

# Formació en imatges radar satèl·lit

Usos i aplicacions de SENTINEL-1



**ICGC**  
Institut  
Cartogràfic i Geològic  
de Catalunya



**Generalitat  
de Catalunya**

# Índex

## 1. Conceptes radar

- a) Introducció als sensors actius i passius: el radar
- b) El concepte de Radar d'Apertura Sintètica (SAR)
- c) Satèl·lits SAR: antecedents i SENTINEL-1A/B
- d) Geometria d'adquisició SAR
- e) Característiques de les imatges SAR

## 2. La ortoimatge radar

- a) Georeferenciació de les imatges
- b) Mosaicat i reducció de soroll
- c) Processat SENTINEL-1 a l'ICGC
- d) El producte SENTINEL-1 a l'ICGC
- e) Treball pràctic amb imatges SENTINEL-1

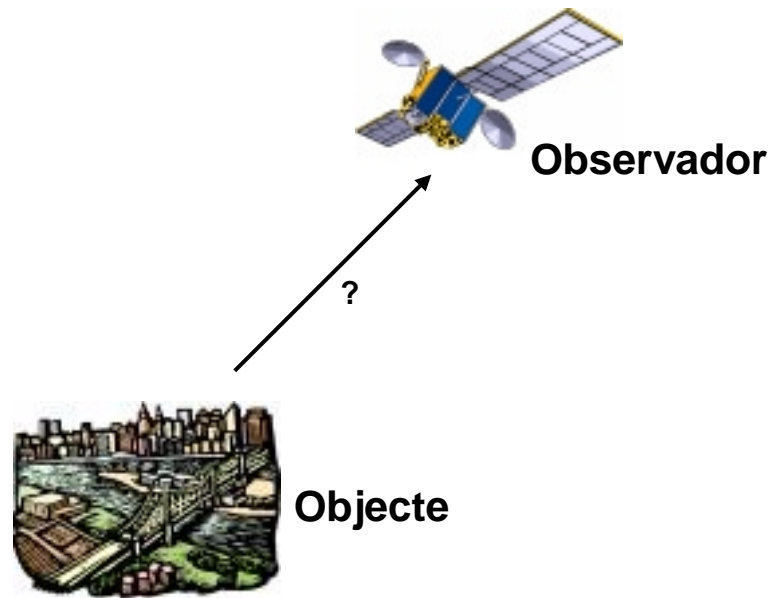
## 3. Mesura del moviment de superfície

- a) Conceptes bàsics d'interferometria
- b) Processat SENTINEL-1 a l'ICGC
- c) Característiques de les mesures de moviment
- d) El producte SENTINEL-1 a l'ICGC
- e) Treball pràctic amb dades SENTINEL-1

# Conceptes radar

## ■ Teledetecció

- Conjunt de tècniques que permeten obtenir informació de les propietats d'un objecte situat a una certa distància de l'observador.



