



SMOS: Concepció de l'Instrument MIRAS

Una Revisió de les Contribucions de la UPC

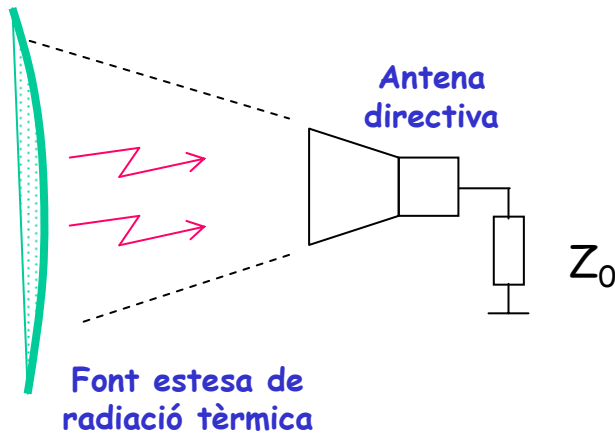
1993-2007

J. Bará, A. Camps, I. Corbella, N. Duffo, F. Torres and M. Vall·llossera

1. Introducció
2. Contribucions de la UPC: Perspectiva històrica
3. Contribucions de la UPC al disseny de l'instrument
4. Contribucions de la UPC a la missió SMOS
5. Conclusions i agraïments

MIRAS/SMOS és un radiòmetre: Què és un radiòmetre de microones?

→ **Radiòmetre de microones:** receptor molt precís i sensible per a mesurar T_A (com una "ràdio" sintonitzada en una banda on no es pot emetre)



Cos Negre: $P = k T_A B$

$T_A = T_{ph}$, T_{ph} = Temperatura física

Cos "Gris": $P = k T_A B$

$T_A(T_B)$: mitja ponderada de T_B pel diagrama de radiació de l'antena

T_B = Temperatura de brillantor = $e \cdot T_{ph}$

Per exemple: T_B mar:

$$T_{h,v}(\theta, SST, SSS) \approx (1 - \Gamma_{h,v}(\theta, \epsilon_r(f, SST, SSS))) \rightarrow SST + \Delta T_{h,v}(\theta, param)$$

T_B depèn de:

- Temperatura física
- Propietats elèctriques ($\epsilon_r(f)$) i geomètriques (rugositat)
- Orientació (θ, φ) i polarització
- Freqüència

Coeficient reflexió Fresnel

Emissivitat mar en calma

T_B mar en calma

Variació de la T_B deguda a l'estat del mar (aprox. 1^{er} ordre)

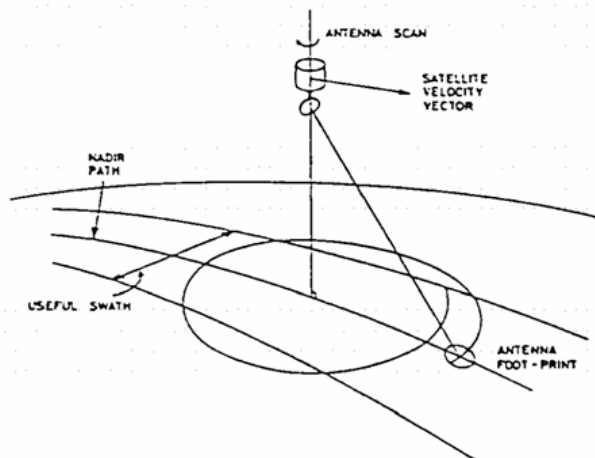
Radiòmetres d'Obertura Real:

- Formació de la imatge mitjançant l'escombrat mecànic del feix de l'antena
- Resolució espacial determinada per la mida de l'antena:

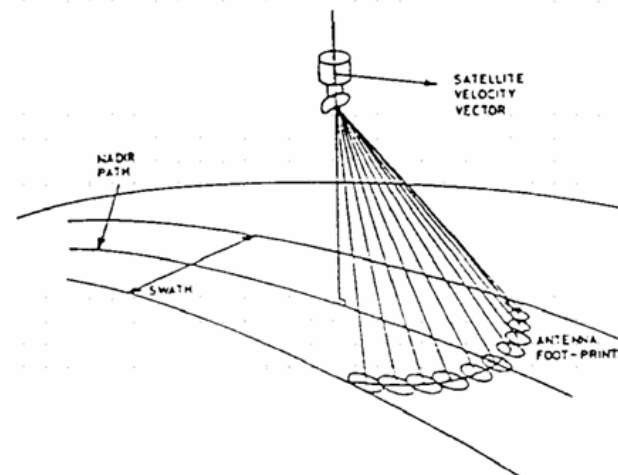
"Alta" resolució ($\Delta x \sim 10$ km) a freqüències "baixes" (1,4 GHz)

