèrmic

6.3.2-Funcionament dels sistemes tèrmics

El TABI 320 (*Thermal Airborne Broadband Imager*) és un sensor que opera a la zona de l'infraroig tèrmic (TIR), que és sensitiu a la radiació entre 8000 i 12000 nm. Té una resolució espacial d'entre 25 cm i 1.5m, una resolució espectral amb 288 bandes i una resolució tèrmica de 0.1 graus. Té una total capacitat de geo-correcció i ortorectificació amb Models Digitals del Terreny. Les seves imatges són usades per a detecció d'incendis, anàlisi d'estrès en vegetació, monitoreig de canonades, monitoreig de la humitat del sòl i temperatura de l'aigua; així com aplicacions urbanes.



Imatge del TABI-320 (iTRES)

Aquest sensor pot distingir diferències de temperatura tan petites com una desena part de grau, i nombroses característiques especialment dissenyades a prova de fallades per assegurar-se que les seves imatges seran nítides i clares. Aquest sistema produeix

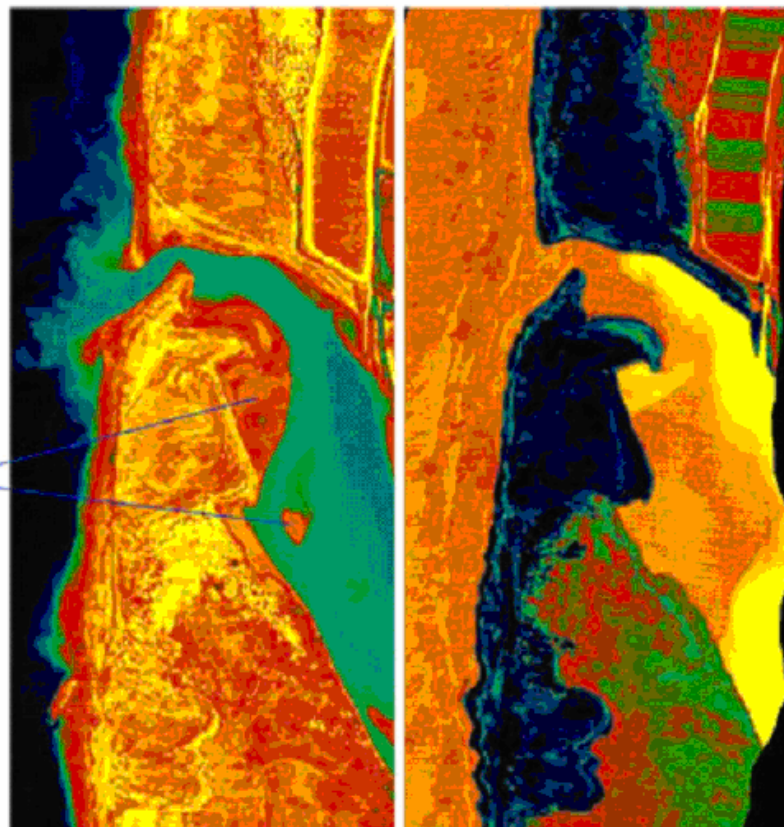
imatges d'alta fidelitat que ens permeten fer mapes de túnels subterranis i corrents d'aigua submergits, entre altres. El TABI pot ser operat en les diferents maneres que permeten nombroses aplicacions, com són com la cartografia urbana o la lluita contra incendis.

Característiques tècniques del sensor TABI-320	
Rang espectral (cobertura contínua)	8-12 micres
Nombre de canals espectrals	1
Nombre de píxels espacials	320
Camp de visió total (FOV)	48 graus
iFOV	2,8 mRad
Mida del píxel	50 x 50 micres
Rang dinamic	12 bits (4096:1)
Velocitat de transmissió de dades	19,2 Mpíxels/seg
Temperatura operacional	0 a +35 °C
Humitat relativa	20-80%
Alçada màxima	3.048 m
Temperatura d'emmagatzemen	-20 a +60 °C
Mida de pantalla	15''
Resolució de pantalla	1024x768
Control de l'operador	Via teclat i sistema operatiu Windows

Separate datasets at high and low tide provide an average coast-line position.

Current patterns may be characterized.

Note exposed shoreline and island at low tide



*Morning
(Low Tide) Image*

*Evening
(High Tide) Image*

Imatge obtinguda mitjançant el TABI-320 de la zona costanera de Monterrey (California)

El TASI 600 (*Thermal Airborne Spectrographic Imager*), també de l'empresa comercial iTRES, és un dels pocs sistemes sensors hiperespectrals tèrmics comercialment disponibles per a ésser instal·lats en plataformes aèries.

Disponible en 32 o 64 canals espectrals de configuració, amb un rang espectral de 8 a 11,5 micres, i amb 600 píxels espacials, s'adapta bé a nombroses aplicacions crítiques incloent l'exploració minera, mapes geofísics, i les mines terrestres i artefactes de detecció.

El TASI 600 es distingeix d'altres sensors tèrmics en dos punts importants:

1. És un sensor imatge, el que significa que cada píxel de la imatge tèrmica és referenciada amb coordenades geogràfiques i amb valors d'elevació.
2. És hiperespectral, és a dir, en lloc d'oferir una única imatge de grisos que cobreixen tot l'espectre tèrmic, el TASI proporciona 32 bandes espectrals de manera que es pot veure la imatge tèrmica en "fals color".

Amb el TASI, tot i que únicament rebem mesures relatives de temperatura, podem determinar els valors d'emissivitat i temperatura absoluta. També podem identificar materials com tipus de roques, tipus de sols, metalls, plàstics i altres materials fets per l'home. A més, la radiació tèrmica serà visible a través de materials de baixa densitat, de forma que el TASI li permet "veure" a través de la vegetació i d'aquelles superfícies primes que cobreixen el terra.

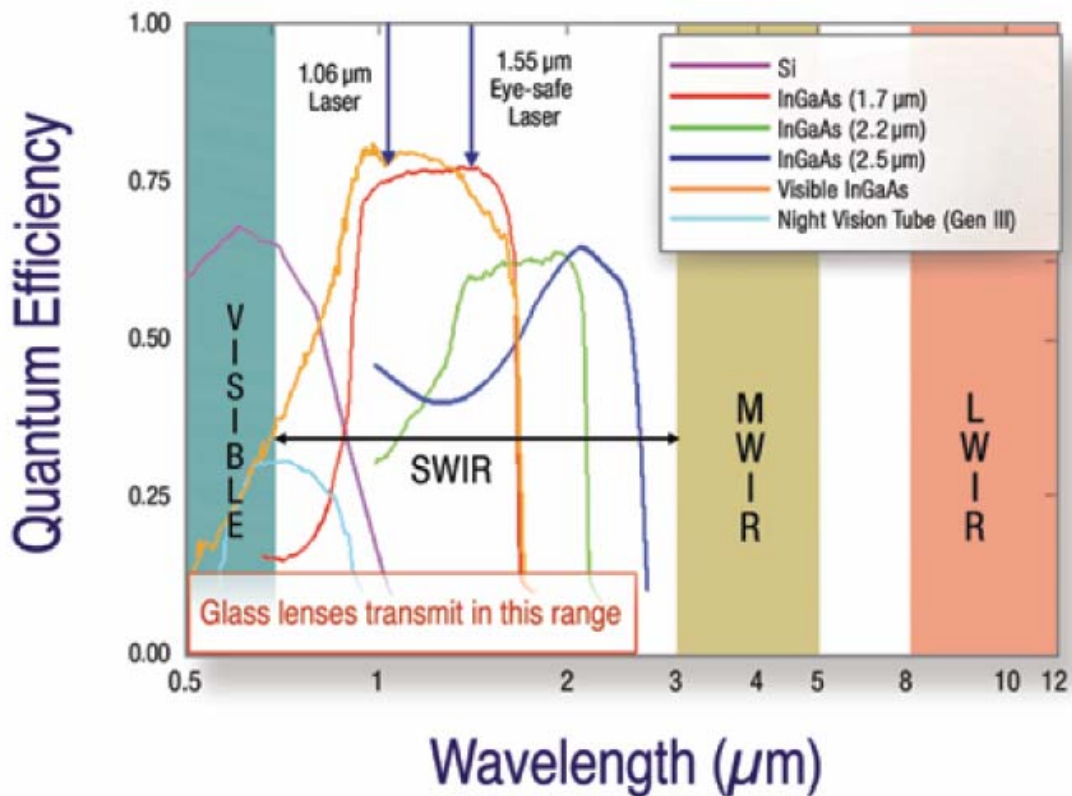


Imatge del TASI 600 (iTRES)

Característiques tècniques del sensor TASI-600	
Rang espectral (cobertura contínua)	8,0-11,5 micres
Nombre de canals espectrals	32
Nombre de píxels espacials	600
Camp de visió total (FOV)	40 graus
iFOV	0,49mRad
Mida del píxel	30x30 micres
Rang dinamic	14-bits (16384:1)
Velocitat de transmissió de dades	4 Mpíxels/seg.
Temperatura operacional	De 0 a + 35°C
Humitat relativa	20-80%
Alçada màxima	3.048 m
Temperatura d'emmagatzemen	-20 a +60°C
Mida de pantalla	15''
Resolució de pantalla	1024x768
Control de l'operador	Via teclat i sistema operatiu Windows

6.4-Els sistemes SWIR

El desenvolupament d'uns sensors especials, amb detectors construïts amb indi, gal·li i arsènic (InGaAs) ha fet possible recentment que la franja de l'espectre electromagnètic que anomenem infraroig d'ona curta (*ShortWave InfraRed*) i que comprèn el rang entre els 0,9 i 2,6 μm s'emperi per a la teledetecció amb resultats molt interessants.



Zona de l'espectre de la zona SWIR i eficiència quàntica dels diferents sensors

La llum en la banda SWIR no és visible per a l'ull humà (recordem que la zona visible de l'espectre electromagnètic es troba entre les longituds d'ona de 0,4 i 0,7 micres). Longituds d'ona majors que les compreses a la zona visible únicament poden ser detectades per sensors específics com són els de InGaAs. Però, tot i que la llum en la zona SWIR no és visible per a l'ull humà, aquesta interacciona amb els objectes de forma similar a com ho fan les longituds d'ona en la zona visible. Això vol dir que la llum d'infraroig d'ona curta és reflectiva i es reflexa en els objectes més que la llum visible. Com a resultat d'aquesta naturalesa reflectiva, la llum SWIR genera ombres i contrastos en les imatges. Les imatges de les càmeres InGaAs són comparables a les

imatges en visible en resolució i detall tot i que no tenen color en primera instància, però al assignar-li un color visible per a l'ull humà a tres bandes de l'espectre SWIR ja tenim una imatge en color. Això fa que els objectes siguin fàcilment identificables.

Els sensors InGaAs són extremadament sensibles i les cameres SWIR podran treballar en condicions d'absoluta foscor construint un pla focal amb milers o milions de petits sensors o sensors píxel. Per a poder emmagatzemar o transmetre aquesta informació correctament és imprescindible que els sensors SWIR converteixin la llum en senyals elèctrics.

Existeixen altres sensors com els de mercuri, cadmi i teluri (HgCdTe) o indi i antimoni (InSb) que poden ser molt sensibles en aquesta zona de l'espectre però que no hem tractat ja que el seu ús és pràcticament exclusiu dels militars al necessitar-se avions molt grans i potents per a poder instal·lar-hi els sistemes de refrigeració que aquest tipus de sensors necessita per tal d'obtenir una relació senyal/soroll (S/N) acceptable.

Avantatges de treballar en SWIR:

- Alta sensibilitat
- Alta resolució
- Possibilitat de treballar tant de dia com de nit
- Possibilitat de veure làsers i balises
- No requereix refredament criogènic
- En la majoria de casos les lents que emprava són de baix cost
- Dimensions reduïdes
- Requeriment energètic baix.



Imatge en visible amb boira



Mateixa imatge en SWIR

7-Els sistemes radar

7.1-Introducció

El Radar és un sistema electrònic que permet detectar objectes i determinar la distància a que es troben projectant sobre ells ones de radio, en el rang de les microones, que són reflectides per l'objecte i que al ser rebudes novament per l'antena del radar permeten calcular la distància a la que es troba l'objecte, en funció del temps que tarda en anar i tornar el senyal de ràdio.

De tots és coneguda la utilització del radar en el control del tràfic aeri, marítim o en el control policial de la velocitat en el tràfic rodat. Però més enllà d'aquestes aplicacions, els radars, mitjançant un elaborat processament del senyal, estan essent emprats per a formar imatges de la superfície amb resolucions de l'ordre d'alguns metres i, fins i tot, alguns centímetres. Les aplicacions potencials d'aquests sistemes són innumerables: cartografia de zones d'alta nuvolositat (inaccessibles mitjançant sensors òptics, ja que els núvols són "transparents" per a microones de determinada freqüència però no per a la radiació dels sistemes òptics), obtenció de models topogràfics d'alta precisió, determinació de recursos hídrics, vegetació, classificació de cultius i els que més ens interessin a nosaltres, els relacionats amb l'oceanografia, que inclouen:

- Monitoratge de l'estat de la mar, corrents i fronts de vent
- Espectre d'ones per a models numèrics de previsió
- Elaboració de mapes de la topografia submarina
- Pol·lució marina causada per abocaments de petroli
- Detecció de vaixells (pesca il·legal, etc.)
- Recolzament per a l'establiment de rutes marítimes.

Un element a considerar en la importància del radar com a eina és que no necessita la presència del Sol per a treballar (la font d'il·luminació del sistema, la genera la pròpia plataforma radar), per la qual cosa, tenim imatges de nit i això té una especial rellevància en diversos àmbits com són els de la vigilància.

Per altra banda, el radar, en la seva resposta, és molt crític amb la rugositat, el que el converteix amb una eina de gran efectivitat en la detecció de taques d'oli o hidrocarburs en general a la mar, ja que aquestes substàncies provoquen canvis en la capil·laritat i tensió superficial de l'aigua.



Imatge d'un abocament contaminant a la mar des d'un vaixell i on s'observa el canvi en la superfície marina afectada.

Els sistemes radar poden agrupar-se en *imatgeadors* (o generadors d'imatge) i *no imatgeadors*. Els *imatgeadors* engloben els sistemes d'antena rotatòria (presentes en la totalitat de vaixells), els radars de vista lateral d'obertura real (SLAR) i els radars de vista lateral d'obertura sintètica (SAR). Entre els *no imatgeadors* destaquen els escateròmetres, els espectròmetres i els altímetres.

7.2-Antecedents històrics

La paraula radar correspon a les inicials de *Radio Detection And Ranging*, i va ser utilitzat per les forces aliades durant la II Guerra Mundial per a designar diversos equips de detecció i per a fixar posicions. No només indicaven la presència i distància d'un

objecte remot, denominat objectiu, sinó que fixaven la seva posició a l'espai, mida i forma, així com la seva velocitat i sentit i direcció de desplaçament.

Tot i que en els seus orígens va ser un instrument bèl·lic, actualment s'empra per a finalitats pacífiques com la navegació marítima, el control del tràfic aeri, la detecció de fenòmens meteorològics i el seguiment d'aeronaus.

Tot i que no es pot parlar d'una data precisa, els orígens del Radar es situen a mitjans de la dècada dels anys 30 del segle passat tot i que existeixen alguns precursors anteriors. El propi Hertz en els seus experiments (1888) ja va constatar la pertorbació que objectes de diversa naturalesa causaven en les ones de radio. El 1904, l'alemany C. Hülsmyer va patentar un sistema destinat a la detecció radioelèctrica de vaixells. No obstant, en aquella època l'interès polític i industrial en aquests sistemes era escàs i no es va arribar gaire més enllà d'algunes experiències aïllades.

La tensió internacional existent en els anys previs a la II Guerra Mundial va fer que les administracions de tots els països amb tecnologia en radio impulsessin el desenvolupament dels primers radars. Aquests sistemes radiaven senyals d'ona contínua o polsada en HF, VHF i UHF sent capaços alguns d'ells de detectar i situar avions a distàncies de l'ordre de centenars de quilòmetres.

A principis dels 40, dos investigadors de la Universitat de Birmingham inventen el magnetró de cavitat, capaç de generar potències de quilovats a freqüències de microones.