# Conceptes radar

## ■ **Sensors d'Imatge**

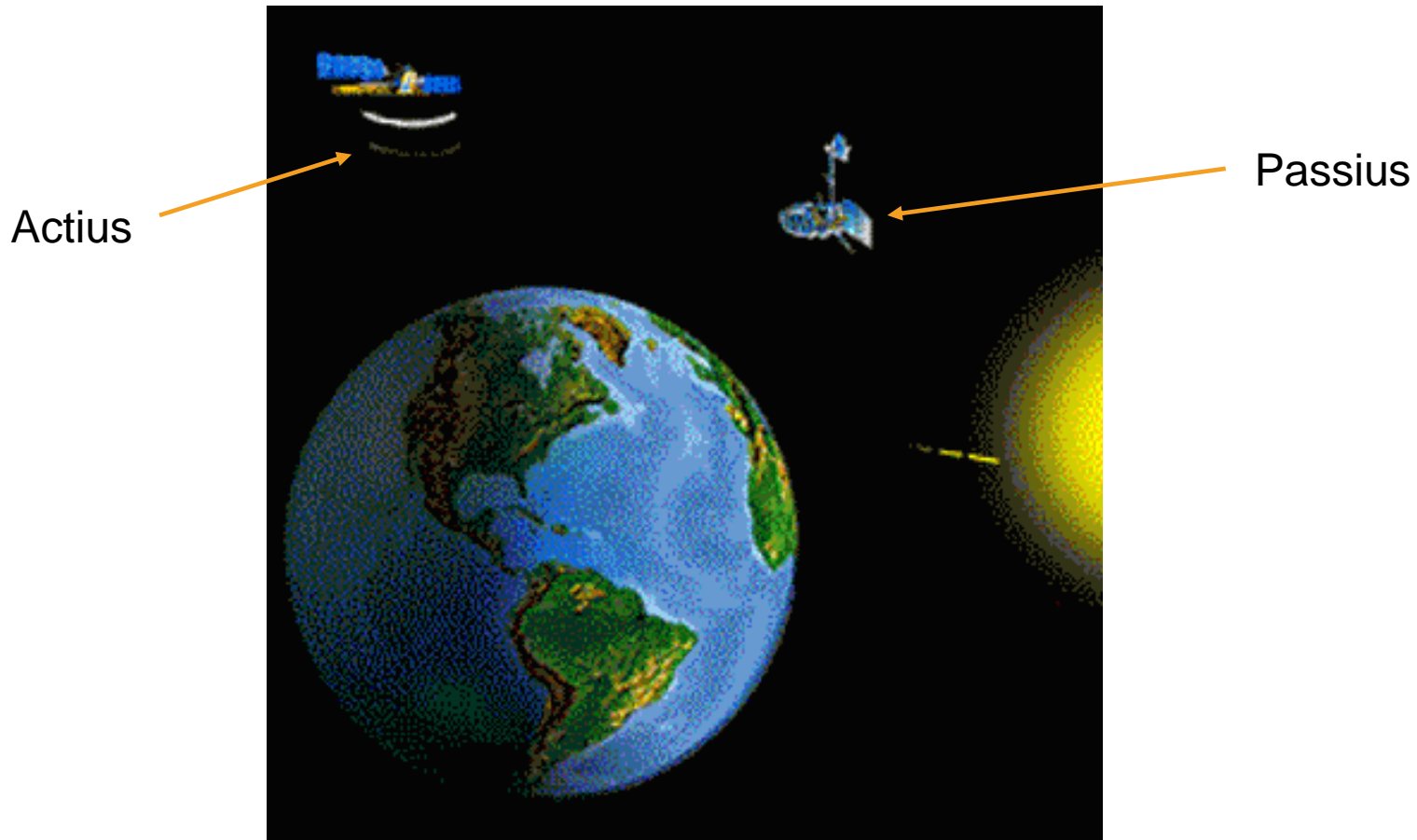
- Instruments de Teledetecció que participen de forma important en aplicacions de l'observació de la terra, així com en missions planetàries.

## ■ **Classificació**

- Il·luminació
- Ubicació
- Tipus de trajectòria
- Formació de la imatge
- Finestra espectral de treball

# Conceptes radar

- Qui proporciona la il·luminació?