⇒ antenes de grans dimensions ($L \sim 20$ m)

ESCOMBRAT CÒNIC



PUSHBROOM

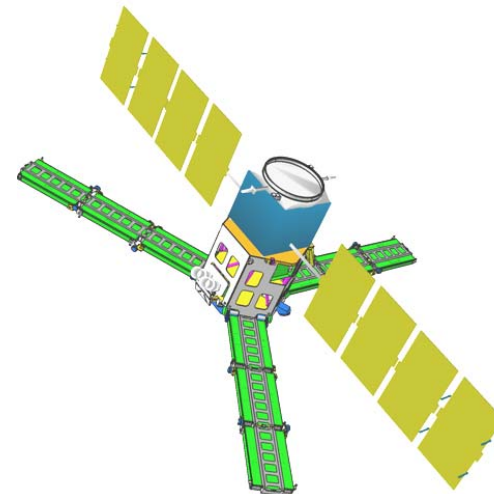


Radiòmetres per Síntesi d'Obertura:

- Formació de la imatge 2D **SENSE** escombrat mecànic de la antena
 ⇒ feixos sintètics
 inspirat en la radio-astronomia, però amb **grans diferències !!**
- Resolució espacial determinada per la màxima separació entre antenes:



VLA (Socorro, Nou Mèxic)



Radiòmetre MIRAS
(Missió SMOS, ESA)

- En vista dels resultats satisfactoris del radiòmetre **ESTAR** (1988),

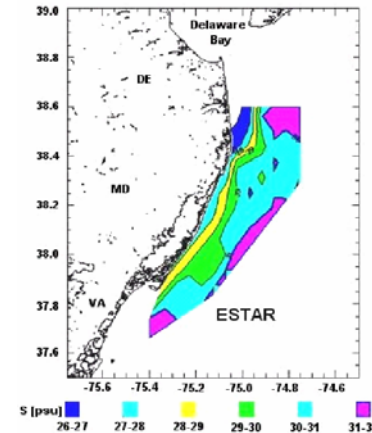
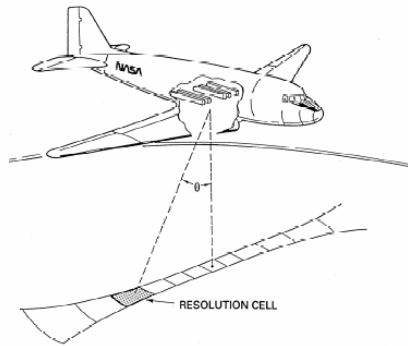


Imagen de SSS derivada a partir del "Electronically Steered Thinned Array Radiometer (ESTAR)". Error = 0.3 psu (D. M. LeVine et al., NASA Goddard).

l'ESA empren al **1993** els **primers estudis de viabilitat** per aplicar les tècniques d'obertura sintètica a dues dimensions:

- Neix MIRAS: Microwave Imaging Radiometer by Aperture Synthesis**
- Primers estudis (1993-95):** contractista principal **Matra Marconi Space**
- 1995 Soil Moisture and Ocean Salinity Workshop (ESTEC, Holanda)**

La radiometria per síntesi d'obertura és la única tècnica capaç de mesurar la humitat del terreny i la salinitat del mar amb prou precisió i resolució espacial

La missió **Soil Moisture & Ocean Salinity** de la sèrie Earth Explorer:



Proposta: Novembre 1998

Investigadors principals: Y. Kerr (CESBIO)
J. Font (ICM-CSIC)

Recolçada per gairebé 70 investigadors europeus

Acceptada com a 2^{ona} Earth Explorer al Maig 1999

Fruit col·laboració: CDTI (Sp) / CNES (Fr) / ESA

Solució tècnica = **Radiometria Interferomètrica per Síntesi d'Obertura**

- Mètode innovador → aposta arriscada!!
- Forma imatges 2D de temperatura de brillantor sense moviment de l'antena
- Aconsegueix bones resolucions espacials (~50 km) amb una agrupació de petites antenes (~20 cm)
- Menys costos i més fàcilment escalable