La possibilitat d'aconseguir directivitats elevades amb antenes petites va impulsar fortament el desenvolupament tecnològic en aquesta banda fins el punt de que gran part dels dispositius passius de potència de microones tal i com els coneixem a l'actualitat es desenvolupen en aquesta dècada. El llavors codi secret de denominació de les bandes de microones: L (1-2 GHz), S (2-4 GHz), C (4-8 GHz), X (8-12.5 GHz), etc. s'ha consolidat com l'estàndard actual. La utilització d'una o altra banda té importància en les prestacions del sistema, ja que qüestions com la mida de les antenes, potència necessària per generar les ones radar, resolució espacial o capacitat de penetració en el terreny en depenen.

En aquesta època el Radar va ser aplicat fonamentalment a interessos militars: vigilància i localització aèria i marítima, control de tir, etc., essent aplicat també com ajuda a la navegació al creixent tràfic aeri civil.

En els anys 50 es va aprofundir en les bases teòriques del Radar, aconseguint-se determinar els límits assolibles en la capacitat de detecció, determinació de la posició, velocitat, etc. Alguns conceptes fonamentals com el filtre adaptat, compressió de polsos, teoria de la detecció, etc. es desenvolupen per radaristes d'aquesta època, aplicant-se posteriorment als sistemes de telecomunicació. La disponibilitat dels Klystron, vàlvules de potència amb capacitat per amplificar linealment en el marge de les microones, va permetre la utilització de senyals elaborades de llarga durada i gran energia, obtenint-se resolucions de distància comparables a polsos molt més curts.

En aquesta dècada comencen a consolidar-se algunes aplicacions civils del radar com ajuda a la navegació aèria i marítima, radars meteorològics proporcionant informació en temps real sobre precipitacions, vents, etc. i els radars d'obertura sintètica (SAR) ideats per a formar imatges d'alta resolució de la superfície terrestre.



Antena radar present pràcticament en la totalitat dels vaixells

A partir dels anys seixanta fins a l'actualitat, el radar ha impulsat i s'ha beneficiat del gran progrés tecnològic en matèria de l'estat sòlid, circuits i processadors digitals, amplificadors de potència i baix soroll, agrupacions d'antenes de fase controlada, etc. Aquests avanços han permès construir sistemes altament complexes amb els radars tridimensionals capaços de situar i seguir centenars de blancs en distància, azimut i

elevació, o els radars transhoritzó que treballen en HF i que posseeixen abasts de l'ordre de 2000 Km. També s'han desenvolupat nous sistemes concebuts per el sondeig geològic subterrani o radars làser (lidars) per a la mesura d'aerosols i contaminants en l'atmosfera.

Indubtablement, els interessos de defensa han seguit iniciant i finançant el desenvolupament del radar, els avanços i innovacions s'han transferit en pocs anys als àmbits civil i comercial del radar i les telecomunicacions. No obstant, aquesta situació ha començat a canviar recentment al dedicar-se un creixent esforç científic i dotació de recursos directament a programes d'observació de la Terra amb tècniques de teledetecció. La monitorització de paràmetres geofísics en un moment de creixent preocupació per l'estabilitat climàtica i biològica del nostre planeta, està impulsant el desenvolupament de nous sensors aerotransportats o embarcats en satèl·lits.

Tot i que els sensors tradicionals utilitzats en teledetecció són òptics (Meteosat, MSG Landsat, Spot, etc.), podem afirmar que el radar s'ha convertit en un dels centres d'atenció en l'actualitat.

7.3- Característiques del senyal radar

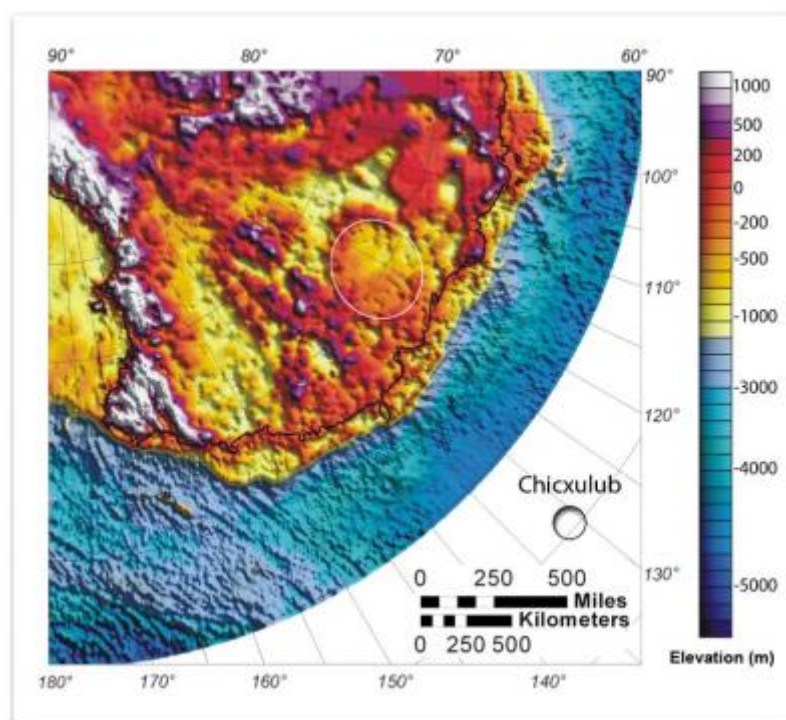
El terme Radar ha estat emprat de forma genèrica per a classificar els sistemes que operen en la regió de freqüències de les microones. La creixent utilització de les imatges en aquesta franja espectral respon a les característiques pròpies del sistema de captació d'aquestes imatges, ja que les ones electromagnètiques compreses entre els 0.3GHz i els 300GHz (microones) es transmeten eficientment a l'atmosfera independentment de la il·luminació solar o, fins i tot, durant precipitacions o condicions de nuvolositat.

La transmissió de les ones electromagnètiques dins un medi és directament proporcional a la longitud d'ona, d'aquesta manera, com menor sigui la freqüència del radar, major serà la seva penetració. Aquesta facilitat permet la obtenció d'imatges on els sistemes que operen en la regió del visible i de l'infraroig es mostren ineficaços ja que les seves freqüències són molt més elevades.

Segons la freqüència de treball, podem diferenciar entre:

Nom de la banda	Freqüències	Longitud d'ona	Observacions
<u>HF</u>	3-30 <u>MHz</u>	10-100 <u>m</u>	Radars de vigilància costanera i vigilància OTH (over-the-horizon)
<u>P</u>	< 300 MHz	1 m+	“P” de previ, aplicat de la forma retrospectiva als sistemes radars primitius
<u>VHF</u>	50-330 MHz	0.9-6 m	Vigilància a distàncies molt elevades, penetració en el terreny
<u>UHF</u>	300-1000 MHz	0.3-1 m	Vigilància a distàncies molt elevades (ex: detecció de míssils), penetració en el terreny i a través de la vegetació
<u>L</u>	1-2 <u>GHz</u>	15-30 <u>cm</u>	Distàncies elevades, control de tràfic en ruta
<u>S</u>	2-4 GHz	7.5-15 cm	Vigilància a distàncies intermèdies. Control de tràfic en terminals. Condicions meteorològiques a llargues distàncies
<u>C</u>	4-8 GHz	3.75-7.5 cm	Seguiment a distàncies elevades. Meteorologia
<u>X</u>	8-12 GHz	2.5-3.75 cm	Guia de míssils, meteorologia, cartografia de resolució mitja. Seguiment a distàncies curtes
<u>K_u</u>	12-18 GHz	1.67-2.5 cm	Cartografia d'alta resolució. Altimetres per satèl·lits
<u>K</u>	18-27 GHz	1.11-1.67 cm	Absorció del vapor d'aigua. S'usa en meteorologia, per detectar núvols. També per control de velocitat de motoristes.
<u>K_a</u>	27-40 GHz	0.75-1.11 cm	Cartografia de molt alta resolució vigilància d'aeroports. Emprat per accionar cameres per fotografiar matrícules de cotxes infractors

<u>mm</u>	40-300 GHz	7.5 mm - 1 mm	Banda mil·limètrica
<u>Q</u>	40-60 GHz	7.5 mm - 5 mm	Comunicacions militars
<u>V</u>	50-75 GHz	6.0-4 mm	Absorbida per l'atmosfera
<u>E</u>	60-90 GHz	6.0-3.33 mm	
<u>W</u>	75-110 GHz	2.7 - 4.0 mm	S'empra com sensor per vehicles autònoms experimentals, meteorologia d'alta resolució i tractament d'imatges.



Imatge radar d'elevació de la part Est de l'Antàrtida

7.4-Sistema SAR

7.4.1-Introducció

Un radar d'obertura sintètica (acrònim SAR, de l'anglès *Synthetic Aperture Radar*) és un tipus de sistema radar que consisteix en processar mitjançant algoritmes la informació capturada per l'antena del radar. Aquest procés cerca combinar la informació obtinguda en varis escombrats de l'antena per recrear un únic "escombrat

virtual”. Al final, el sistema radar proporciona el mateix rendiment que donaria si estigués equipat amb una antena molt més gran i directiva que la que té en realitat. El seu ús es limitava, en la seva creació, a casos en els que el radar estava en moviment i els blancs relativament immòbils (avions). També s’ha emprat abundantment en aplicacions de cartografia i teledetecció.



McDonnell Douglas DC-8 Equipado con un radar SAR de la NASA

En una aplicació SAR típica, s’acobla una antena de radar en un lateral del fuselatge d’un avió. A causa dels fenòmens de difracció, per obtenir un feix de radiació estret es necessitaria una antena molt gran, que evidentment no pot ser instal·lada en una aeronau. Per tant, els polsos emesos pel radar de l’avió seran amples. El sistema es configura de tal manera que el pols sigui ample en la direcció vertical: típicament il·luminarà el terreny des de immediatament a sota de l’avió fins l’horitzó.

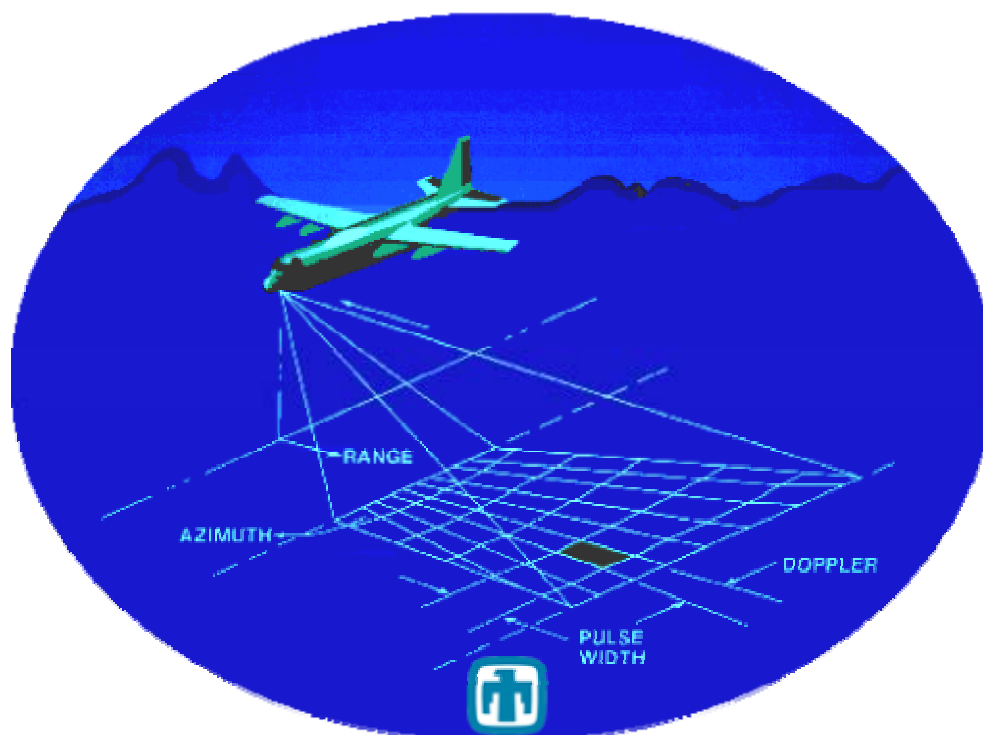
Si el terreny és aproximadament pla, el temps que tarden en arribar els diferents ecos permet distingir punts del terreny situats a diferents distàncies en la línia de la trajectòria de la nau: si l’eco triga “ t ” s en tornar a l’antena, sabrem que ha estat reflectit per un punt situat aproximadament a una distància que es correspon amb el resultat de l’equació següent:

$$r = \frac{c \cdot t}{2}$$

on “c” és la velocitat de la llum. Distingir dos punts al llarg de la trajectòria de l’avió és molt difícil amb una antena petita. No obstant, si es va guardant la informació d’amplitud i fase de cada senyal reflectida en un determinat punt del terreny i la nau va emetent una ràfega de polsos a mesura que avança, llavors serà possible combinar els resultats dels citats polsos.

En resum: una antena petita emet una sèrie de polsos consecutius, rep una sèrie d’ecus i els combina de forma que sembli que és una única observació (simultània) d’una antena gran. S’ha creat una “obertura sintètica” molt més gran que la longitud real de l’antena i, de fet, molt més gran que el propi avió.

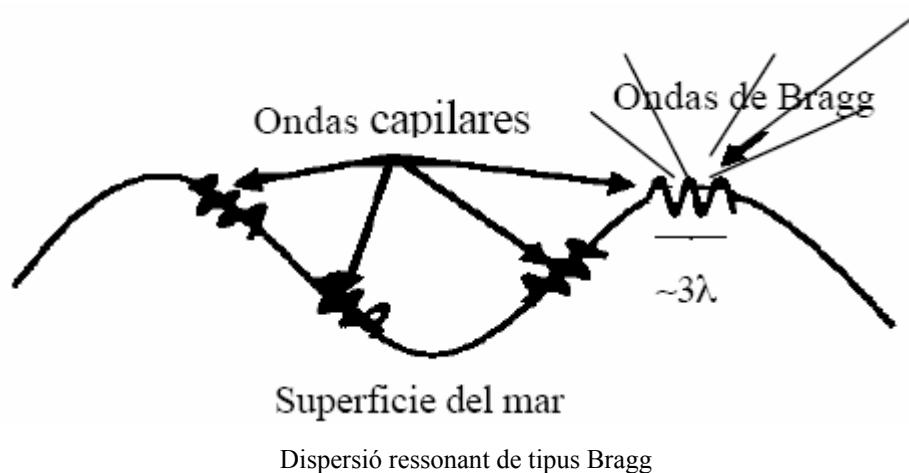
Combinar les sèries d’observacions és computacionalment molt costós. Normalment no es fa a bord de l’avió, sinó que les observacions s’envien a estacions terrestres i allà es combinen emprant tècniques basades en transformades de Fourier. El resultat és un “mapa de reflectivitat radar”. De cada punt del terreny es sabrà com distorsiona l’amplitud i la fase del pols. En les aplicacions més simples la informació de fase es refusa. A partir de la informació d’amplitud es poden extreure multitud de dades sobre la superfície. Aquests mapes no són fàcils d’interpretar.



Esquema de funcionament d'un SAR aerotransportat

7.4.2-Detecció de fenòmens mediambientals mitjançant imatges del SAR

Els sistemes SAR emeten ones curtes d'uns centímetres. La intensitat del senyal rebut es deu principalment a la rugositat a petita escala de la superfície. Quan la superfície que es monitorea mitjançant radar és rugosa i conté pendents petites la mida de les quals és comparable amb la longitud de la ona del senyal radar, llavors s'observa el fenomen de difracció. En el cas de la superfície de la mar, el senyal del SAR dispersat pels trens d'ones capil·lars o petites d'altura compresa entre 0,1 mm i 10 cm es suma coherentment, és a dir, es produeix una dispersió ressonant de tipus Bragg com il·lustrem amb la figura següent:

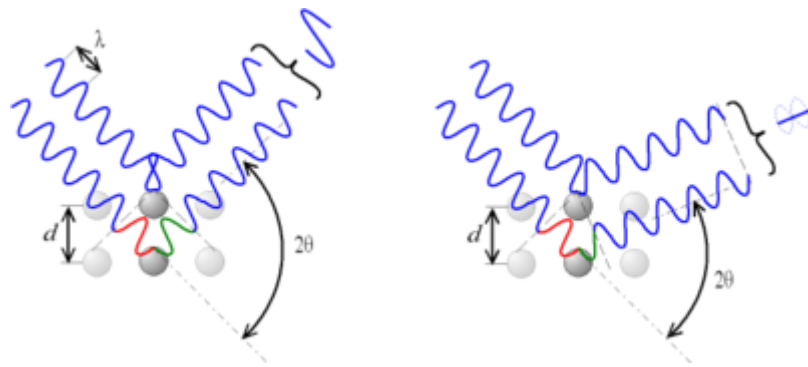


La interferència és constructiva quan la diferència de fase entre la radiació emesa per la superfície és proporcional a 2θ . Aquesta condició s'expressa en la Llei de Bragg:

$$n\lambda = 2d\sin(\theta)$$

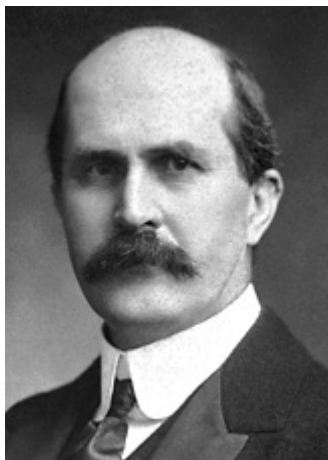
On:

- n és un nombre enter
- λ és la longitud d'onda dels raigs X
- d és la distància entre els plans de la red cristalina
- θ és l'angle entre els rajos incidents i els plans de dispersió.