# Conceptes radar

## ■ On es poden instal·lar els sensors?

■ Sòl



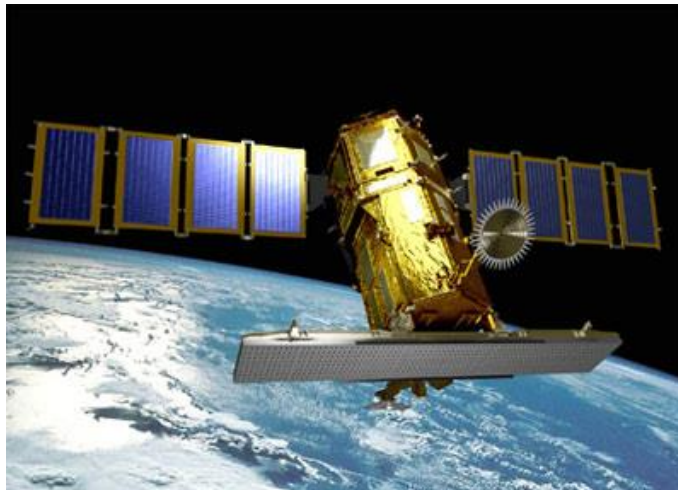
■ UAV



■ Avió

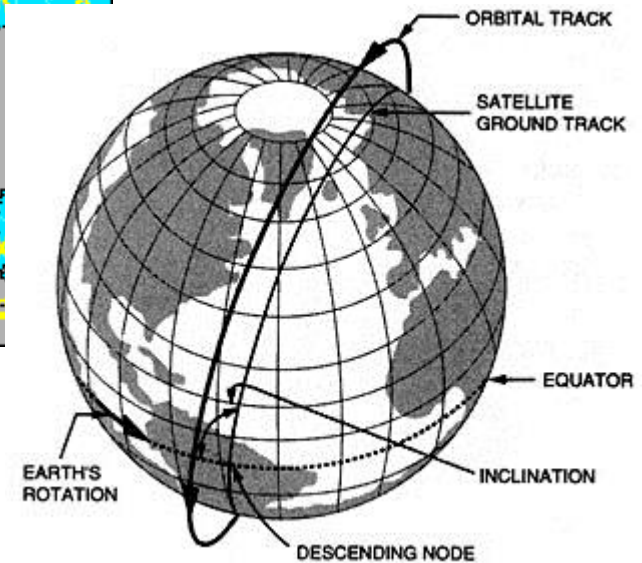
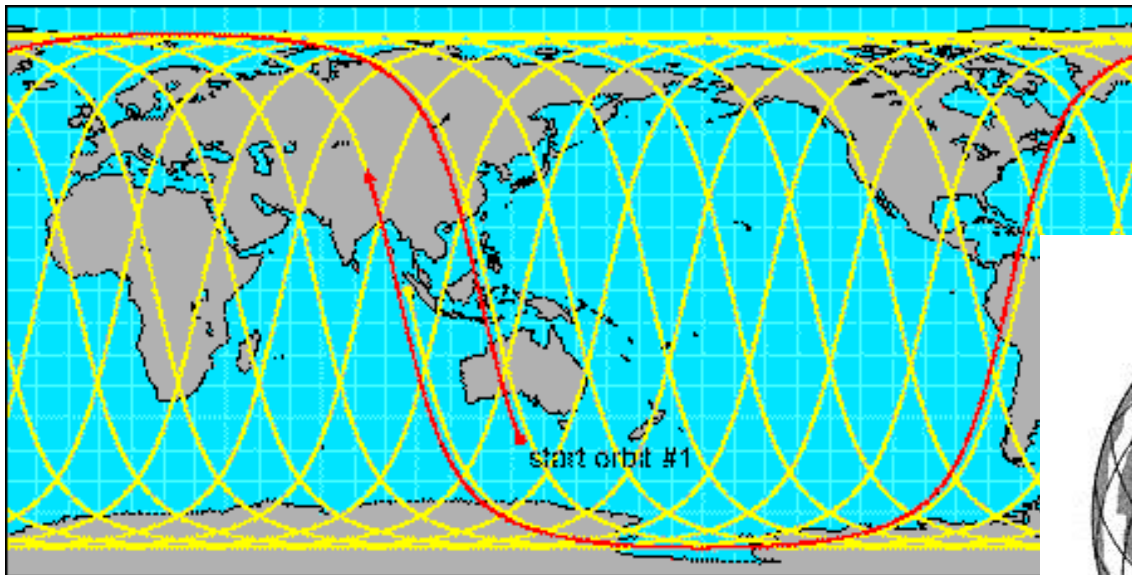