La missió SMOS és un repte:

1) Nou tipus d'instrument:

- revisió de l'equació fonamental
- model detallat d'errors ↔ algorismes de correcció / calibració
- algorismes de reconstrucció d'imatge

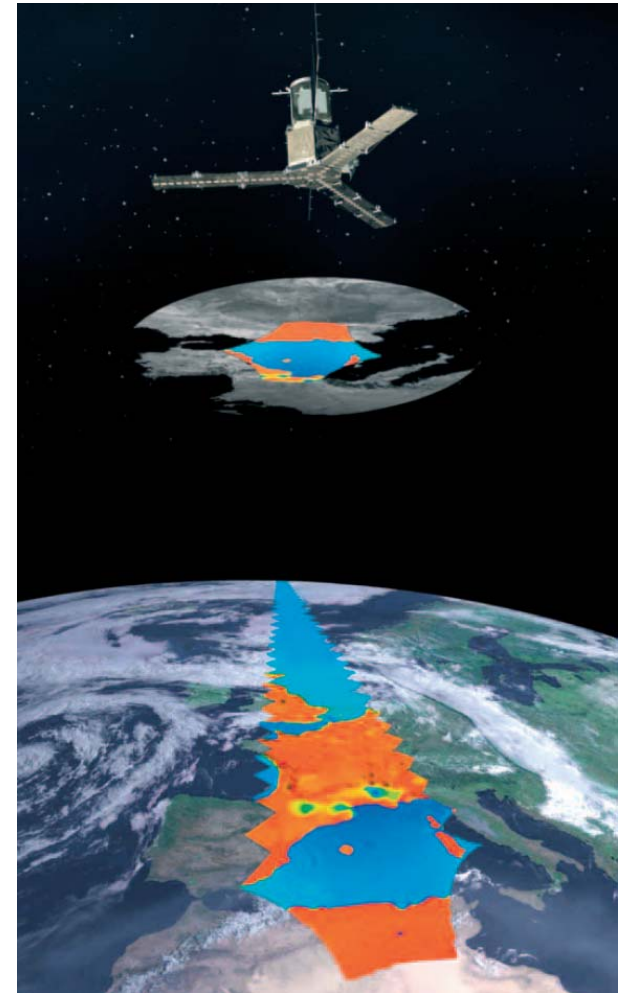
2) Nou tipus d'observacions:

- observacions multilook i multiangulars:
 - . mida i orientació de cada pixel diferent
 - . soroll i precisió diferents per a cada pixel
- mescla de polarització:
 - . marc de referència terra ↔ antena

3) Models d'emissió del mar i del terra a banda L:

- gran rang d'angles d'incidència (0⁺-60⁺)

4) Desenvolupament de nous algorismes de recuperació tenint en compte 1, 2 i 3



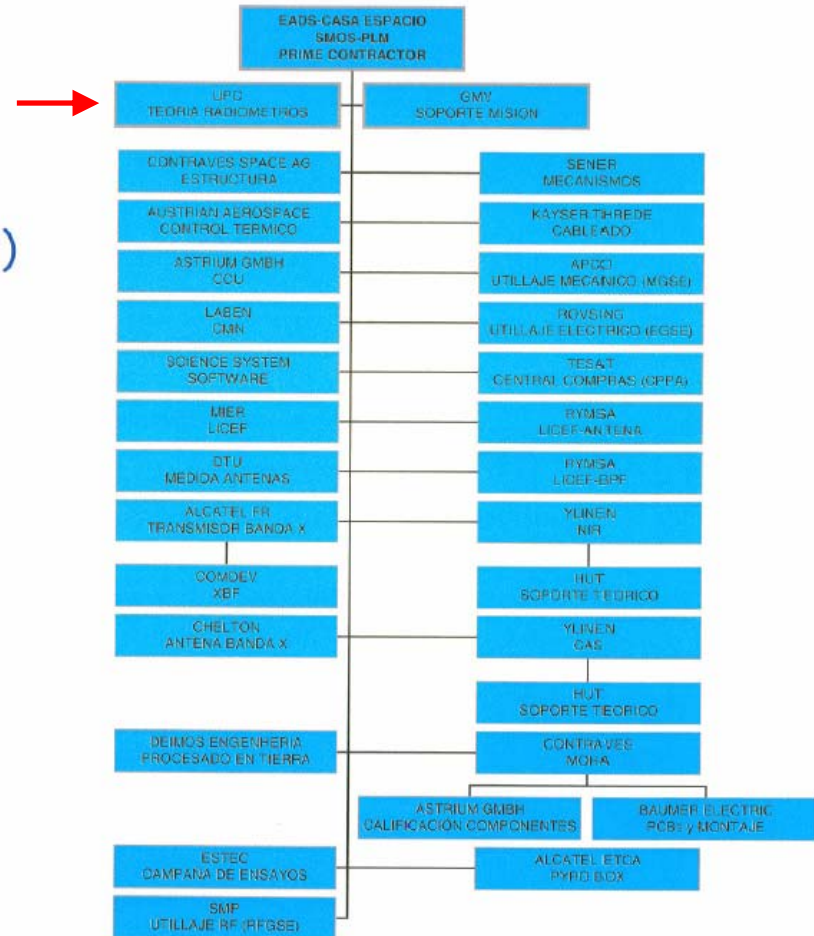
La UPC ha contribuït de manera significativa en gairebé tots els aspectes anteriors, i molt especialment a la concepció de l'instrument