Quan l'angle de desviació és 2θ , el Canvi de fase de les ones produeix interferència constructiva (figura de l'esquerra) o destructiva (figura de la dreta)

Els físics britànics William Henry Bragg i el seu fill William Lawrence Bragg varen ser guardonats amb el Premi Nobel de Física al 1915 pels seus treballs en la determinació de l'estructura cristal·lina del NaCl, el ZnS, i el diamant, que van ser possibles gràcies al seu desenvolupament de la Llei explicada anteriorment dos anys abans.



Sir William Henry Bragg



William Lawrence Bragg

En efecte, en la imatge s'observa una àrea marina en alts tons de gris, gairebé blanca. En el cas contrari, quan en la superfície de la mar no hi ha onades petites, no es produeix la ressonància del senyal i en la imatge s'observen unes zones superficials fosques. Les traces de matèria orgànica (com són els productes de cru, d'olis minerals, de deixalles urbanes o rurals, de la vida marina natural, etc.) en la superfície marina, amb propietats tensoactives, produeixen una disminució local de la rugositat de la

superfície de la mar deguda principalment al vent i a les onades capil·lars, que es reflecteix en una menor reflectivitat del senyal emès i detectat pels sensors del SAR.

Aquestes taques o plomalls foscos en les imatges SAR, són independents de les condicions d'il·luminació solar i de cobertura per núvols, no obstant això, el possible contrast depèn fortament de la velocitat del vent, a saber: quan la velocitat del vent és major de 2-3 m/s i menor de 10-12 m/s les condicions de la detecció de les taques mitjançant el SAR són les més favorables.

Les imatges dels radars actius SAR ajuden a detectar en alta mar i en les proximitats de les costes els abocaments de residus oliosos procedents dels vaixells i d'altres fonts de contaminació tal com es veuen en les Figures a i b següents en les quals s'aprecien esteles detectades, respectivament, mitjançant fotografia aèria i el dispositiu SAR.



Figura a

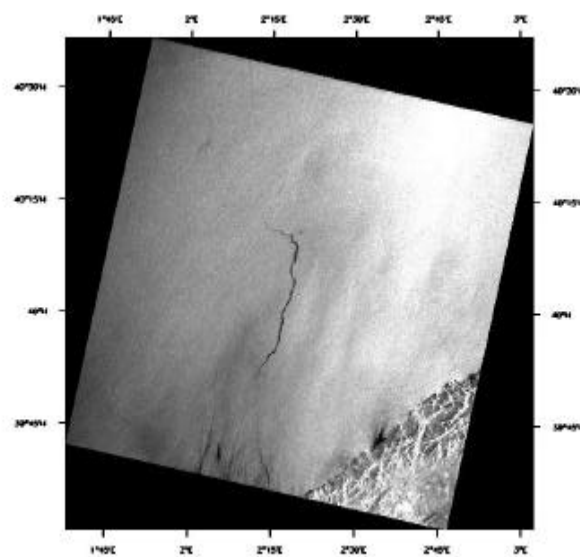


Figura b

Figura a: Fotografia on es pot observar l'abocament de residus oliosos procedents d'un vaixell a la Mar del Nord.

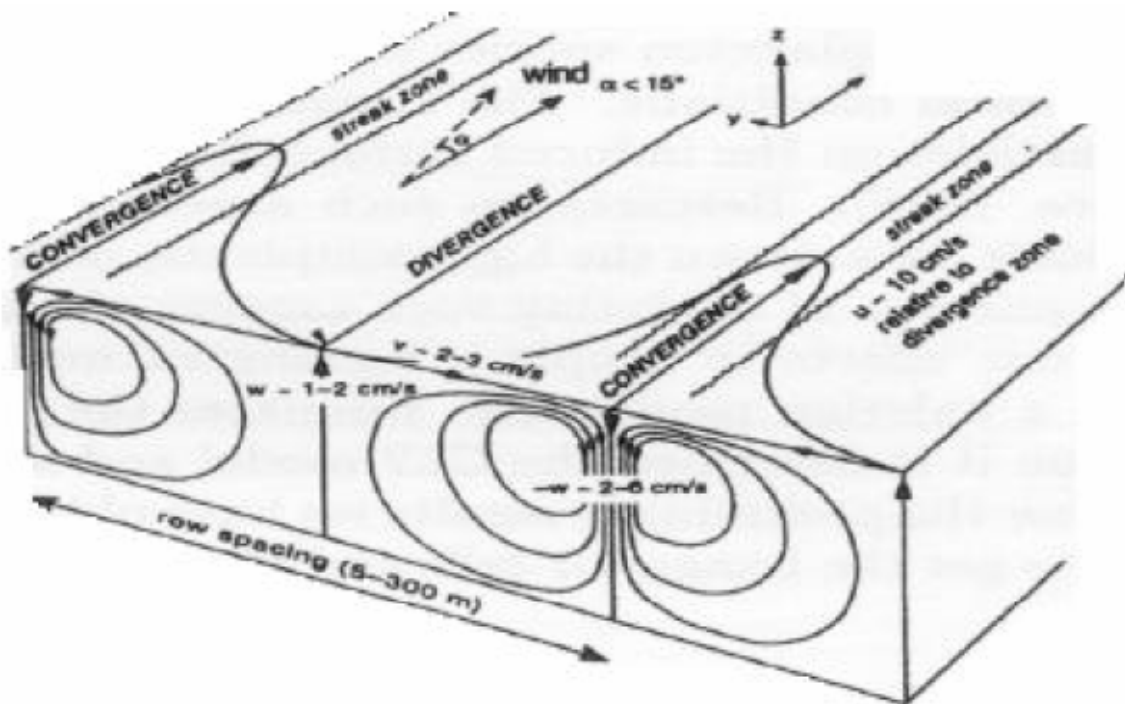
Figura b: Imatge SAR d'una estela situada al nord-oest de Mallorca i que ja porta un temps a la mar

Les propietats de la superfície que afecten la dispersió de les microones són les propietats elèctriques, la rugositat, forma geomètrica i l'angle d'incidència. Les masses

d'aigües marines tenen certes propietats físico-químiques, elèctriques, concentració de les substàncies orgàniques, etc., el fet que influeix en la dispersió de les microones i en les propietats de retroreflectància de la superfície aquàtica. En efecte, en les mateixes condicions meteorològiques, s'observen diversos fenòmens dinàmics oceànics de meso escala com són ones internes, corrents marines superficials, fronts oceànics i vòrtex. També les imatges SAR permeten detectar característiques topogràfiques del fons marí en aigües succintes com una expressió de les mateixes en la superfície aquàtica.

D'altra banda, els fenòmens meteorològics com són els ciclons, els fronts sinòptics, els vents, les ones internes atmosfèriques i les pluges, actuen en la superfície de la mar, el que ens permet també detectar la seva presència mitjançant les imatges del SAR.

Altre fenomen marí que té importància en el cas d'utilització del SAR en el monitoratge de la superfície del mar és el de la circulació vertical de Langmuir que està relacionat amb la concentració superficial de les partícules en la zona de convergència entre dues cèl·lules en la mar.



Presentació esquemàtica de la circulació de Langmuir

Les partícules que poden ser d'origen natural (algues marines, zooplàncton, productes de la vida marina) o artificial (deixalles d'indústries, vessaments de petrolers, plomalls d'aigües contaminades, sediments en suspensió, etc.) s'acumulen en la franja superficial

de convergència entre dues cèl·lules (Figura anterior) i formen les esteles o franges de productes tensioactius que clarament s'observen en les imatges del SAR.

Posteriorment, aquestes esteles es transformen i es transporten mitjançant els corrents marins, onatge, vòrtex, fronts marins, etc. i de tal manera juguen un paper de traçadores que revelen la complexa dinàmica del mar. La distància horitzontal entre dues línies de convergència pot ser des d'uns quants metres fins a centenes de metres i la profunditat màxima de la circulació vertical pot arribar a els 100-200 metres.

En la formació de les cèl·lules de Langmuir influeix molt el vent superficial de tal manera que es poden establir alguns criteris numèrics. Amb la velocitat del vent inferior a 3-5 m/s la generació de les cèl·lules no s'observa. Amb la velocitat del vent dintre del rang 3-5 m/s i 15 m/s es detecta una intensa formació de les cèl·lules i amb la velocitat del vent superior a 15 m/s la generació de cèl·lules tampoc sorgeix, encara més: les cèl·lules existents desapareixen. També és necessari notar que a pesar del moviment horitzontal rotatori, les partícules en les cèl·lules tenen una component vectorial cap a la direcció general de la propagació del vent. No obstant això, la velocitat d'aquest moviment superficial és major en les franges de convergència que entre elles.

L'existència de les cèl·lules de Langmuir i les particularitats de diferents tipus de moviments associats amb elles són fets importants en el cas d'estudis de dinàmica i transformació de abocaments de petroli, vòrtex, girs, etc., és a dir, de tots fenòmens marins que poden ser associats amb la dinàmica dels traçadors observats en la superfície marina mitjançant les imatges del SAR en particular.

Alguns dels diferents fenòmens hidrometeorològics que poden ser detectats mitjançant les imatges SAR són:

- Clorofil·la
- Línia de costa
- Corrents i nivell de mar
- Vòrtexs
- Fronts oceànics
- Aflorament
- Onatge

- Ones internes
- Vent superficial
- Vessaments de cru
- Topografia submarina del litoral
- Esteles dels vaixells

7.5-El sistema SLAR

7.5.1-Introducció

Durant els anys 50 del segle passat, apareix el radar lateral o SLAR (*Side Looking Airborne Radar*), instrument aerotransportat que sorgeix pel reconeixement i vigilància i es desenvolupa en les dècades dels 50 i 60 amb propòsits civils (diversos projectes per a cartografiar la vegetació en zones cobertes de núvols).

L'SLAR, radar de vista lateral d'obertura real, es munta sobre un avió de manera que l'antena escombra lateralment el terreny (perpendicular a la línia de desplaçament i de forma obliqua al terreny). El receptor registra ecos, mesura el temps que transcorre entre l'emissió i el seu retorn. Aquest temps, que és proporcional a la distància recorreguda, s'interpreta en termes de distància.



Avió amb un SLAR embarcat

La geometria de les imatges radar presenta característiques diferents de les d'una imatge normal, es produeixen distorsions dels objectes elevats. Hi ha un desplaçament del relleu, ja que el sensor troba abans la cúspide que la base amb el que l'objecte apareix inclinat cap a la línia de vol.

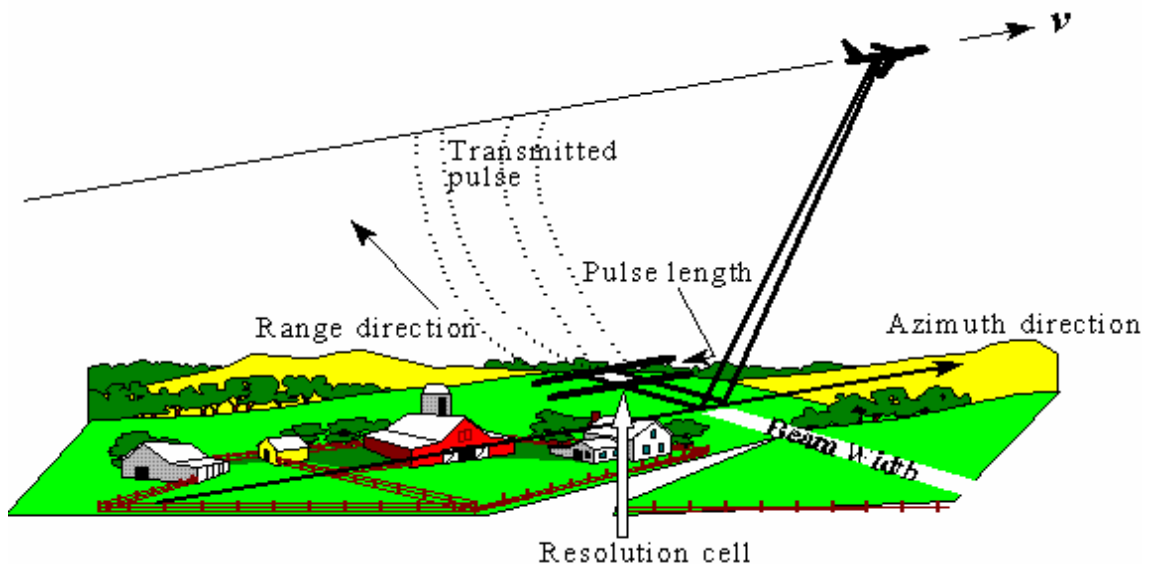
7.5.2-Principis de funcionament

L'SLAR és un radar per a vigilar grans superfícies de mar.



Antena d'un SLAR Ericsson muntat en el fuselatge d'un avió

El moviment avant de l'avió és utilitzat pel radar per escanejar la superfície aquàtica perpendicular al rumb de l'aeronau.



Esquema de funcionament del SAR

Recordem que la resolució d'un sistema radar depèn fonamentalment de dos factors: la longitud del pols i l'amplada de l'antena. La longitud del pols determina la resolució

espacial en la direcció de propagació de l'energia, mentre que l'amplada de l'antena determina la resolució de la cel·la en la direcció de vol o azimutal.

És important assenyalar que una longitud de pols gran incrementa les possibilitats de que els senyals de retorn de dos objectes propers es rebi simultàniament. Si això succeeix, els dos objectes es "veuran" com un de sol.

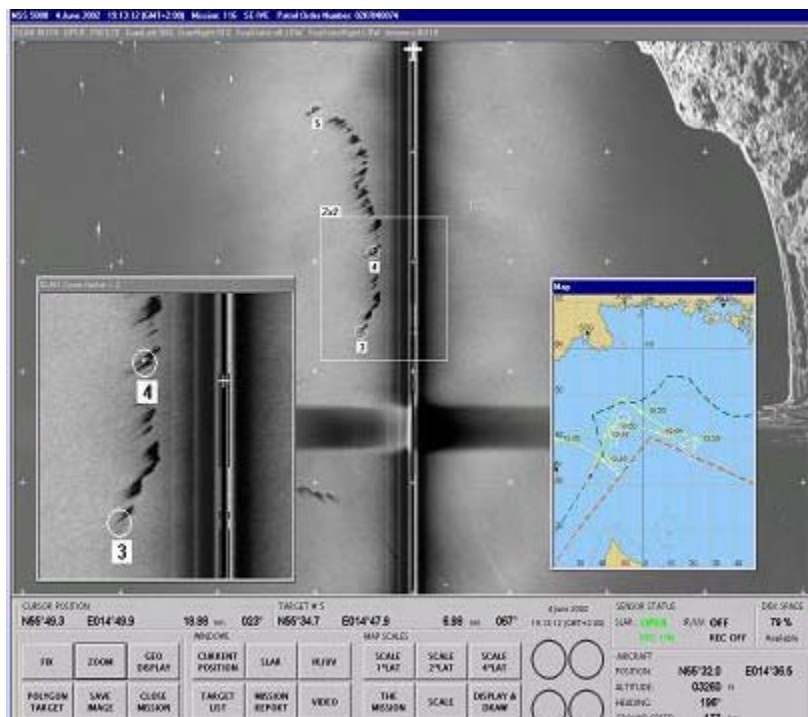
Mentre que un radar tradicional obté normalment menys de vint ecus a cada escaneig radar per "target", l'SLAR n'obté més d'un miler. Això li dona una gran capacitat per a detectar "targets" petits així com per a mostrar propietats superficials de la mar. L'oli, en la superfície marina, produeix un efecte de disminució de la rugositat superficial de la mar que fa que la resposta de retorn a l'antena radar sigui menor que la que ofereix la mar que no ha estat afectada per la presència d'oli, per la qual cosa, aquest contrast es fa clarament visible en la imatge SLAR.