■ Satèl·lit



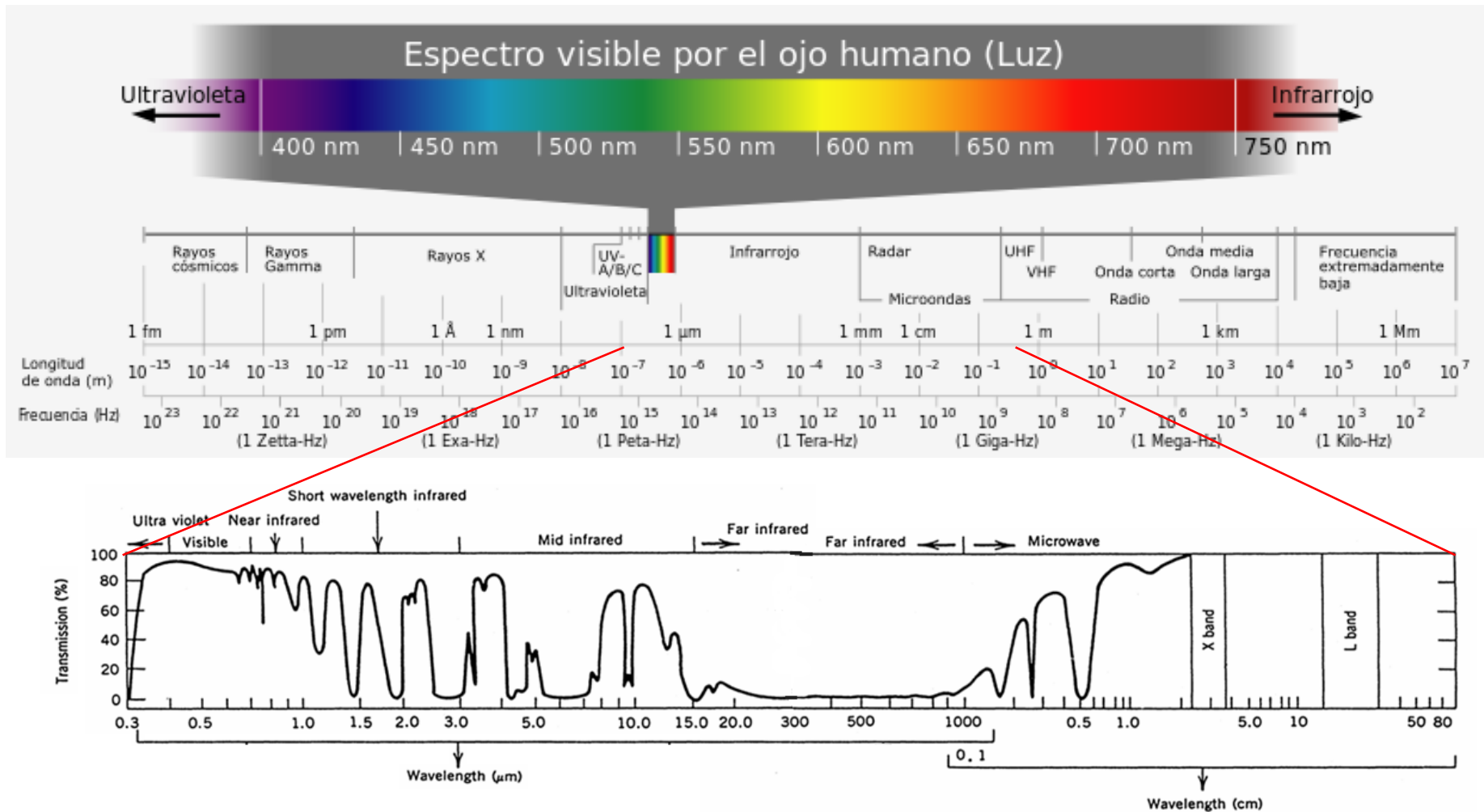
# Conceptes radar

- **Òrbita dels satèl·lits radar**
  - Polar Heliosíncrona



# Conceptes radar

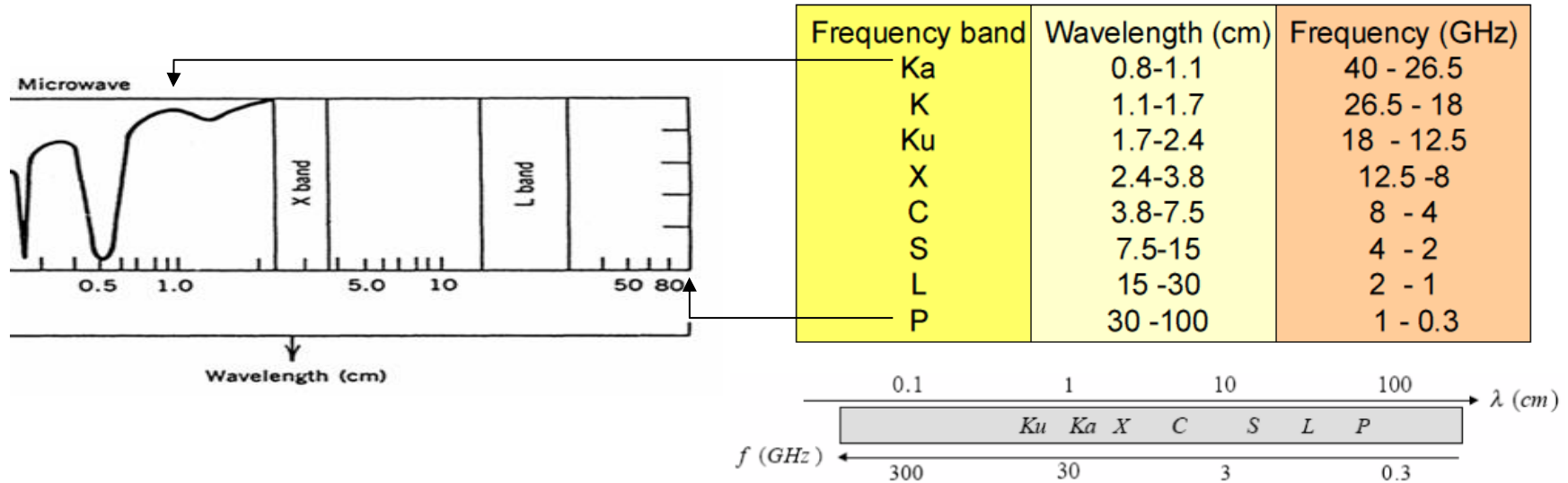
## ■ Finestra espectral





# Conceptes radar

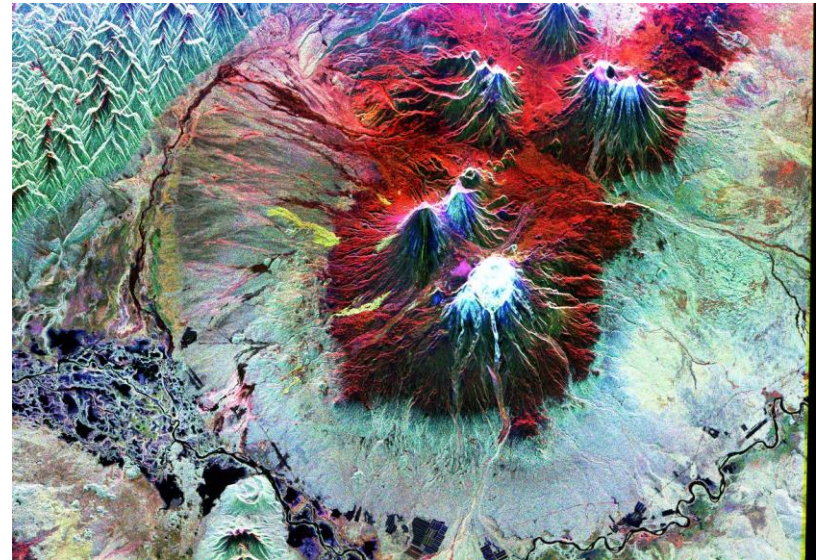
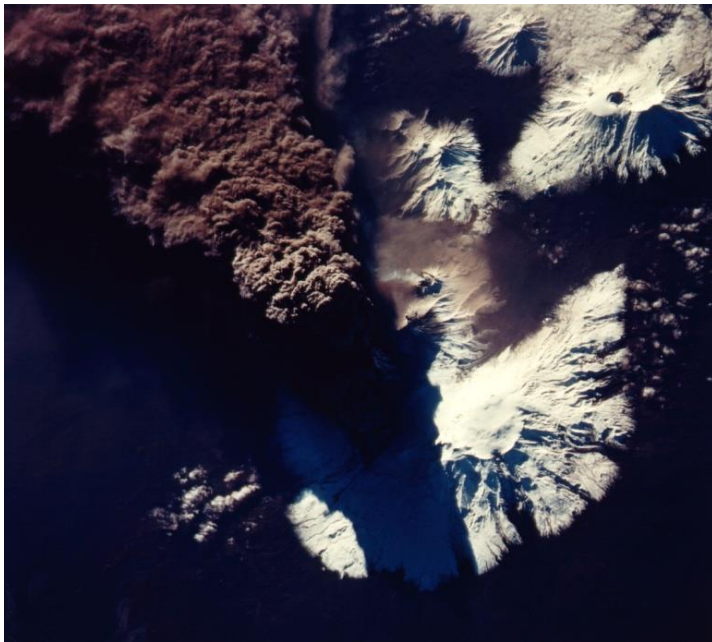
- Els sistemes radar treballen a les microones



Banda P → ~ 65 cm	AIRSAR, RAMSES, BIOMASS