2. Contribucions de la UPC: Perspectiva històrica (i)

ORGANIZACIÓ INDUSTRIAL SMOS PLM

Empreses de:
 Espanya (contratista principal)
 Francia
 Bèlgica
 Suïza
 Àustria
 Portugal
 Finlàndia
 Anglaterra
 Itàlia
 Alemanya
 Dinamarca



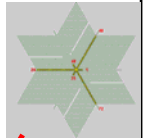
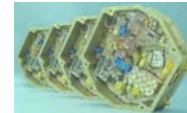
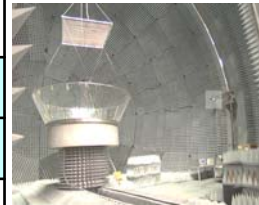
(extret d'una presentació del Sr. Andrés Borjes, Project Manager de SMOS en EADS-CASA)

Però les contribucions de la UPC al que avui és la missió SMOS s'inicien al 1993, i no es limiten a l'instrument...

2. Contribucions de la UPC: Perspectiva històrica (ii)

Inicis : 1993-1999

PROJECTE	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
<i>Feasibility Study of a Dual Interferometer Radiometer</i>								
<i>MIRAS: Bi-dimensional Discrete Formulation for Aperture Synthesis Radiometers</i>								
<i>mm-Wave Wide Band Focused Interferometry</i>								
<i>Proyecto LICEF-1</i>								
<i>MIRAS Calibration System Definition CAS-D</i>								
<i>Millimeter-wave Aperture Synthesis Techniques MAST</i>								
<i>MIRAS Failure Analysis (FAN)</i>								
<i>Consultoria tècnica de LICEF-2</i>								
<i>"Técnicas Interferométricas para la obtención de imágenes de Teledetección por Microondas"</i>								
<i>"Técnicas de Teledetección con Énfasis en Polarimetría e Interferometría"</i>								



Clau:

Projecte CICYT
Projecte ESA, ESF, o empresa
Definició / estudi instrument
Models emissivitat / algorismes recuperació paràmetres

Tesi doctoral A. Camps

= precursora SMOS

Prestacions de l'instrument, error budget, calibració, reconstrucció d'imatge i es construeix un demostrador en banda X



Maig 1999:
SMOS seleccionada com a 2^a missió d'oportunitat de la sèrie Earth Explorer

2. Contribucions de la UPC: Perspectiva històrica (iii)

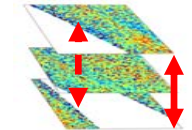
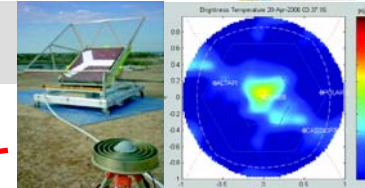