Els objectes amb una reflectivitat als polsos radar major que la que ofereix la superfície marina, ofereixen un retorn més intens al radar, i la imatge resultant mostrarà no només les taques d'oli sinó també els vaixells i altres objectes més petits sobre el fons de la imatge que representa la superfície de la mar. Les zones que sobre una imatge radar veurem representades amb llum o foscor es deuen a l'alta i baixa reflectivitat radar, respectivament.

D'aquesta manera, l'SLAR és un sensor adient per a la vigilància d'àrees molt extenses tant per a la detecció d'abocaments contaminants i taques d'oli com per la de vaixells molt petits. Els quals són *targets* que un radar tradicional detectaria amb moltes dificultats o que fins i tot no detectaria.

Una altra característica important d'aquest instrument és la seva capacitat per a treballar tant de dia com de nit i amb qualsevol condicions atmosfèriques o de mal temps.

Mitjançant georeferenciació GPS, alguns dispositius SLAR ens ofereixen la imatge obtinguda superposada a una carta nàutica, de manera que la localització del fenomen observat és molt més intuïtiu.



Interfície de l'usuari de l'equip MSS 6000 de l'empresa *Swedish Space Corporation*

L'SLAR cobreix normalment una superfície que depèn de la mida del que es pretén observar, així:

- 18.000 Km²/h per abocaments de cru i objectes petits en la superfície marina
- 48.000 Km²/h per vaixells grans.

8-Anàlisi de la problemàtica del litoral i la costa catalana

8.1-Introducció

La zona litoral és l'àrea de contacte entre el medi marí i el terrestre on tenen lloc una sèrie de processos característics que actuen amb diferents escales espaciotemporals.

Des del punt de vista dels riscos naturals, es defineixen habitualment dos tipus de fenòmens d'interès a la zona litoral: a) erosió i canvis en la configuració de la línia de costa, i b) inundació d'àrees emergides durant esdeveniments instantanis. Altres aspectes relacionats són els riscos potencials dels fenòmens marins sobre estructures

localitzades a la plataforma continental (plataformes petrolíferes, piscifactories, camps eòlics...) o els efectes sobre determinades activitats comercials, com activitats pesqueres, trànsit marítim o les operacions en ports.

Els informes sobre desastres naturals elaborats per Nacions Unides (ISDR³) i per les grans companyies reasseguradores (*Swiss-re* i *Consorcio de Compensación de Seguros*, entre altres) conclouen que l'impacte social i econòmic dels riscos naturals, tant en països desenvolupats com en aquells en vies de desenvolupament, ha anat en augment durant els darrers anys i segueix la mateixa tendència de cara al futur immediat.

Les causes d'aquest fet van lligades tant a la severitat dels fenòmens naturals com a la vulnerabilitat física i social del territori. Diferents estudis indiquen que el factor de vulnerabilitat és el que ha augmentat de manera més alarmant. Aquest fet és directament relacionable amb l'existència de mancances en les polítiques que determinen l'ocupació i ús que es fa del territori i especialment de les zones costaneres i de litoral.

Si la societat desitja estar en condicions d'abordar adequadament el problema que els riscos naturals representen així com les conseqüències de la pressió antròpica sobre el litoral i la seva repercussió directa en la qualitat de l'aigua entre altres, ha d'abordar la gestió dels diferents factors determinants dels risc i de l'efecte de la sobreexplotació. Això inclou accions relacionades amb el coneixement científic general, la seva aplicació a una regió en concret per caracteritzar la naturalesa dels seus perills i la posada en pràctica de programes d'observació del terreny que ens permetin alertar dels possibles perills.

Els mètodes que hem presentat anteriorment poden convertir-se en una eina fonamental per a ampliar el coneixement sobre els riscos d'origen natural i antròpic que afecten al territori litoral i costaner català. I aquest exhaustiu coneixement ha de ser el punt de partida per a poder establir les mesures per a prevenir els impactes.

Establir les eines necessàries per a la prevenció i la gestió dels riscos naturals és un dels elements cabdals per al desenvolupament sostenible, per al present i sobretot per al futur.

³ *International Strategy for Disaster Reduction.*

8.2-Situació actual de la costa i litoral català

El litoral català té una longitud aproximada de 600 Km, i és caracteritzat per una gran diversitat morfològica i per estar afectat per un alt grau d'urbanització. El turisme associat a la platja i les activitats de lleure relacionades amb la mar són i han sigut el principal motor econòmic de Catalunya, i això ha configurat el litoral altament antropitzat que avui tenim.



Tram de la Costa Daurada (Cunit) afectat per un fort urbanisme i infraestructures de protecció en forma de dics aïllats

La vulnerabilitat de la costa als fenòmens d'erosió i inundació sol ser elevada, especialment en els trams de costa baixa sedimentària i en àrees amb una alta pressió urbanística.

Si estudiem el fenomen dels temporals a la costa catalana durant els darrers 14 anys veiem com l'impacte econòmic i social és molt elevat⁴:

⁴ Font: *Informe RISKCAT. Els riscos naturals a Catalunya*. Autor: Jorge Guillen, et. al. Any 2008.

Nº de Temporals	Impacte Social	Impacte Econòmic
297	47 morts	$2 \cdot 10^8$ euros

La major part dels diners van destinats a les obres de protecció de les platges de Barcelona (60 M€) i a la regeneració artificial de les platges (110 M€) però també s'han de considerar tots els elements següents:

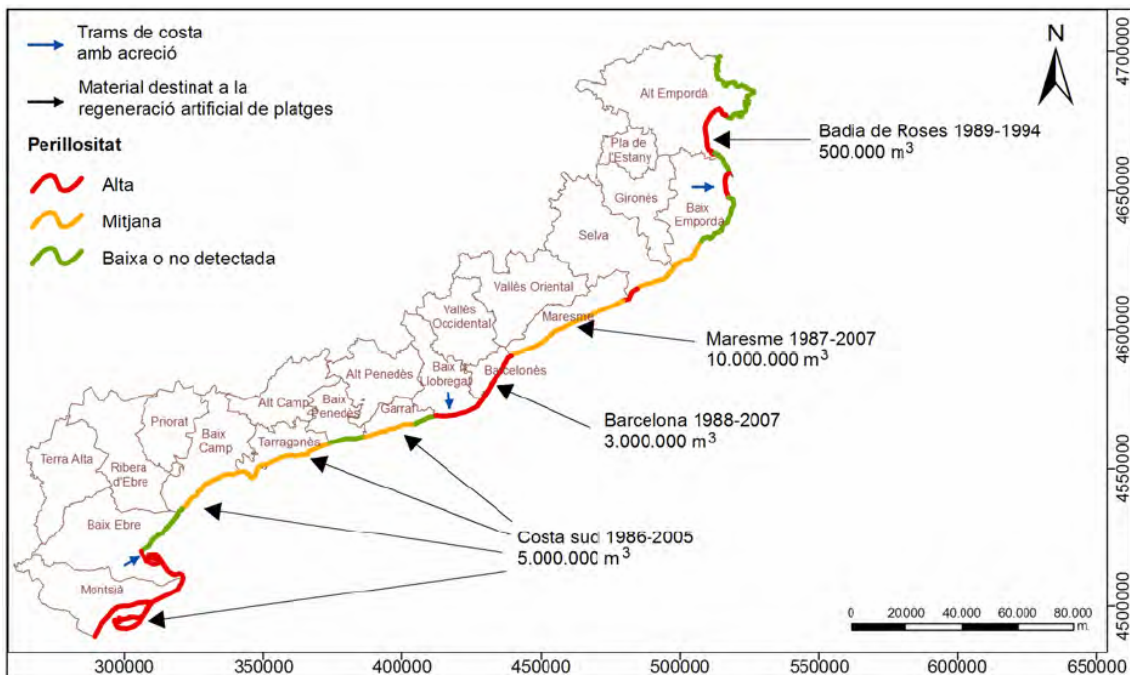
- Degradació d'ecosistemes
- Degradació de la qualitat de l'aigua
- Trencament de mobiliari urbà
- Desperfectes en passeigs marítims
- Trencament d'obres de defensa
- Inundació d'àrees deltaiques
- Talls en la via fèrria
- Abocament de $19.000.000\text{m}^3$ de sorra en 20 anys



Efectes d'un temporal de Llevant al Passeig Marítim de Torredembarra el Març de 2003.

No existeixen dades sistemàtiques de qualitat de les tendències evolutives de la línia de costa del litoral català disponibles en l'actualitat. No obstant això, a partir d'estudis puntuals pot establir-se que l'erosió afecta bona part de les platges catalanes. Entre d'altres, existeixen dades concretes d'erosió a les platges de Palamós (Sant Antoni de Calonge), S'Abanell (Blanes), tota la costa del Maresme, Barcelona, Punta del Llobregat (la Ricarda), Sitges, Costa Daurada (Cunit, Torredembarra, etc.), l'Hospitalet de l'Infant i delta de l'Ebre. Per contra, existeixen algunes platges com la badia de Pals (Sa Riera), Castelldefels i la Punta del Fangar on es produeix una acreció sedimentària.

Amb caràcter purament orientatiu presentem la figura següent on hi apareixen les quantitats de sorra abocades a les platges catalanes des de l'any 1986, la qual cosa ens dóna una idea clara de quines són aquelles àrees més afectades pels fenòmens d'erosió. En general, es considera que el risc més alt es localitza a les desembocadures dels grans rius i a la ciutat de Barcelona, disminueix als trams de costa sorrenca i altament urbanitzada (el Maresme, Costa Daurada) i és reduït als trams de costa rocosa.



Mapa de perillositat d'erosió i inundació al litoral català amb indicació dels trams de costa en acreció (fletxes blaves) i els metres cúbics de material destinats a la regeneració artificial de platges.

Per altra banda, Molts ports del litoral català presenten problemes d'oscil·lacions indesitjables de la columna d'aigua, els quals causen molèsties als vaixells atracats i

comporten elevat risc d'accident. Molts d'aquests problemes són causats per la mateixa concepció del port i podrien ser resolts amb certes modificacions. El Pla de ports esportius (2005) presenta un inventari detallat d'aquests problemes als ports catalans.

Finalment, no podem estudiar la situació del litoral català sense considerar les grans obres que s'estan realitzant i que s'ha realitzat recentment i que suposen guanyar terreny a la mar com són l'ampliació del Port de Barcelona, que suposa un impacte directe sobre les corrents longitudinals i perpendiculars a la costa modificant clarament el seu curs habitual amb la qual cosa poden aparèixer problemes d'acumulació de sediments (acreció) o de retrocés de la línia de la costa (erosió) no només en la zona afectada per la nova infraestructura sinó en tota la zona costanera propera. Els sistemes d'observació aerotransportats en poden avaluar l'impacte ambiental des d'un punt de vista qualitatiu i quantitatiu i fer-ne un seguiment adient per tal de poder, en el cas de que es consideri necessari, prendre les mesures pal·liatives corresponents.

8.3-Actualitat del problema de la contaminació de les aigües marines

En els últims anys, els països de la Comunitat Europea estan prestant més atenció a la contaminació, la preservació i al control del medi ambient terrestre i marí a causa de l'augment, en les últimes dècades, de la pressió antropogènica sobre els ecosistemes marins i, sobretot, en les zones costaneres.

Durant segles l'Oceà ha pogut suportar la contaminació natural i actuació de la societat humana sense sofrir grans modificacions, però des d'inici del segle XX les activitats humanes s'han incrementat arribant a tal nivell que poden pertorbar greument els cicles vitals de l'ambient marí/costaner i posar en perill tota la seva diversitat biològica.

El terme "contaminació" dels sistemes aquàtics, en general, abasta efectes nocius ocasionats per l'home mitjançant accions com són els abocaments de substàncies tòxiques i/o radioactives, sobreescalfament de l'aigua de mar com resultat del seu pas pels circuits de refrigeració de les instal·lacions industrials costaneres (contaminació tèrmica), abocats d'agents patògens, de deixalles sòlides i dispersos, transport d'espècies

alienes a l'hàbitat local (contaminació biològica), sorolls provocats pels motors dels vehicles marítims (contaminació acústica), etc. Actualment, la contaminació química és el qual té major importància perquè ocorre amb major freqüència i provoca major impacte ecològic.

En aquest context, cada any s'aboquen més de mig milió de tones de petroli com resultat d'operacions marítimes, accidents i descàrregues il·legals. El caràcter d'aquesta contaminació no és solament local, sinó regional i fins i tot global. La contaminació perjudica la salut de la societat, el turisme, les activitats marítimes com la pesca i la aqüicultura, empitjora la qualitat de l'aigua i les seves propietats útils podent eliminar totalment les cadenes tròfiques.



Marea negra a les costes gallegues després del desastre del *Prestige* (2.002)

Un seixanta per cent de la població mundial viu en la zona litoral marítima. És a dir, més de 2.700 milions de persones viuen a menys de cent quilòmetres de la costa marina, i aquest nombre podria elevar-se a un 75% per a l'any de 2020. Hi ha 595.814 quilòmetres de litoral mundial on els recursos costaners són vitals per a moltes comunitats locals. La Unió Europea conta amb aproximadament 89.000 Km de costes.

El litoral espanyol, amb gairebé 8.000 quilòmetres de longitud al llarg de 25 províncies i 428 municipis, acull a una tercera part de la població del país i a quatre de cada cinc turistes que arriben a Espanya, pel que està sotmès a una sèrie de pressions ambientals de diversos tipus que amenacen a molts dels rics i variats ecosistemes naturals que el

caracteritzen. En particular, en la província de Barcelona més de 50% de la població viu en una franja costanera d'uns 15 - 20 Km. En aquesta franja d'aigua, terra i atmosfera es troben moltes riqueses naturals i on a més efectuem diverses activitats econòmiques com la pesca, comunicació marítima, oci i altres, en fi, la nostra qualitat de vida depèn molt de les condicions ambientals d'ella. Sens dubte, el creixement de les indústries, del turisme i del transport marítim, porta bastants beneficis a la població catalana però, d'altra banda, creixen els problemes ambientals com, per exemple, la marea vermella (els "blooms" fitoplanctònics) o l'aparició de noves fonts de contaminació industrial/urbana/rural, s'observen canvis paisatgístics provocats per la construcció descontrolada, etc. Per això és important la tasca dels científics de totes les àrees, hem de definir clarament els problemes ambientals i mostrar els seus efectes negatius sobre la nostra qualitat de vida i sobre el medi ambient, tant a curt com a llarg Termini.

8.4-Fonts i tipus de contaminació en l'oceà

En aquest treball ens centrarem fonamentalment en la contaminació química en general, ja que és la que està més associada amb els sistemes de teledetecció que hem presentat en aquests treball.

Les fonts generals més importants de la contaminació química marina són les següents:

- Els abocaments directes d'aigües residuals d'indústries o deixalles urbanes al mar o mitjançant els rius.
- Els sediments i metalls pesats, les escombraries i el material plàstic.
- Les substàncies químiques (fertilitzants, nutrients, pesticides, etc.) procedents de les terres agrícoles o dels boscos.
- Enfonsament a propòsit dels productes contaminants a l'ambient marí, incloent els radionuclèids.
- Abocaments accidentals, per avaries i a propòsit durant les operacions tècniques dels vaixells mercants, petroliers, plataformes petrolíferes i canonades submarines del petroli.
- L'exploració dels minerals submarins.

- Transport i deposició de contaminants (aerosols, productes gasosos de les emissions industrials atmosfèriques, l'escapament de transports automobilístics, partícules soltes, etc.) mitjançant l'atmosfera.

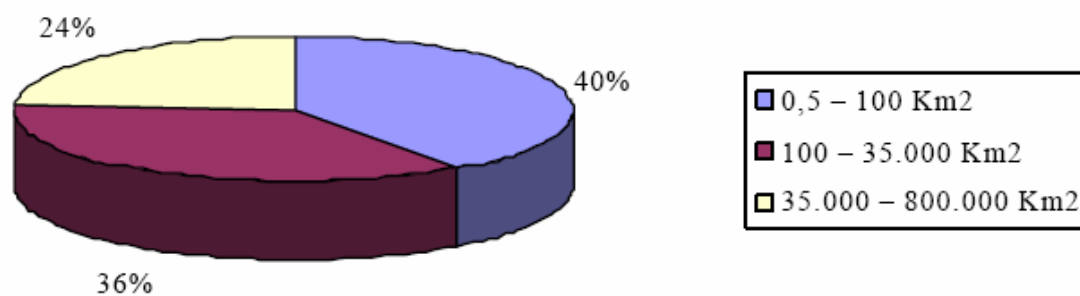
Els abocaments de deixalles líquides procedents d'indústries i de sanejament urbà (plomalls d'aigües residuals), d'accidents tècnics en els vaixells petrolers i mercants, de la neteja de tancs, de descàrrega dels residus i d'aigües de llast, i d'accidents en les plataformes petrolíferes marítimes, provoquen una contínua aparició de taques i/o esteles de cru (*oil spills*) en alta mar, en les aigües costaneres i fins i tot en les platges (les petites boles de cru descompost). Pitjor encara, les comunitats biòtiques marines a través de la cadena alimentosa consumeixen aquestes substàncies olioses dipositades en el sinus de la mar. No és necessari explicar quin tipus de dany per a la societat provoca constantment el consum final d'aquestes espècies marines contaminades per les substàncies tòxiques i cancerígenes.