Banda L → ~ 23 cm	JERS-1, ALOS PALSAR, PALSAR-2
Banda S → ~ 10 cm	Almaz-1
Banda C → ~ 5.6 cm	ERS-1/2, ENVISAT, RadarSat-1/2, Sentinel-1ab
Banda X → ~ 3 cm	TerraSARX/TanDEM/PAZ, Cosmo-SkyMed (x4)
Banda K → ~ 1.2 cm	Radars militars

# Conceptes radar

- Vapor d'aigua i gasos atmosfèrics transparents a la senyal radar



Volcà Kliuchevshoi a Kamchatka, Rússia. Imatge òptica a l'esquerra i radar composada a la dreta.

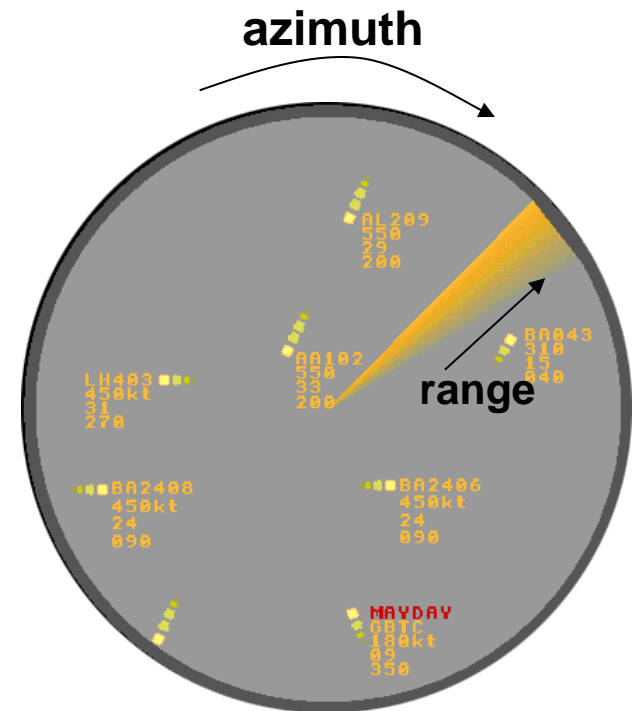
# Conceptes radar

- **Avantatges dels sistemes radar**
  - Núvols i gasos resulten “transparents”
  - No depenen de la il·luminació solar
  - Penetració de la vegetació, neu i alguns tipus de terreny
  - Sensibles a diferents paràmetres, de manera directa o indirecta:
    - Distància
    - Rugositat superficial
    - Humitat
    - Camps de vent
  - Il·luminació coherent. Permet treballar amb amplitud, fase i polarització