Desenvolupament: 2000-actualitat

PROJECTE	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<i>Consultoría técnica del proyecto SMOS Extended Phase A (SEPA)</i>								
<i>Wind and Salinity Experiment (WISE) 2000</i>								
<i>Wind and Salinity Experiment (WISE) 2000 (CCN-1)</i>								
<i>Wind and Salinity Experiment (WISE) 2000 (CCN-2)</i>								
<i>SEPS: SMOS End-to-end Performance Simulator</i>								
<i>MIRAS DEMONSTRATOR PILOT PROJECT-2 (MDPP-2)</i>								
<i>Diseño e implementación de un receptor GPS Doppler-Delay"</i>								
<i>SMOS Payload Module (SMOS PLM): SMOS phase B.</i>								
<i>L Band emissivity of sea foam and sea surface perturbed by rain</i>								
<i>SMOS PLM, Phase C/D</i>								
<i>SMOS General Support Activities</i>								
<i>Aircraft demonstrator for MIRAS. MDPP-3</i>								
<i>Synergetic Aspects and Aux. Data Concepts for SSS Meas. from Space</i>								
<i>"Técnicas de Teledetección Énfasis en Polarimetría e Interferometría"</i>								
<i>"Teledetección por microondas para la identificación de riesgos y monitorización del cambio climático"</i>								
<i>"MIDAS: Análisis de Medidas en Microondas para el Desarrollo de Algoritmos para la Misión SMOS"</i>								
<i>"MIDAS-2: Definición del proceso de datos de la misión espacial SMOS en la estación de Villafranca del Castillo (SMOS-GS-B) PARTE UPC"</i>								
<i>"MIDAS-3: Contrib. de España al segmento tierra misión SMOS de ESA durante 2004-05: Estudio algoritmos para determinación salinidad y humedad suelo y desarrollo fases B y C del segmento de tierra"</i>								



2. Contribucions de la UPC: Perspectiva històrica (iv)

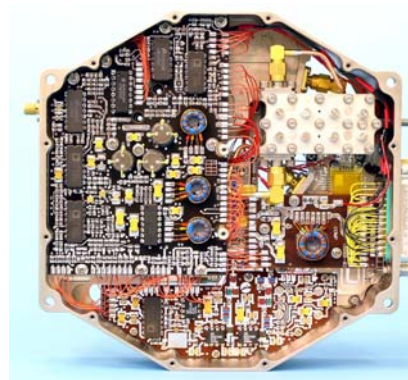
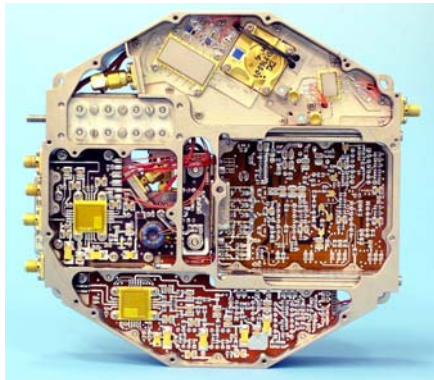
Present i futur:

PROJECTE	2005	2006	2007	2008	2009	2010	...
<i>"Synergetic Aspects and Aux. Data Concepts for SSS Meas. from Space"</i>							
<i>"Teledetecció por microondas para la identificaci3n de riesgos y monitorizaci3n del cambio clim3tico"</i>							
<i>"T3cnicas interferom3tricas, polarim3tricos y biest3ticas para sistemas de teledetecció por microondas"</i>							
<i>"SMOS General Support Activities"</i>							
<i>MIRAS DEMONSTRATOR PILOT PROJECT-3 (MDPP-3)</i>							
<i>"MIDAS-3: Contribuci3n de Espa1a al segmento de tierra de la misi3n SMOS de la ESA durante 2004-05: Estudio de algoritmos para la determinaci3n de salinidad y humedad del suelo y desarrollo de parte de las fases B y C del segmento de tierra"</i>							
<i>"MIDAS-4: Calibraci3n de las medidas obtenidas por el radi3metro MIRAS de la misi3n SMOS y generaci3n de mapas de salinidad y humedad del suelo"</i>							
<i>"CALIMAS: CALibration-validation of Interferometric Microwave And Salinity products"</i>							
<i>SMOS operational system</i>							
<i>PAU: Passive Advanced Unit for ocean monitoring (EURYI Award, ESF)</i>							