Segons dades del Ministerio de Medio Ambiente, per a l'oceà, el material d'origen terrestre representa prop d'un 70% de la contaminació marina, mentre que les substàncies associades amb les activitats del transport marítim i els abocaments en el mar solament el 10% cadascuna.

No obstant això, és poc conegut que en realitat la major part del volum de productes oliosos tirats al mar no són els famosos desastres ambientals associats amb els naufragis de petrolers, sinó els petits abocaments de cru “quotidians” a causa de la neteja de tancs, efectuada clandestinament, pels vaixells en alta mar, per les activitats portuàries i de refineries, pel funcionament de les plataformes petrolíferes, etc. Podem il·lustrar aquest fet amb la taula següent:

Estimació de l'àrea i massa total anual d'abocaments de totes les mides			
Límits de l'àrea (Km ²)	Àrea Total (Km ²)	Massa Total (Tm)	% (w/w)
0,5-100	254.000	68.000	40
100-35.000	227.000	60.610	36
35.000-800.000	151.000	40.000	24
TOTAL	632.000	169.000	100

Si representem les dades anteriors amb un gràfic, obtenim:



Percentatge de massa total anual d'abocaments petits (fins a 100 Km²), mitjos (entre 100 Km² i 35.000 Km²) i grans (majors de 35.000 Km²)

Hi ha altres tipus de contaminació marina associats amb les aigües contaminades procedents dels rius i dels emissaris submarins del sanejament urbà i amb el desllast dels vaixells. En algunes ocasions, l'efecte sinèrgic de les diferents fonts de contaminació química juntament amb la contaminació tèrmica provoca la eutrofització d'aigües costaneres o el fenomen de marea vermella associat amb el creixement exagerat d'algunes espècies d'algues marines.

No obstant això, les activitats de desllast dels vaixells provoquen no solament l'impacte químic-físic a causa dels abocaments d'aigües olioses amb totes les seves tristes conseqüències, sinó el biològic o biogènic. La globalització dels transports marítims també comporta la invasió d'espècies exòtiques, estrangeres o invasores d'invertebrats, algues, bacteris, virus protozoaris que viatgin al voltant del món en l'aigua de llast dels vaixells. La introducció d'organismes estranys en els ecosistemes que no són propis per a ells pot generar pèrdues de biodiversitat molt significatives. Els oceans del món han començat biològicament a ser homogeneïtzats. L'organització Marítima Internacional assenyala que existeixen riscos d'emmalaltir o fins i tot morir per causa de patògens marins introduïts per les aigües de llast.

Finalment, tractarem la problemàtica de la contaminació tèrmica de la mar, és a dir, per l'abocament d'aigua amb una temperatura elevada directament a l'entorn marí. A més, dins el context català, això pren una gran rellevància ja que tenim centrals nuclears com Vandellós II i depuradores com la del Besós, que aboquen una gran quantitat d'aigua a temperatura elevada a la mar resultant dels processos de refredament interns.

La temperatura afecta directament als mecanismes fisiològics dels organismes. Tots ells tenen un rang de temperatura tolerable, per sobre del qual exposicions perllongades poden resultar letals. Fora d'aquest rang de temperatures acceptables, el metabolisme, les taxes de creixement i de reproducció varien significativament. Els organismes de sang freda, en ambients de temperatura superior al rang habitual, experimenten increments en els ritmes metabòlics i processos relacionats, com l'eficiència alimentària. Les taxes de creixement i desenvolupament normalment s'incrementen amb la temperatura, fins a un llindar, per sobre del qual es necessita un excés d'energia per a sobreviure i les taxes anteriors decreixen precipitadament. A més, la solubilitat de l'oxigen en l'aigua disminueix amb l'augment de la temperatura fent, d'aquesta manera, més difícil la vida en l'entorn marí.



Central nuclear de Vandellós II (Tarragona)

L'increment de la quantitat d'energia produïda per combustibles fòssils i centrals nuclears fa imprescindible el monitoreig de la contaminació tèrmica a les aigües costaneres. Gran part de la investigació sobre aquest problema s'ha centrat en l'avaluació de l'impacte a les comunitats biològiques marines. És fonamental detectar la

intensitat de l'afluent origen del calentament i les seves propietats espacials i temporals per a la valoració de l'impacte de l'afluent sobre la zona costanera i el seu ecosistema.

El mètode convencional per a l'avaluació d'aquest tipus de contaminació tèrmica ha estat mesurar la temperatura de l'aigua "punt a punt", amb una considerable despesa de temps i diners. Amb aquest tipus de mostrejos "*in situ*" és difícil aconseguir distribucions precises de la contaminació tèrmica per l'efecte de les mareas i els corrents convectius amb esquemes de mostreig que no són sinòptics.

Els sensors aerotransportats que operen en la zona de l'infraroig tèrmic poden emmagatzemar simultàniament la temperatura superficial en una gran àrea de la Terra i amb una gran resolució espacial. Les dades de l'infraroig tèrmic poden ser emprades per a investigar la contaminació de l'aire urbà, hidrologia dels llacs i investigacions de qualitat de l'aigua, monitoreig de l'activitat volcànica i avaluació de l'impacte dels abocaments tèrmics des de plantes energètiques i depuradores. Les tècniques de teledetecció aerotransportada representen una aproximació alternativa a la investigació de la contaminació tèrmica.

La del Besòs, és una gran depuradora d'aigües residuals urbanes de sis municipis de l'àrea metropolitana de Barcelona (Barcelona, Badalona, Sant Adrià del Besòs, Santa Coloma de Gramenet, Montgat i Tiana). La depuradora, situada en les entranyes del Fòrum i completament coberta i desodoritzada –tot i que de vegades una inevitable olor desagradable impregna l'ambient del recinte- passa inadvertida per als milers de ciutadans.



Instal·lacions de la depuradora del Besòs

Aquesta planta, tracta diàriament les aigües residuals del 75% dels ciutadans de la província de Barcelona, l'equivalent al d'una població d'uns tres milions de persones. Les aigües són conduïdes per grans col·lectors fins a la planta, en la qual són tractades amb procediments físics, químics i biològics i, una vegada depurades, són abocades a tres quilòmetres del litoral i a cinquanta metres de profunditat a través d'un conducte submarí.

El cabal normal de funcionament d'aquest conducte submarí és de 525.000 m³/dia, el que dona un volum total d'aigua abocada al mar cada any de 190 hm³/any, un volum no gens menyspreable d'aigua a una temperatura molt per sobre de la temperatura de la mar amb l'impacte que, com hem explicat anteriorment, això suposa per a tots els organismes vius de la zona.

8.5-Estat ecològic actual de la Mediterrània

En les últimes dècades hi ha hagut un desenvolupament constant de les indústries, del turisme i de la urbanització massiva de les ribes del mar i dels rius i de llocs abans gairebé despoblats. Totes aquestes activitats han augmentat considerablement el nivell de contaminació del sistema hidrogràfic/fluvial i de les costes marines de tota Europa (i la Mediterrània no és una excepció). Sobreeixidors en temps de pluja, risc de eutrofia d'aigües, disminució de la concentració d'oxigen, abocaments accidentals, mal estat paisatgístic de les ribes dels rius i deltes són habituals. Es veu ben clar que els mitjans financers dirigits per al desenvolupament d'indústries i d'altres activitats lucratives és molt major que el finançament de la preservació de la naturalesa. Precisament per això el terme “desenvolupament sostenible” es troba amb més freqüència en els objectius de projectes europeus en diferents marcs científics.



Contaminació d'origen terrestre en un estuari

Segons el *Ministerio de Medio Ambiente*, en el Mediterrani existeixen punts amb elevades concentracions de nutrients, es detecta un alt nombre d'abocaments accidentals de cru i dels plomalls d'aigües residuals, les activitats pesqueres disminueixen a causa de la sobrepesca.

En quant als plomalls d'aigües contaminades (*pollution plumes*) procedents dels rius europeus i dels focus costaners, aquests són una amenaça constant per a les comunitats marines i costaneres, també per a les activitats de pesca, aqüicultura, turisme en tot el litoral d'Europa. Tot i que les autoritats i les institucions locals responsables de la distribució de l'aigua potable, del seu control i qualitat, de la sanitat i gestió de residus, fan esforços per a disminuir el risc ambiental d'abocaments accidentals de substàncies

perilloses en els rius, el baix nivell de qualitat d'aigües dolces en tota Espanya és ben conegut. Per exemple, qualsevol riu de l'àrea metropolitana de Barcelona manca d'activitat piscícola i alguns índexs de contaminació de molts rius de Catalunya són molt alts. Però aquest és un problema no només d'Espanya, sinó també dels altres països europeus.



Abocament d'aigua contaminada a un riu

No obstant això, els productes petroquímics abocats a la mar presenten la major amenaça per a l'ecologia marina. Segons diferents fonts, cada any s'aboquen en els oceans de 1.8 fins a 8.8 milions tones de petroli, de les quals prop de 600.000 tones són el resultat d'operacions habituals de transport marítim, accidents i descàrregues il·legals.

8.6- Impactes ecològics de les aigües marines causats mitjançant les indústries terrestres i els transports marítims

L'oceà i la superfície marina oculten els greus impactes que la industrialització en tots els sentits fa a les comunitats marines, al paisatge del fons, a la qualitat i al canvi de la composició físico-química de l'aigua. Aquesta contaminació arriba fins a les grans profunditats, on duen els corrents marins al llarg de canons submarins molts productes de la deixalla terrestre; es troba una quantitat significativa de tot tipus d'escombraries d'origen industrial i urbà: bosses i peces plàstiques, cristalls, restes de pneumàtics, etc. Els productes petroquímics d'origen industrial manifesten un perill especial. Ells contaminen a través de la cadena alimentosa des de les comunitats de plàncton fins a les espècies superiors, entren en menú habitual de l'home provocant greus malalties.



Exemple de la contaminació marina d'origen antròpic

En general, les conseqüències de la contaminació antropogènica de l'Oceà es pot dividir en dos marcs principals: biològic que està associat amb els canvis de caràcter bioquímic, morfològic, fisiològic i genètic en els organismes marins, i ecològic que es revela en el canvi de la biomassa marina, el decreixement de la biodiversitat local, l'aparició de noves

espècies, la transformació del procés de producció i de destrucció de la matèria orgànica, etc. Concloent, la contaminació del medi ambient marí porta la simplificació de tota l'estructura de l'ecosistema. En el nivell individual, les toxines canvien la composició química de la cèl·lula, els processos de respiració, disminueixen el nivell del creixement i de la reproducció, augmenten el nivell de la mutació i de les formes patògenes i cancerígenes, canvien la grandària de la cèl·lula i destrueixen la possibilitat de l'animal per a orientar-se en l'espai.

Els abocaments de cru en alta mar i en les zones costaneres es considera una de les majors amenaces per a la naturalesa. Per exemple, les substàncies de “fuel oil”, és el tipus d'oli o cru considerat com un dels més tòxics per als organismes marins perquè té una tendència natural a dispersar-se fàcilment en la columna d'aigua. Els abocaments de cru d'aquest tipus es descomponen completament en l'àmbit marí per mitjà de microbis naturals en un període d'un o dos mesos aproximadament. En alta mar els seus abocaments es dispersen relativament ràpid, aquest fet explica la dificultat d'observar en aquestes condicions mediambientals els peixos afectats o morts. No obstant això, en les aigües costaneres l'efecte mortal dels abocaments de “fuel oil” es detecta amb molta més freqüència. En aigües poc profundes les substàncies verinoses procedents dels abocaments afecten amb major força bancs de peixos locals, comunitats bentòniques (mariscs, etc.), algues i plantes marines. A més, el contacte directe amb les substàncies olioses afecta les aus i els animals marins, provocant ingestió, ofegaments i hipotèrmia durant unes setmanes després del desastre.

La descàrrega en massa dels residus i d'aigües de llast provoca nous problemes de caràcter biològic i ecològic, així com el canvi de la biodiversitat local marina a causa del transport d'aigües de llast.

Les aigües de llast es componen de l'aigua que inclou sediments i milers d'espècies vives. Al voltant de 3000 espècies marines viatgen diàriament al voltant del món. Organismes grans i petits, des de bacteris fins a peixos s'han documentat en les mostres de l'aigua de llast dels vaixells. Aquestes espècies són exòtiques, estrangeres o invasores, això significa que un membre, o membres d'un grup o d'una població d'una espècie s'incorpori en un ecosistema aquàtic fora del seu hàbitat nadiu, llavors es prepara l'escenari per a una possible invasió biològica que podria tenir un impacte

ecològic i econòmicament significatiu. Les espècies invasores exòtiques són considerades com la major amenaça per a la diversitat biològica després de la destrucció de l'hàbitat. Segons el *US Geological Survey*, aquest problema suposa uns costos ambientals d'uns 100 bilions de dòlars a l'any només en EE.UU. Els oceans del món van començar biològicament a ser homogeneïtzats fa segles. En la dècada passada es pot dir que va haver un moviment aparentment encertat de centenars d'espècies, avui dia hi ha dos factors: la velocitat dels vaixells moderns i el volum d'aigua de llast que estan aclaparant l'èxit de les invasions encertades.

Les principals causes de l'impacte que porta la introducció d'espècies exòtiques solen ser: a) predominància sobre espècies autòctones que no presenten sistemes de defensa davant els depredadors, b) competència amb altres espècies que ocupen el mateix nínxol ecològic i que tendeixen a ser desplaçades, c) alteració de l'hàbitat i conseqüent modificació de l'estructura de les comunitats on s'assenten, d) contaminació genètica i pèrdua de diversitat biològica marina, i) amenaça a salut pública.

Els factors generals que determinen la gravetat de l'impacte ambiental d'abocaments en l'entorn marí són:

El primer és la ubicació geogràfica de l'abocament.

La gravetat d'impacte de substàncies tòxiques s'incrementa quan es produeix en les zones costaneres a causa de la gran diversitat biològica existent, a la concentració de zones poblades, llocs de turisme i de protecció ambiental, i decreix en alta mar on el nombre total d'espècies i d'activitats humanes disminueix notablement. No obstant això, existeixen llocs de millor o pitjor possibilitat d'accés immediat per als grups "d'urgències marítimes" que instal·len les barreres per a acostar l'abocament i netegen les costes.



Abocament d'aigües residuals
directament a la mar

El segon, són els factors hidrometeorològics imperants en el lloc de l'accident. Les mareas altes, els corrents, l'onatge i els forts vents agreugen els efectes ambientals de l'abocament. Però influeixen, també, els factors ambientals secundaris com són les particularitats locals del procés de la difusió de la substància abocada, la temperatura de la capa superficial del mar, el nivell de la salinitat d'aigües marines i la batimetria del lloc.

I el tercer és la composició de la substància tòxica abocada.

També influeix el període del temps d'impacte, és a dir si és un abocament instantani i puntual o perllongat mentre el vaixell avariat estava a la deriva.

Els accidents tècnics, descàrrega de residus i aigües olioses sobrants, desllast determinen l'aparició constant d'abocaments i esteles de cru en les rutes marítimes habituals. Es poden ressaltar les següents fonts d'abocaments en la mar:

- Aigües de llast, de rentat de tancs, residus oliosos abocaments des dels vaixells (23%)
- Hidrocarburs abocats mitjançant les activitats portuàries (17%)
- Aigües residuals urbanes i industrials (10%)
- Aigües residuals causades per les pluges intenses (5%)
- Accidents amb els bucs i les plataformes petroleres (6%)
- Perforacions en la plataforma continental (1%)
- Precipitacions atmosfèriques (10%)
- Abocaments des dels rius en tota la seva forma múltiple (28%).