# Conceptes radar

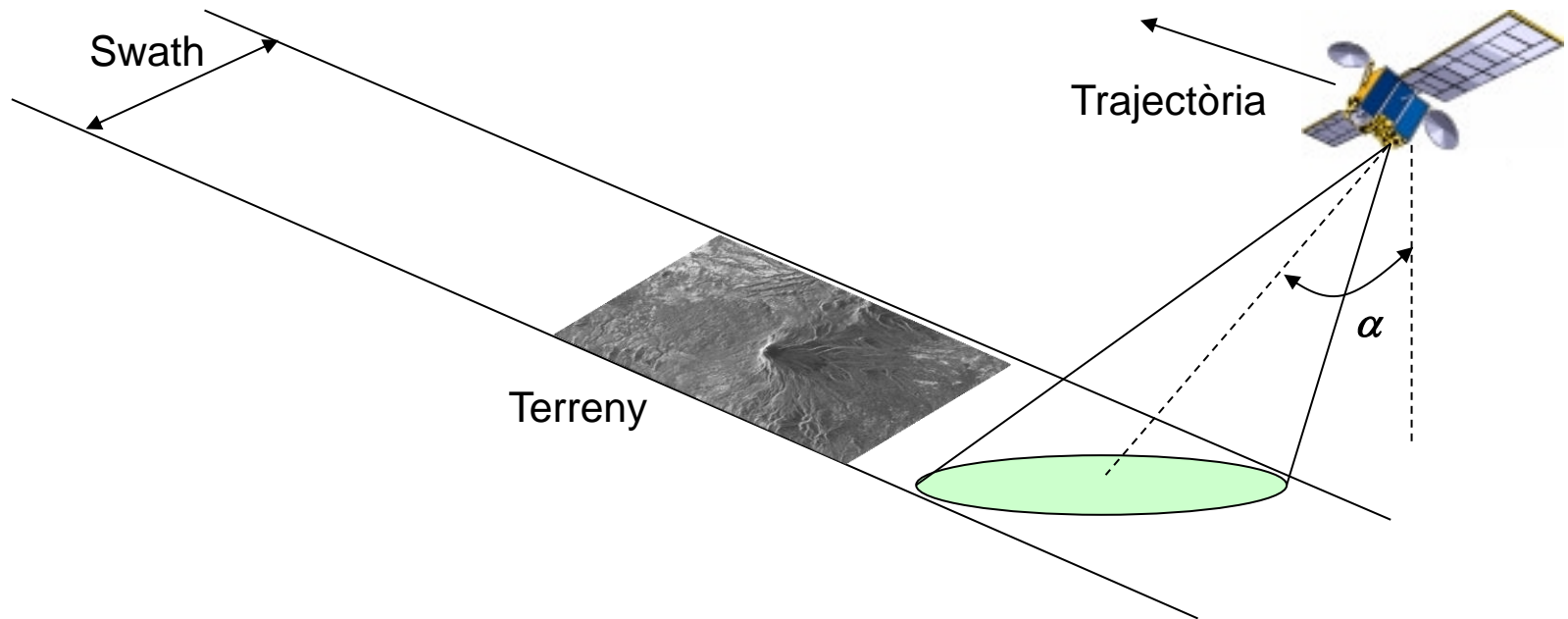
## ■ El Radar clàssic

- Sistema actiu
- El radar clàssic té dues dimensions:
  - *Azimuth* : direcció del moviment de l'antena (circular)
  - *Range* : Distància des de la zona il·luminada fins al radar
- És un sistema localitzador de blancs:
  - La distància al blanc ve donada pel temps entre l'emissió i recepció del pols reflectit