Setembre 07:
Data oficial llançament SMOS

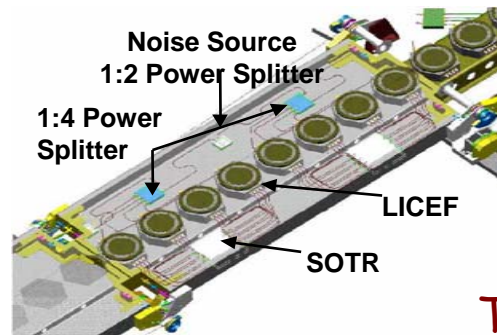
3. Contribucions de la UPC al disseny de l'instrument (i)

- **Anàlisi de les prestacions de l'instrument:** resolució angular, sensibilitat i precisió radiomètriques
- **Anàlisi dels errors de l'instrument (Error Budget)**
 - ⇒ Especificació de subsistemes (consultoria EADS-CASA I MIER)



(Cortesia MIER SA)

- **Definició de la Calibració de l'instrument per Injecció de Soroll Distribuida i del In-Orbit Calibration Plan (IOC)**

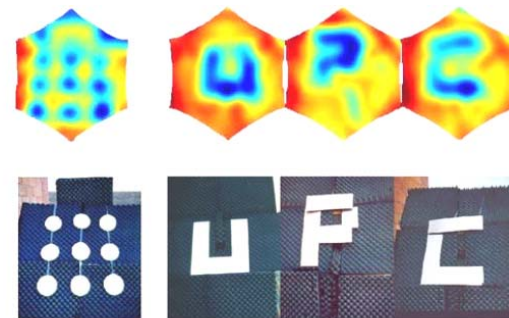


Topologia definida a mitjans dels '90



3. Contribucions de la UPC al disseny de l'instrument (ii)

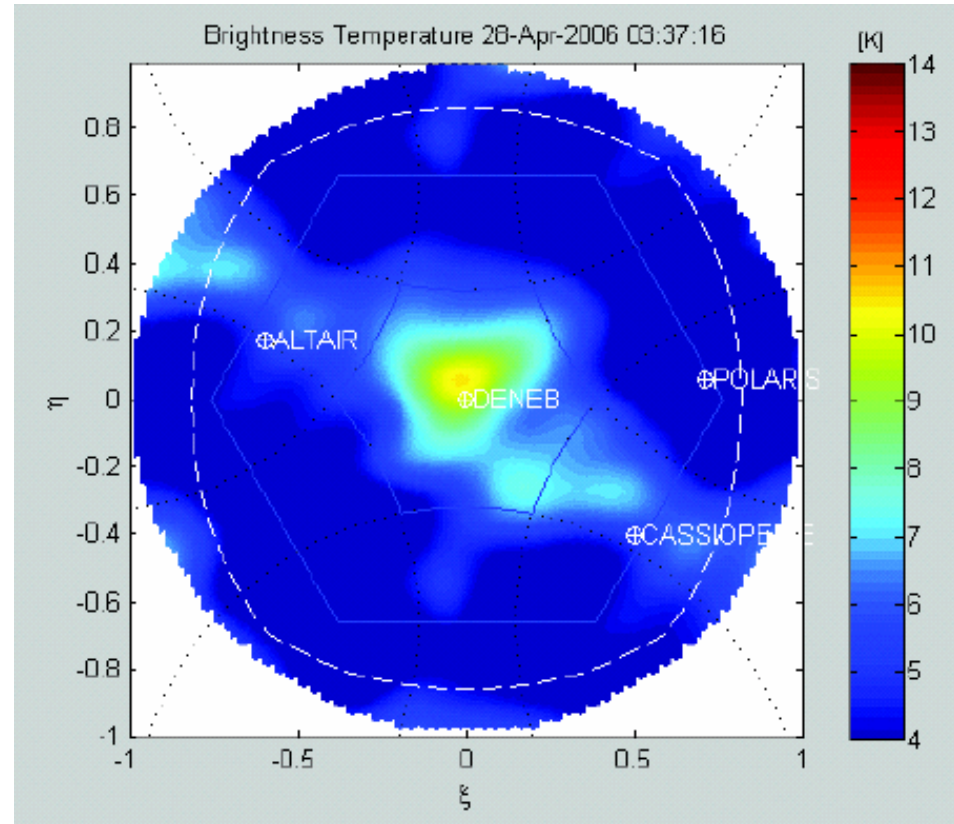
- Desenvolupament d'Algorismes de Reconstrucció d'Imatge i cancel·lació de l'efecte del Sol
- Anàlisi d'interferències (RFI)
- Anàlisi de fallides \Rightarrow Prestacions instrument en cas de fallides i assignació de la taxa de fallida a nivell de subsistemes
- **SMOS End-to-end Performance Simulator (SEPS)**
 - Versió millorada del Simulador de MIRAS desenvolupada per ESA en col·laboració amb EADS-CASA i GMV
 - Anàlisi global de les prestacions del sistema incloent tots els efectes, la calibració i la reconstrucció d'imatge.
 - Test bed d'algorismes de recuperació de paràmetres
- **Demostrador Experimental a banda X:**