Segons dades de la International Association of Independent Tanker Owners (INTERTANKO) tenim les següents dades sobre les fonts de descàrregues d'hidrocarburs al mar:

- Descàrregues industrials i residus urbans (37%)
- Operacions tècniques rutinàries dels bucs (33%)
- Accidents de petrolers (12%)
- Origen atmosfèric (9%)
- Fonts naturals (7%)
- Activitats associades amb explotació i producció de petroli (2%)

9- Els actors implicats en la gestió costanera i litoral

9.1- Introducció

Les responsabilitats en l'ordenació i la gestió de la costa afecten un gran nombre d'organismes, des de la Unió Europea, l'Administració general de l'Estat, la Generalitat de Catalunya, diputacions i municipis i, dintre d'aquests organismes, a diversos àmbits competencials (medi ambient, política territorial i obres públiques, turisme, energia, ramaderia i pesca, interior, etc.).

En general, cal destacar que com a responsable últim de la gestió de les costes, bona part de la informació disponible pertany a la *Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente* i ha estat elaborada fonamentalment pel seu personal, pel *Centro de Estudios de Puertos y Costas* (CEDEX, *Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas del Ministerio de Fomento*) i per empreses privades.

Les universitats i centres de recerca a Catalunya tenen una llarga tradició d'estudis específics sobre l'evolució costanera i, molt recentment, s'han començat a emprendre estudis sobre vulnerabilitat. Aquesta informació sol estar dispersa en tesis doctorals, tesines, presentacions a congressos i publicacions nacionals i internacionals. La Generalitat de Catalunya, a més de finançar alguns dels estudis anteriors, té en marxa una sèrie d'iniciatives per implementar la gestió dels recursos costaners i manté una xarxa de boies d'onatge que es complementa amb els mesuraments i els models d'onatge i prediccions del nivell marí de què disposa Puertos del Estado (Ministerio de Fomento).

El procés de la inundació marina també està descrit en el Pla INUNCAT elaborat per la Direcció General de Protecció Civil. La planificació territorial és un aspecte fonamental en la gestió dels riscos de la zona costanera i és responsabilitat, tant dels municipis costaners com de la Generalitat de Catalunya (Pla director urbanístic del sistema

costaner). A continuació es detallen les principals activitats dels diversos sectors relacionats amb els riscos a la zona costanera.

9.2-Els Actors

9.2.1-Administració Estatal

- Xarxa de mesurament: onades, nivell marí i línia de costa. Estimació de recurrències i condicions extremes. Predicció marítima.
- Marc legal: aplicació Llei de costes, diverses categories de protecció d'espais naturals, normativa i recomanacions d'obres, impacte ambiental, etc.
- Estudis ambientals i d'avaluació de recursos (bancs de sorra submergits).
- Projectes de defensa costanera (dics, espigons, regeneracions artificials de platges).
- Desenvolupament de programari gratuït per a l'estimació de l'erosió i la inundació a les platges (Sistema de Modelat Costaner).
- Participació en projectes de recerca i aplicats i coordinació de projectes de recerca i aplicats.
- Projectes de gestió integrada.

9.2.2-Generalitat

- Xarxa de mesurament d'onades: estimació de recurrències i condicions extremes. Predicció marítima. Sismògraf submarí.
- Marc legal (Pla director urbanístic del sistema costaner, diverses categories de protecció d'espais naturals).
- Participació en projectes de recerca i aplicats i coordinació de projectes de recerca i aplicats.
- Optimització del ús de les sorres retingudes en ports i espigons.

9.2.3-Àmbit local i diputacions

- Participació en projectes de gestió integrada de la zona costanera (Pla estratègic litoral de la regió metropolitana de Barcelona).

9.2.4-Àmbit acadèmic

- La universitat i els centres d'investigació duen a terme estudis que incideixen, bé que indirectament, en la gestió del risc en la zona costanera i que tracten sobre l'evolució de línia de costa, la morfodinàmica costanera, el disseny d'obres, la vulnerabilitat de determinats trams de platges, etc.

9.2.5-Àmbit internacional

- Marc legal: la Unió Europea introdueix normatives concretes per a la gestió del risc en zones costaneres.
- La Unió Europea finança projectes, tant per a la millora del coneixement sobre temes relacionats amb el risc (FLOODSITE) com per a la seva gestió (EUROSION).
- La Comissió Oceanogràfica Intergovernamental (COI-UNESCO) va constituir el 2005 el Grup Intergovernamental de Coordinació del Sistema d'Alerta contra Tsunamis i l'Atenuació dels seus Efectes a l'Atlàntic Nord-oriental i a la Mediterrània i Mars Adjacents. Aquest Grup tracta de coordinar tots els esforços en aquest camp i hi ha representants de l'Estat espanyol i de les universitats espanyoles.

10-Discussió

10.1-Punt de partida

Els sistemes radar i els sensors hiperespectrals ens ofereixen la possibilitat de fer el seguiment i avaluació de la situació del litoral i la zona costanera catalana, de tal forma que sigui possible monitoritzar o preveure possibles riscos naturals o d'impacte mediambiental.

És evident que la informació sobre l'estat de la contaminació d'aigües marines i costaneres i els processos dinàmics que determinen la migració i la dispersió de contaminants solts, és molt important en els marcs de protecció civil, industrialització i urbanització de les costes, construccions marítimes i activitats portuàries, navegació, pesca, turisme i a la fi per a la salut i benestar de la nostra societat.

Imaginem un hipotètic accident marítim enfront de les costes Catalanes d'un petrolier tipus Erika (de l'any 1999) i l'abocament de petroli de moltes tones és difós i arrossegat per corrents marins, onatge i vent cap a... no se sap on exactament. Immediatament sorgeixen moltes preguntes sobre el perill que comporta un desastre d'aquest tipus. Algunes d'elles solen ser les següents: quin volum i que àrea té aquella taca de cru?, augmentarà la seva grandària?, quant de temps restarà en el mitjà marí abans de desaparèixer?, on realment anirà derivant?, i si és cap a la costa, quin lloc exactament serà afectat i... quan? Després vénen altres preguntes i no de menor importància: quin és el nivell tòxic d'aquesta substància solta?, quin tipus de perill a curt i llarg termini pot portar tal sinistre per a les comunitats marines/costaneres i per a la societat local? De les correctes respostes a totes aquestes preguntes depenen, en primer lloc, les accions urgents de les autoritats per a neutralitzar les conseqüències negatives d'aquest abocament en alta mar i en la costa, i en segon, tots els costos materials i mitjans adequats per a realitzar aquests treballs.

Podem assenyalar que en el cas real de l'Erika les primeres prediccions científiques de la trajectòria de la deriva de la taca van donar un resultat tranquil·litzador, és a dir que l'abocament havia de derivar cap al mar obert. Però al cap d'un parell de dies tota la massa de cru va estar ja en les costes Bretones. Aquest és un exemple més que ens ensenya amb claredat com va influir el baix nivell del coneixement oceanogràfic i meteorològic de l'àrea on va ocórrer aquest trist accident, sobre els resultats dels eficaços models de predicció. És realment evident que tota la matemàtica i els sistemes computacionals no poden substituir els monitoratges periòdics *in situ* i/o mitjançant els dispositius aeris o espacials d'un sistema natural tan complex com és l'ambient marí. En aquest cas la investigació del comportament dels abocaments i de la dinàmica de la zona, especialment del règim de les estructures turbulentes marines com són remolins i vòrtex (flux turbulent en rotació espiral i amb trajectòries de corrent tancades) en totes escales espacials i temporals, és imprescindible.

Els problemes de l'augment constant del volum total de tràfic marítim de substàncies químiques perilloses, incloent les radioactives, en aigües europees i del creixement del nombre de vaixells petrolers operatius de “tercera edat” són més associats amb els accidents en alta mar i amb dinàmica marina i amb dispersió de contaminants en una mesoescala de centenes de quilòmetres. No obstant això, les noves construccions marítimes, les reformes i transformacions dels ports porten altres problemes associats amb el canvi del règim dinàmic local en l'escala menor però de molta importància també. Per exemple és evident que les recents construccions en el Port de Barcelona (una bocana nova i l'ampliació de l'àrea del port que abastarà el delta del Riu Llobregat) provocaran alguns canvis significatius de la dinàmica d'aigües locals, vol això dir que necessiten nous estudis oceanogràfics per a saber com serà el comportament d'una taca hipotètica en l'àrea aquàtica del port i del plomall d'aigües residuals procedents del Riu Llobregat en aigües succintes prop de Barcelona i el seu seguiment un cop acabades les obres.

Les nostres costes són un important patrimoni natural, social, econòmic i cultural. La contaminació, en un sentit ampli, posa en perill aquest patrimoni extens. Tot i que la majoria de la contaminació que afecta els mars i oceans procedeix de terra d'una forma “continuada i constant”, la contaminació episòdica o accidental procedent de terra o mar representa un factor important que cal prevenir, minimitzar i controlar.

Davant les costes catalanes es produeix un important moviment de vaixells carregats amb substàncies que poden representar, en cas d'accident, un perill important; es tracta doncs, d'un risc potencial. Si en aquest risc li afegim, una presència humana important i una activitat econòmica fonamental per al nostre poble (pensem, per exemple, en el turisme), a més del patrimoni natural, social i cultural, arribem a la conclusió que el risc de contaminació accidental de les nostres costes mereix la nostra atenció i, per tant, una anàlisi de risc adequada.

És en aquest context que la Generalitat de Catalunya, en data 1 d'agost de 2003, va adoptar l'Acord pel qual s'aprova el pla especial d'emergències per contaminació accidental de les aigües marines a Catalunya (CAMCAT); Aquest text neix amb els objectius següents:

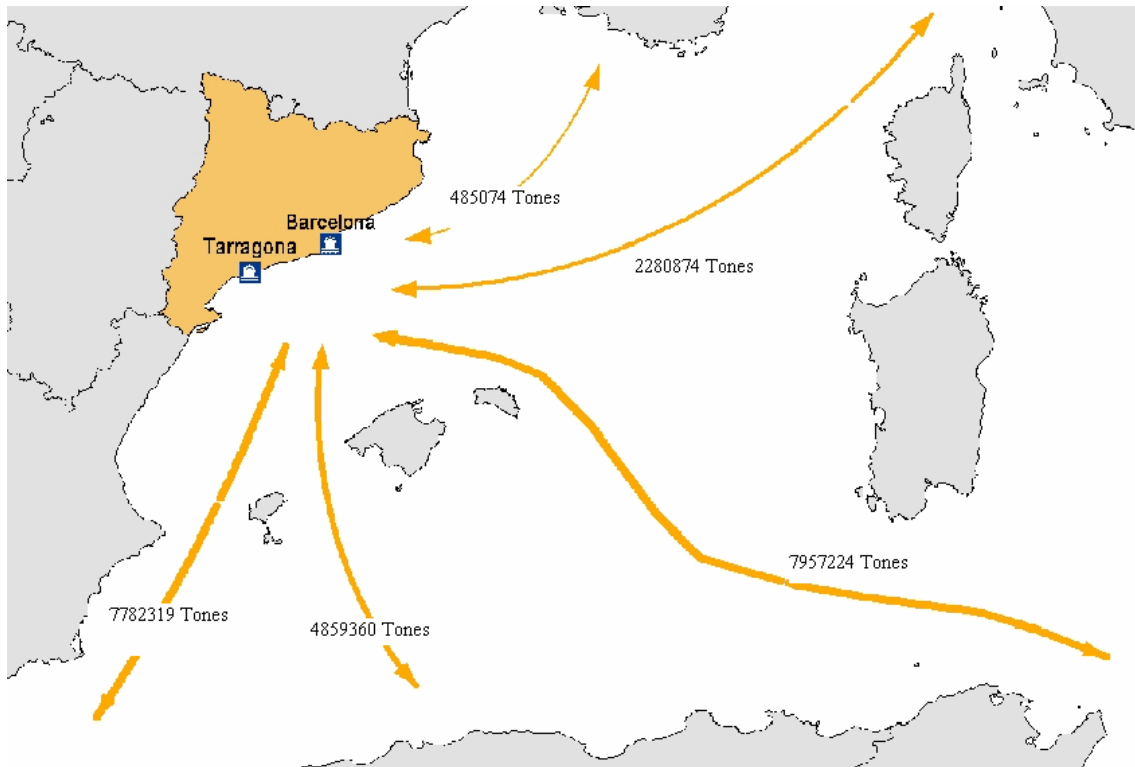
- Establir la coordinació adequada de les operacions necessàries, independentment de la titularitat dels mitjans utilitzats i els procediments de comunicacions
- Establir una resposta davant d'un episodi de contaminació marina i potenciar els mitjans de lluita contra aquesta contaminació
- Establir un marc de col·laboració per a la lluita contra la contaminació amb els convenis adients
- Facilitar i agilitar la mobilització dels recursos disponibles i fer-ne un ús racional
- Promoure i donar la formació oportuna al personal especialitzat

Aquest acord té un abast territorial d'actuació que inclou tota la costa de Catalunya i més enllà de la costa catalana sempre que es compleixin un dels dos requeriments següents

- Quan origini una contaminació que amenaci o pugui amenaçar la costa catalana
- Per requeriment del pla estatal: *Plan nacional de contingencias de contaminación marina accidental* (2001).

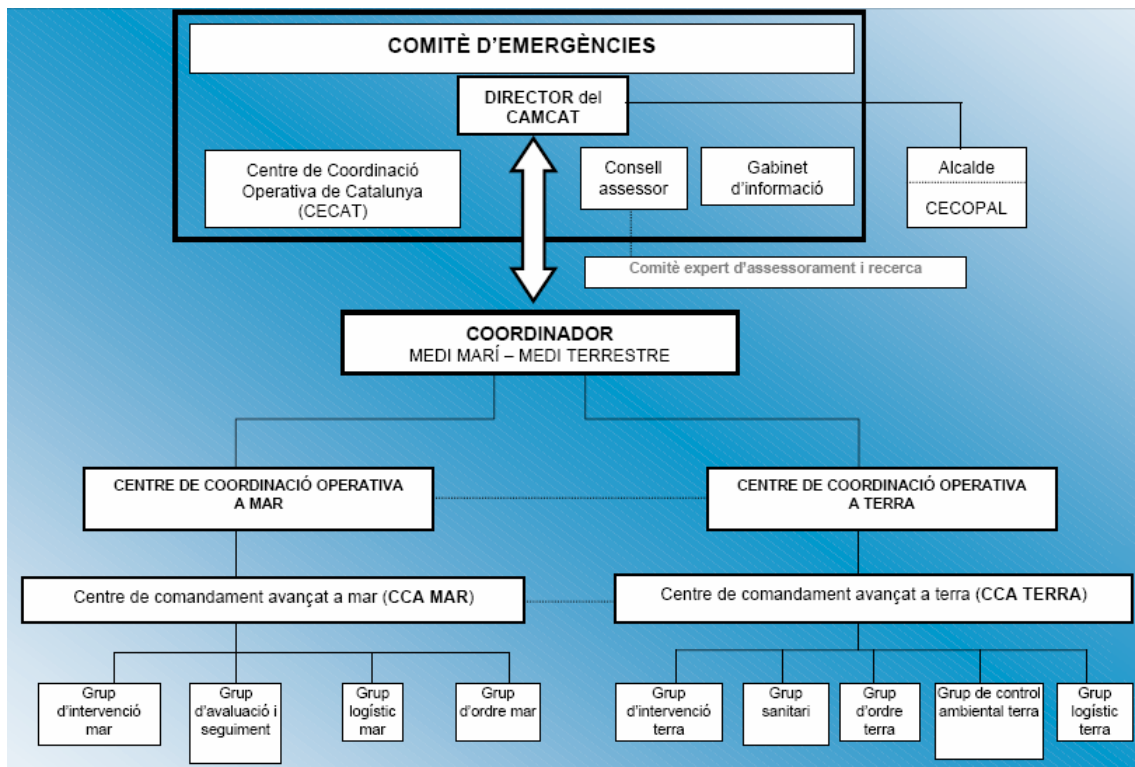
Els principals corredors marítims propers a la costa catalana i, per tant, aquelles zones amb una probabilitat major de patir un accident marítim són:

- Corredor marítim Catalunya – Sud (en direcció a l'estret de Gibraltar)
- Corredor marítim Catalunya – Algèria
- Corredor marítim Catalunya – Est (en direcció al Mediterrani Oriental i el Canal de Suez)
- Corredor marítim Catalunya – França
- Corredor marítim Catalunya – Itàlia



Principals corredors marítims a les proximitats del litoral català

L'estructura i organització del CAMCAT queden resumides en l'organigrama següent:



Organigrama representatiu de l'estructura i organització del CAMCAT

Com a eines de detecció dels possibles incidents contaminants, el CAMCAT preveu, així com els mitjans tradicionals, l'ús de la teledetecció. Pel seu seguiment, mitjans tradicionals i boies Argos. I per la modelització de l'evolució, obtenció de les dades necessàries per a la modelització, proposta de configuració del sistema d'oceanografia operacional de Catalunya i l'elaboració d'un model de previsió del comportament dels contaminants.

Per a la implantació del CAMCAT s'han considerat imprescindibles les etapes següents:

- Elaboració dels plans d'actuació dels grups d'actuació, dels sectors de risc, dels municipis i de les entitats involucrades.
- Sessions de formació dirigides als diversos col·lectius d'actuants (Bombers, serveis d'ordre, sanitaris, personal de les diferents entitats integrades...).
- Campanyes d'informació i divulgació dirigides als ciutadans, per aconseguir d'aquests una resposta adequada a les diferents situacions.
- Actuacions destinades a la disponibilitat dels mitjans i recursos que es considerin oportuns.
- Establiment dels mecanismes de revisió i manteniment del Pla i dels diversos plans d'actuació que el completen.
- Realització dels primers exercicis i simulacres.

Els mitjans disponibles a Catalunya per al desenvolupament del pla CAMCAT són els següents:

- Barreres de contenció > 6.000 m.
- Embarcacions de vigilància: 37
- Embarcacions de vigilància i neteja: 15
- Skimmers: 9
- SASEMAR (vaixells - barreres skimmers)
- Pescadors vaixells
- Altre material (absorbents, dispersants, boies traçadores, aeronaus, tancs emmagatzematge, mostreig i anàlisi).

Hi ha un altre aspecte dels estudis de la dinàmica de les aigües a mesoescala que té poc a veure amb la contaminació marina però té molta importància vital, és a dir, el

problema de recerca i seguiment d'un vaixell o un iot avariats o d'un tripulant caigut a l'aigua accidentalment en alta mar. Per a les autoritats de Salvament Marítim els coneixements del règim dinàmic de l'àrea d'accident i una ràpida predicció de la localització geogràfica del punt on pogués ser derivat l'objecte sota l'acció dels corrents, onatge i vent, pot ser imprescindible a l'hora de prendre una decisió i salvar una vida humana.

En resum, podem concloure que, tot i la seva gran importància per a la societat moderna, actualment el coneixement real del nivell de la contaminació d'aigües costaneres catalanes no és suficientment alt. Tampoc es coneixen bé les particularitats de la dinàmica i de la difusió de contaminants en alta mar. No obstant això hi ha uns treballs interessants sobre els marcs generals de dinàmica marina de l'àrea del Mar Balear i del Golf de Lleó, també existeixen els estudis ecològics puntuals en alguns llocs de la costa catalana, però els resultats d'aquests estudis no mostren encara un quadre suficientment detallat en diferents escales temporals i espacials dels processos dinàmics de la regió. A més, poques investigacions tenen una periodicitat i escala espacial adequada per a esclarir el grau real de la contaminació marina i costanera del Mediterrani Noroccidental i comparar-lo quantitativament amb els resultats obtinguts en altres zones de la Unió Europea. És en aquest entorn on els mètodes presentats en aquest treball prenen una gran importància com a fonts d'informació valuoses.

En l'àmbit dels fenòmens litorals, els informes, les dades, les cartografies, els projectes i les publicacions dedicades exclusivament als riscos naturals (excloent-ne el canvi climàtic) que afecten la zona costanera catalana són escasses. Per contra, existeix un gran nombre d'informes i publicacions que tracten sobre aspectes diversos del litoral i que d'una manera indirecta estan relacionades amb els fenòmens analitzats en aquest treball. L'objectiu ha de ser incloure bona part de les referències que contenen les informacions més rellevants i complementar-les amb altres referències significatives que puguin donar informacions addicionals sobre la varietat de temes i grups de treballs involucrats. La selecció de les referències hauria de basar-se en informacions recollides a partir de la realització d'entrevistes a experts i a la cerca realitzada en diverses fonts documentals.

Com a conjunts de dades per l'estudi dels riscos naturals a la zona litoral són rellevants, les sèries d'onatge i nivell marí, els registres de tsunamis i els fons documentals de cartografia, fotografies aèries, imatges satèl·lit i ortofotos recollits al fons documental de l'Institut Cartogràfic de Catalunya i a l'*Instituto Geográfico Nacional*, així com la sèrie històrica de línia de costa del CEDEX (*Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas*).

En el grup de cartografies s'inclouen els mapes d'erosió de la línia de costa, trams de costa artificial i regeneració artificial de platges publicats en el marc d'un projecte europeu.

Els projectes ressenyats corresponen a projectes actuals o molt recents, en la seva major part d'àmbit europeu, que afronten temes com l'erosió de la costa, les sèries històriques d'onatge i nivell del mar, i els riscos d'inundació a la zona costanera des de la perspectiva de la gestió integrada del litoral. Els organismes participants són les universitats catalanes, els departaments de la Generalitat (Política Territorial i Obres Públiques i Medi Ambient i Habitatge) i la *Dirección General de Costas*. Dos projectes que estan actualment en marxa (*Estrategia para la sostenibilidad de la costa* i *Estat de la zona costanera a Catalunya*) contenen entre els seus objectius una integració de dades del litoral i una millor definició dels riscos costaners que afecten Catalunya des del punt de vista de la gestió integrada a la zona costanera.

Les publicacions constitueixen el grup més nombrós de l'inventari, es tracta fonamentalment de publicacions científiques i han estat generades bàsicament per universitats i centres de recerca. Tracten d'una gran varietat de temes, encara que amb èmfasi especial en les variacions morfològiques de la costa.

Un cop recopilada tota la informació i reunides totes les eines de recerca necessàries serà el moment oportú per a abordar un tema d'importància capdal i tant interdisciplinari com és la gestió sostenible del litoral català.

10.2-Contaminació marítima

10.2.1-Introducció

La recerca mediambiental troba, com no podria ser d'una altra manera, un dels seus puntals en la contaminació marina i en la recerca d'estratègies per evitar-la i, en darrer terme, per a combatre-la. És per això que en aquest punt volem fer una revisió dels punts tractats anteriorment com a fonts de la contaminació marítima i assignar, a cada una d'elles, una estratègia d'anàlisi que considerem adient.

Diferenciarem entre la contaminació marítima d'origen tèrmic, d'origen terrestre i aquella que troba el seu origen en abocaments voluntaris (il·legals) o accidentals des de vaixells o relacionats en activitats portuàries on un o més d'un dels actors implicats sigui un vaixell.

Cal recordar que un altre focus de contaminació marítima, tot i que representa un percentatge petit del total és aquella d'origen natural. No tractarem aquest tipus de contaminació ja que la seva aparició és inevitable i la intervenció de l'home es pot centrar únicament a minimitzar els seus efectes negatius per a l'entorn marítim.

10.2.2-Contaminació marítima d'origen tèrmic

La teledetecció aerotransportada representa una aproximació pràctica a la investigació de la contaminació tèrmica dels abocaments d'aigües a elevada temperatura des de depuradores o centrals nuclears. Els patrons d'intensitat i distribució de la contaminació tèrmica poden ser revelats mitjançant les imatges que ens ofereix la teledetecció aerotransportada.

Les tècniques de teledetecció són una eina efectiva pel monitoreig i avaluació de la contaminació tèrmica en les aigües costaneres. Aquest fet pot jugar un paper important en la gestió de les aigües costaneres, incloent la selecció de les localitzacions, cabals i condicions en que es realitzen les descàrregues que efectuem a la mar.

Com les condicions atmosfèriques (temperatura de l'aire i vapor d'aigua, efectes de refredament dels núvols cirrus, variació de la densitat de la columna d'aire) són diferents entre el dia i la nit, l'algorisme que fem pot donar-nos resultats de temperatura lleugerament superiors o inferiors a la temperatura real de la superfície de la mar, però això no és un fenomen gaire rellevant en l'estudi dels abocaments tèrmics a la mar, ja que aquests representen una variable relativa que valorarem mitjançant la comparació de temperatures entre l'entorn marí i l'abocament concret que estudiem.

10.2.3-Contaminació marítima d'origen terrestre

Aquest tipus de contaminació que troba el seu origen en l'abocament de substàncies contaminants a la mar procedents de terra és el focus de contaminació marítima més important, representant un 70% del total. Hi ha nombrosos actors implicats en aquest fet, des de les deixalles que les persones deixem en la zona litoral després de fer-ne un ús recreatiu i que, inevitablement van a parar a la mar, fins a aquelles que es deuen a l'explotació immobiliària de la costa. Tanmateix, a la mar hi desemboquen, directa o indirectament, gran part dels residus industrials que mitjançant canonades són abocats als rius o oceans.

En aquest sentit es proposa la teledetecció aerotransportada basada en sistemes radar com una eina eficaç per a controlar, monitoritzar i fer un seguiment acurat de la contaminació que troba el seu origen a la terra ferma. Aquests sistemes ens permeten obtenir informació, tant de dia com de nit, de tots aquests fenòmens.

10.2.4-Contaminació marítima des de vaixells

La contaminació marítima des de vaixells s'ha d'abordar des de diferents vessants. Els petits abocaments de cru accidentals que suposen un percentatge molt elevat del total han de poder minimitzar-se aplicant una normativa estricta, com ja es fa en alguns països com Estats Units, que expliciti les multes que s'aplicaran a qualsevol abocament, però tant important com això és la modernització i estandardització de les operacions a

port en que es produeixen una gran quantitat d'abocaments involuntaris de petita magnitud però de gran importància al considerar-se de forma global.

Per altra banda, per fer el monitoratge i seguiment, així com les actuacions preventives, els sistemes de teledetecció embarcats en plataformes aèries com avions o helicòpters s'han revelat com una eina molt útil, on programes matemàtics basats en l'anàlisi multifractal poden constituir una part del sistema automàtic, però també s'ha de tenir la infraestructura necessària: sistema d'obtenció i anàlisi d'imatges del SAR (amb independència de les condicions meteorològiques i amb capacitat per a operar tant de dia com de nit), vols periòdics dels avions o helicòpters de guardacostes i personal adequat en els ports.

10.3-Dinàmica oceànica

La complexa dinàmica regional de les aigües superficials en el Mediterrani Noroccidental es manifesta en les imatges SAR per mitjà de múltiples estructures superficials d'origen natural que indiquen la presència de vòrtex i altres estructures dinàmiques en la superfície del mar prop de Barcelona. L'àrea amb major concentració d'estructures dinàmiques associades als vòrtex i a les cisalladures, es troba en la zona marina a l'Est de Barcelona prop del canó submarí de Blanes. Altres àrees de relativament alta freqüència de detecció d'estructures dinàmiques estan situades prop de les Illes Balears i en el litoral de Tarragona.

Únicament amb el coneixement del comportament de la dinàmica de les aigües de la zona costanera catalana podrem establir protocols eficaços d'actuació en cas d'abocaments accidentals de cru davant les nostres costes ja que en podrem predir la seva evolució i, per altra banda, també ens permetrà actuar amb més rapidesa en cas d'ésser necessari donar suport a una embarcació avariada, en cas d'un objecte perillós a la deriva o en un cas d'home a l'aigua, ja que coneixent la dinàmica marina en podrem predir la deriva i, per tant, la seva posició futura amb una major precisió.

10.4-Fenòmens litorals

Bona part del litoral català està sotmès a una forta pressió antròpica, el que el converteix en una zona especialment susceptible de patir fenòmens de transformació del medi natural que donen com a conseqüència un augment dels fenòmens d'erosió i inundació.

Els riscos que d'això es deriven han de ser gestionats de forma sostenible i per això podem establir uns punts bàsics a seguir:

- La necessitat d'elaborar una cartografia a escala detallada (almenys 1:5.000) per a tota la costa catalana sobre els processos d'erosió i vulnerabilitat a la inundació i l'avaluació dels riscos que comporten. Aquestes cartografies seran un element fonamental en la gestió dels riscos al litoral i la base per a l'estimació dels riscos en un escenari de canvi climàtic.
- La base de dades de paràmetres relacionats amb els riscos de la zona costanera té mancances considerables que cal esmentar. En primer lloc, trobem la necessitat de fer un inventari, control de qualitat i publicitat de les dades existents. En segon lloc, cal l'obtenció de noves dades bàsiques i la millora i ampliació de dades ja existents: mesuraments morfològics sistemàtics, avaluació de pèrdues econòmiques, potenciar observatoris morfodinàmics permanents, etc. Finalment, es recomana la inclusió del concepte d'incerteses i l'anàlisi d'errors en les dades.
- Es recomana donar suport a la recerca bàsica i aplicada per a la millora en el coneixement sobre la resposta de la costa i les seves estructures als processos litorals. Especialment, cal aprofundir en els sistemes d'avaluació del risc, en la modelització, en l'estimació de recurrències, en els estudis dels valors extrems dels diversos fenòmens i en la recerca d'alternatives per a la protecció de la zona costanera.
- Respecte de la gestió dels riscos, cal millorar la coordinació en el marc de la gestió integrada i sostenible de les zones costaneres entre els agents que hi

intervenien. A més, cal incrementar la presència de representants (Administració, universitats, centres de recerca i sector privat) en comitès estatals i internacionals per afavorir la coordinació entre totes les actuacions a la zona costanera.

- Tractar de reduir els accidents mortals associats als temporals (bé que en bona part són provocats per imprudències) és un objectiu necessari. En general, la divulgació a la societat dels riscos associats als temporals és una forma de prevenir els accidents. Una informació actualitzada, orientada cap als usuaris/banyistes de la platja, dels riscos al llarg de la costa catalana basada en les observacions d'onatge seria d'utilitat. Més específicament, la informació *in situ* a les platges més afectades explicant els accidents previs i els processos que les provoquen (onades, corrents) tindria un efecte dissuasiu.
- Finalment, són necessaris protocols d'actuació davant dels fenòmens litorals, tot potenciant la prevenció a mitjà i llarg termini. Respecte de l'erosió, cal establir criteris transparents d'actuació (definició d'una posició de línia de costa òptima) i aprofundir en l'optimització dels recursos de sorres, especialment el transport des de zones en acreció a zones en erosió. Respecte de la inundació, cal definir protocols d'actuació davant d'esdeveniments de llarg període de retorn (500 anys o més), tant des del punt de vista del disseny d'estructures, com dels sistemes d'alerta precoç i de la coordinació de les actuacions durant i després de l'esdeveniment. Aquests protocols s'han d'integrar en els plans de Protecció Civil específicament per a inundacions generades per temporals de mar, i també considerant el possible efecte combinat dels temporals de mar i les inundacions a la zona costanera associades a fortes pluges i/o desbordament de rius.

Els sistemes hiperespectrals s'han mostrat com els recursos més adients per a desenvolupar nombroses tasques relacionades amb el coneixement i gestió de la problemàtica del litoral català, ja que ens permeten obtenir una cartografia detallada i establir així uns paràmetres referenciats per a la línia de costa que seran l'eina fonamental per a fer el seguiment dels processos d'erosió, acreció i, fins i tot, inundació.

11-Conclusions

La lluita contra la contaminació marítima i la defensa del territori i recursos naturals passa, en molts casos, per a conèixer-lo bé. I per aconseguir això necessitem fer ús dels mecanismes, estratègies i recursos que ens aportin informació. Amb la realització d'aquest treball hem intentat transmetre la utilitat dels diferents sistemes embarcats per al seguiment del nostre litoral i l'estudi de la seva problemàtica en qualsevol de les seves vessants.

Seria interessant i molt útil en sentit pràctic i aplicat a les necessitats actuals de la societat implantar un Sistema d'Informació Georeferenciada SIG per al seguiment de la contaminació i de la dinàmica d'aigües en el Mediterrani Noroccidental incorporant les dades d'estudis oceanogràfics històrics de la zona. Tal sistema podria servir com una base preliminar d'un Centre Virtual d'Informació Costanera i del Mar de Catalunya, formar part dels mitjans informatius de la Secretaria de Medi ambient de Catalunya i servir per a aplicacions pràctiques i acadèmiques. Juntament amb una estructura adequada podria consolidar-se com la base d'un Sistema Automàtic de Vigilància de Contaminants en alta mar i en el litoral.