Polytechnic University of Catalonia logo and acronym

3. Contribucions de la UPC al disseny de l'instrument (iii)

- **Tractament de les dades de l' *SMOSillo* i obtenció de les primeres imatges**
VALIDACIÓ DE LA TÈCNICA, MODEL D'ERRORS, CALIBRACIÓ I ALGORISMES DE RECONSTRUCCIÓ D'IMATGES!!

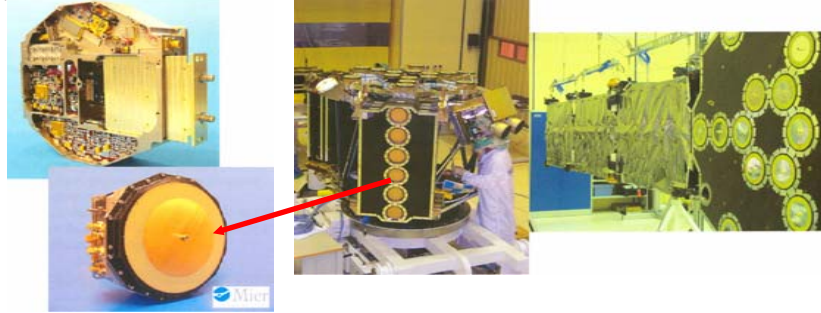


- **En la actualitat: preparació de l'IVT, estudis SMOSops, estudis hibridació amb d'altres tipus de sensors per millorar-ne les prestacions...**

4. Contribucions de la UPC a la missió SMOS



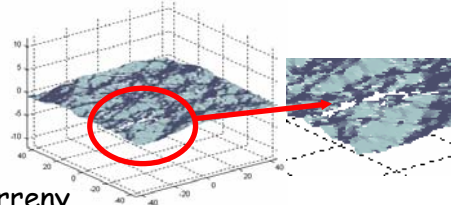
1. Instrument: Anàlisi, prestacions, calibració, imaging...
 → Especificacions Subsistemes (EADS-CASA, MIER, YLINEN...)



SEPS:
 SMOS End-to-end
 Performance Simulator



2. Models numèrics d'emissió del mar i del terreny cobert per vegetació



3. Campanyes de mesura: emissivitat del mar i del terreny



4. Desenvolupament d'algorismes de recuperació de salinitat i d'humitat
 a partir de mesures multiangulars

Per a més informació a: <http://www.tsc.upc.edu/prs>

- **Resultats de la recerca de 14 anys (54 articles + 4 en revisió, 4 capítols llibres, 128 comunicacions en congressos i 4 patents) aplicats a un PROJECTE REAL: el més gran de la història de la indústria aeroespacial espanyola !**
- **Uns 60 PFCs i unes 10 Tesis Doctorals realitzats o en curs: incorporació de molts graduats a les empreses del sector !**
- **Claus de l'èxit:**
 - **Creure-hi quan els demés no hi creuen**
 - **Motivació, il·lusió, capacitat de treball i d'engrescar a la gent, gaudir la feina!**
 - **Aposta per un tema de recerca relativament "verge"**
 - **Estreta col·laboració empreses del sector i la universitat aportant cadascú el seu millor know-how**
 - **Estreta col·laboració entre diferents centres de recerca (UPC, ICM, UV, IEEC...)**
 - **Cal agrair el suport de les institucions:**
 - Plans Nacionals TIC (ara TEC) i de l'Espai i la ESA,**
- i en particular del Dr. Manuel Martín-Neira: sense la seva obstinació i la seva capacitat tècnica avui el radiòmetre MIRAS de la missió SMOS no seria realitat.**

I després de la seva concepció fa 14 anys...



... la criatura s'ha fet gran i marxa de CASA, per anar a ESTEC.