En aquest sentit ha aparegut recentment una proposta anomenada *Cartografia avançada per a la gestió i l'ús sostenible de la zona costanera submergida (GESCOSTA)*. Aquesta proposta planteja la transferència a l'administració i a l'empresa de productes cartogràfics d'alta resolució de la zona costanera submergida de la província de Barcelona. Aquests productes (mapes batimètrics, de pendents, de naturalesa del fons, de presència d'obstacles, de recobriment sedimentari, interpretatius i altres mapes temàtics) són fonamentals per a una gestió eficaç i un ús sostenible de la zona costanera submergida, i també de la zona emergida adjacent donada la continuïtat espacial entre ambdues.

La naturalesa d'aquests projectes fa que impliquin a diferents sectors de la societat i a institucions diverses. En aquest cas tenim (1) una empresa que assegurarà el projecte

tècnic i que està interessada en interactuar amb el grup d'investigació per a millorar els seus productes (Simrad Spain, S.L.); (2) un grup d'investigació (GRC en Geociències Marines de la Universitat de Barcelona), posseïdor del *Know How*, que s'encarregarà de l'adquisició, el processat, la presentació i la interpretació de les dades, i de la seva difusió científica; (3) usuaris de l'administració autonòmica (DG de Pesca i Afers Marítims, DG de Ports, Aeroports i Costes), interessats en les dades per a la seva aplicació en la gestió de la zona costanera; y (4) l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), entitat de dret públic de la Generalitat de Catalunya, interessat a incorporar els resultats als seus productes cartogràfics, per a la seva utilització per part de qualsevol usuari i, també, per a la difusió a la societat, en el sentit més ampli.

L'objectiu principal d'aquesta proposta és la consecució i transferència a les entitats abans indicades, i a altres externes al consorci, d'una bateria de dades en format mapa, integrats en un projecte SIG, que permeti un fàcil accés als mateixos i possibiliti la combinació de les diferents capes (mapes) a gust de l'usuari, de manera que el conjunt es converteixi en un element altament eficaç per a la gestió i l'ús sostenible de la zona costanera, i en un model susceptible de ser aplicat a altres àrees geogràfiques.

Tanmateix, creiem que el conjunt d'eines proposades, desenvolupades de forma coordinada amb altres metodologies d'anàlisi *in situ*, o d'observació de la Terra embarcades en satèl·lits, poden representar un apropament molt interessant a una situació real que cal afrontar si no volem veure amenaçada la vida a la mar i, en conseqüència, l'ús que en fem d'ella.

La missió dels científics és la de proposar, desenvolupar i validar instruments que ens aportin la informació necessària, mentre que l'elaboració de plans d'acció global i estratègies eficaces és feina de tot un seguit d'institucions com les que hem presentat en aquest treball. Tot i així, creiem que la solució es començarà a entreveure quan siguem capaços de transmetre, i de fer arribar a la gent, la certesa de la necessitat d'un canvi d'hàbits que converteixin la nostra activitat diària en més sostenible i, sobre tot, quan els interessos econòmics de les empreses i indústries no es posin per davant de l'interès comú.

Dins de l'entorn europeu és evident una creixent sensibilització amb els temes de gestió del litoral, contaminació marina i desenvolupament sostenible en general, que es tradueixen en l'aparició d'un elevat volum de normatives mediambientals que, per tal de poder ser complertes, estimulen, cada cop més, l'ús de les tècniques d'observació de la Terra. Paral·lelament, l'aplicació de les tècniques existents revelarà les seves mancances, de manera que es desenvoluparà també la recerca de tècniques d'observació del territori cada cop més ràpides, més precises, més exactes i, en definitiva, millors.

La cadena de valor de l'observació del territori a Catalunya, està fortament representada per tot un seguit d'organismes públics i privats, per institucions acadèmiques, i per un ampli teixit industrial i empresarial que dibuixen aquesta cadena de coneixement des de la seva etapa inicial d'obtenció de les dades, passant per la transformació d'aquestes en informació útil, fins a l'explotació del coneixement obtingut per part dels usuaris.

Un exemple de cadena de valor de l'observació de la Terra a Catalunya on apareguin alguns dels actors més destacats és:

- a- Obtenció de dades: Institut Cartogràfic de Catalunya (captura de dades i plataformes aèries on instal·lar els sensors) i l'Institut de Ciències del Mar (òrgan que pertany al CSIC) juntament amb la UB, UAB i UPC (disposen de vaixells oceanogràfics i boies per tal d'oferir-nos els valors de la veritat terreny, imprescindible per a la cal·libració dels instruments embarcats).
- b- Transformació de les dades en informació: Els encarregats de processar les dades per a oferir-nos coneixement poden ser l'ICM i la UB, UAB i UPC, mentre que una altra via d'adquisició de coneixement la formen les empreses privades com Starlab o GTD.
- c- Explotació per part dels usuaris: Agència Catalana de l'Aigua (ACA), Departament de Medi Ambient i Habitatge (DMAH), Departament d'Interior (DI), Departament de Política Territorial i Obres Públiques (DPTOP).

La presentació d'aquest treball, mitjançant la tutorització rebuda i la recerca realitzada, creiem que ofereix un increment del coneixement de les tècniques d'observació de la Terra i una visió clara de la problemàtica de la contaminació marítima en general i especialment de la situació de la zona costanera i litoral catalana en l'actualitat. Tanmateix, hem pogut prendre consciència de la cadena de valors que implica

actuacions futures que poden donar continuïtat a aquest treball de cara a un projecte final de llicenciatura o posteriors. Entre les línies de recerca que actualment es postulen en els primers llocs podem destacar tres vessants fonamentals i que són aquelles que tenen voluntat de servei, les que es basen en l'anàlisi temàtica i aquelles que analitzen situacions concretes.

Entre els que tenen voluntat de serveis destaquen els sistemes hiperspectrals encarregats de monitoritzar la temperatura i qualitat de l'aire i de l'aigua de mar. Els responsables d'aportar-nos el coneixement poden ser l'ICC, l'ACA, el Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM), l'ICM (CSIC) i la FNB (UPC). I alguns dels usuaris o destinataris interessats són el DMAH, el Departament d'Innovació, Universitats i Empresa (DIUE), el Meteocat (Servei Meteorològic de Catalunya), el Departament de Salut i el d'Interior.

Pel que fa als que es centren en l'anàlisi temàtica podem dir que estan basats en plataformes satèl·lit i entre ells podem diferenciar els que avaluen la situació del litoral català i els possibles riscos als quals està sotmès (RISKCAT) i, per altra banda, els centrats en els índexs de qualitat de l'aire i l'aigua de mar. En relació als primers, trobem com a possibles implicats en la generació de dades a l'ICC, la UB, l'Institut Geològic, Geocat, l'ICM (CSIC) i la FNB (UPC). I com a usuaris de la informació està el DPTOP, DI, DMAH, Agència Catalana de l'Aigua (ACA) i Clavegueram de Barcelona, S.A. (CLABSA). En segon lloc, els actors que aporten la informació són l'ICC, l'ACA, el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) i el Grup de Recerca Aplicada en Hidrometeorologia (GRAHI). Com receptors i usuaris de la informació tenim al DMAH, a l'ACA, al Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural (DAR), als Ajuntaments, al Departament d'Indústria, Comerç i Turisme i a les centrals hidroelèctriques.

Finalment, trobem els sistemes d'anàlisi basats en radar tant si es tracta de plataformes aèries com satèl·lit. Destaquem la vigilància de les activitats civils que es desenvolupen en els ports i en àrees marítimes i, per altra banda, l'estudi dels canvis morfològics i els seus riscos associats en la gestió de la costa catalana. Els encarregats de l'adquisició de dades per al primer punt són l'ICC, Altamira Información, S.L., Institut de Geomàtica, el LIM, FNB (UPC), Starlab i Infoterra. Els seus usuaris són DPTOP, Autoritat del Port

de Barcelona (APB), Ports de la Generalitat i *Puertos del Estado*. En segon lloc hem presentat l'estudi dels canvis morfològics de la costa catalana i com a implicats en la recopilació de dades tenim a l'ICC, el LIM (UPC), l'ICM (CSIC) i Infoterra. Mentre que els destinataris i usuaris d'aquesta informació estan formats per DPTOP, DI i Protecció Civil.

El Pla Especial d'Emergències per Contaminació Accidental de les Aigües Marines a Catalunya (CAMCAT), com ja hem explicat en l'apartat 10.1, apareix amb la voluntat de coordinar als diferents actors implicats en la resposta d'un possible episodi de contaminació marítima, però hem observat que en les poques vegades que s'ha aplicat, el requeriment de dades de geoinformació, basades avui dia en recursos satèl·lit, no han donat una bona cobertura degut als problemes de resolució temporal dels satèl·lits, el que augmenta encara més la necessitat de la teledetecció aerotransportada.

Per acabar, creiem que és molt important destacar que ens trobem en una situació difícil per a l'entorn marítim i litoral i que, a Catalunya, aquest fet es fa especialment evident per la forta explotació per part de l'home que aquest ha experimentat i continua patint. Però en el context actual creiem que hi ha una certa voluntat des de diferents estrats de la societat civil i des de les administracions públiques tant a nivell local com europeu per a obrir línies de recerca conjunta que ens han de permetre gaudir d'un entorn privilegiat com és el litoral català sense deixar-lo "tocat de mort". Això passa per a fer-ne un ús conscient i per l'aplicació de models de creixements sostenibles.

12-Bibliografia

Articles

CHEN, CHUQUN, SHI, PING AND MAO, QUINGWEN. 'Application of Remote Sensing Techniques for Monitoring the Thermal Pollution of Cooling-Water Discharge from Nuclear Power Plant'. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*,38:8 (2003). P.1659-1668.

SMITH, G. M., THOMSON, A. G., WILSON, A. K., HILL, R. A. and PURCELL, P. W. 'Airborne remote sensing for monitoring the impact of coastal zone management'. *International Journal of Remote Sensing*. 28:7, (2003). P.1433-1435.

V. PASQUALINI, C. PERGENT-MARTINI, C. FERNANDEZ and G. PERGENT. "The use of airborne remote sensing for benthic cartography: advantages and reliability". *International Journal of Remote Sensing*. vol. 18, no. 5, (2007). P.1167-1177.

BARALE, VITTORIO. 'Environmental Remote Sensing of the Mediterranean Sea'. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*,38:8, (2003). P.1681 — 1688

A. M. MATTHEWS, A. G. DUNCAN and R. G. DAVISON. "An assessment of validation techniques for estimating chlorophyll-*a* concentration from airborne multispectral imagery". *International Journal of Remote Sensing*. vol. 22, no. 2 & 3, (2003). P.429–447

THOMSON, A. G., FULLER, R. M., YATES, M. G., BROWN, S. L., COX, R. and WADSWORTH, R. A. 'The use of airborne remote sensing for extensive mapping of intertidal sediments and saltmarshes in eastern England', *International Journal of Remote Sensing*. 24:13, (2003). P.2717 — 2737

EVERITT, J. H., YANG, C. and DAVIS, M. R. 'Evaluating Airborne Hyperspectral Imagery for Rangeland Assessment in South Texas'. *Geocarto International*, (2004). 19:3. P.23 — 31

DEVASTHALE, A. and GRASSL, H. 'Comparison of low brightness temperatures derived from the AVHRR thermal channels with in situ measurements in Antarctica'. *International Journal of Remote Sensing*. 30:2, (2008). P.525 — 532

DRUON, J. N., LOYER, S. and GOHIN, F. 'Scaling of coastal phytoplankton features by optical remote sensors: comparison with a regional ecosystem model'. *International Journal of Remote Sensing*. 26:20, (2005). P.4421 — 4444

D. G. GEORGE. "The airborne remote sensing of phytoplankton chlorophyll in the lakes and tarns of the English Lake District". *International Journal of Remote Sensing*. vol. 18, no. 9, (1997). P.1961 — 1975

V. PALA, R. ALAMÚS, F. PÉREZ, R. ARBIOL I J. TALAYA. "El sistema CASI-ICC: un sensor multiespectral aerotransportado con capacidades cartográficas". *Revista de Teledetección*. No. 12, (1999).

Monografies

JOAN MANUEL VILAPLANA I BLANCA PAYÀS. *RISKCAT. Els riscos naturals a Catalunya*. Informe executiu. Catalunya. LV Grupo Gráfico, 2008. ISBN: 978-84-393-7836-5.

JORGE GUILLÉN. *Els Riscos Litorals a Catalunya*. Informe d'expertesa. Catalunya. LV Grupo Gráfico, 2008.

RANDALL B. SMITH. *Introducción a las imágenes hiperespectrales*. Lincoln, Nebraska. Micro images, inc., 2008.

JENS NIEKE AND KLAUS I. ITTEN. *Hyperspectral Imagers*. Department of Geography, University of Zurich. 2007.

ALEXÉI PLATÓNOV. *Aplicación de imágenes de satélite SAR en los estudios de contaminación marina y de dinámica de las aguas en el Mediterráneo Noroccidental*. Barcelona. Juny 2002. ISBN 84-699-9993-1

Webs

ICC. Àrea de Teledetecció. *Sistemes Hiperespectrals Embarcats en Avió i Satèl·lit*. ROMÁN ARBIOL. Hiperespectralitat: vegetació, agricultura i medi ambient. Barcelona, 9 de novembre. (2007).

<www.icc.cat/pdf/common/icc/publicacions_icc/jornades/2007/hiperespectralitat/sistemes_hiperespectrals_embarcats.pdf>

REMOTE SENSING AND PHOTOGRAMMETRY SOCIETY. *Information Zones. Learning Zones*. England. (2008).

<<http://www.rspoc.org/information-zones/learning-zone/>>

EUROPEAN SPACE AGENCY. *Observing the Earth*. 27 d'Octubre de 2008.

<http://www.esa.int/esaEO/SEM12R1VQUD_index_0.html>

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE JAÉN. *Teledetección. 2º Curso de IT en Topografía*. 26 de Febrero de 2008.

<http://coello.ujaen.es/Asignaturas/teledeteccion/tel/tel_tfc_archivos/>

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). *The Remote Sensing Tutorial. Thermal Remote Sensing*. Dr. Nicholas M. Short. 30 de Juny de 2008.

<http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect9/Sect9_3.html>

CANADA CENTRE FOR REMOTE SENSING. *Tutorial: Radar Remote Sensing*. 28 de Gener de 2008.

< http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/gsarcd/index_e.php>

NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL. *Airborne Research & Survey Facility*. 4 de Setembre de 2008.

< <http://arsf.nerc.ac.uk/>>

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. *Tractament Biològic de la Depuradora del Besòs*. Actuaciones para la Gestión y Utilización del Agua (AGUA). 2006.

<http://www.mma.es/secciones/agua/notas_prensa/folleto_tratamiento_biologico_besos.pdf>

GENERALITAT DE CATALUNYA. *Pla especial d'emergències per contaminació accidental de les aigües marines a Catalunya (CAMCAT)*. 9 de Juliol de 2003.

< <http://www.gencat.cat/interior/emergencies/plans/aigues/pla/camcat.pdf>>

SELEX. SISTEMI INTEGRATI. *Synthetic Aperture Radar*. Christian wolff. 2008.

<<http://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.en.html>>

CREASO. *iTres Recommends ENVI for Hyperspectral Analysis*. Germany. 11 de Novembre de 2008.

<http://www.creaso.com/english/15_succ/envi_es_itres/envi_es_itres.htm>

GOODRICH. Sensors Unlimited, Int. *Why SWIR? What is the value of Shortwave Infrared?*. Princeton, New Jersey. 1 de Novembre de 2005.

<<http://www.sensorsinc.com/whyswir.html>>

ITRES RESEARCH LIMITED. Pioneers in airborne hyperspectral remote sensing systems and solutions. *Sensor Products*. Calgary, Alberta, Canada. 2007.

<http://www.itres.com/Sensor_Products>

OBSERVATORI DEL LITORAL. *Gestió Integrada. Documentació de Referència*. 2008.

<http://elfar.diba.es/observatori/gestio_integrada_a.html>

UPC. *Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners (CIIRC)*. Juliol de 2006.

<http://www.upc.edu/memoria/05_06/ud11301.htm>

EARSel. *Comparison of sediment transport modelling with hyperspectral airborne data analysis for the retrieval of sediment concentration*. 30 d'Abril de 2007.

<<http://www.conferences.earsel.org/abstract/showbyoldid/308>>

TDX. *Tesis Doctorals en Xarxa*. Dipòsit cooperatiu.

<<http://www.tdcat.cesca.es/index.html>>

HEAD WALL PHOTONICS. Wavelength Solutions. *Hyperspec-VNIR™. High-Efficiency, Industrial Hyperspectral Imaging Sensors for 400-1000nm*.

<http://www.headwallphotonics.com/downloads/Headwall_Hyperspec_VNIR_Datasheet.pdf>.