# Conceptes radar

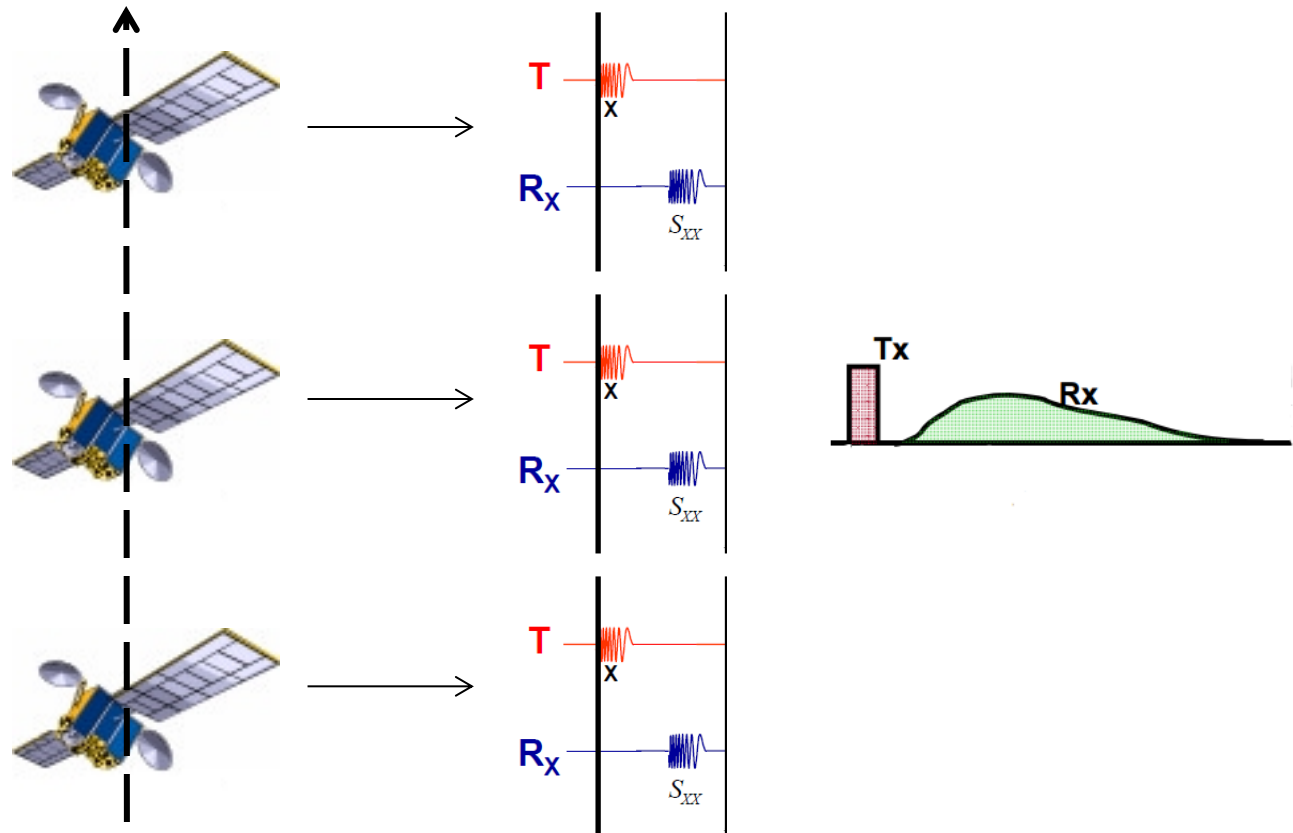
- **El Radar d'Apertura Sintètica (SAR)**



- Angle de vista lateral
- Emissió i recepció de polsos electromagnètics

# Conceptes radar

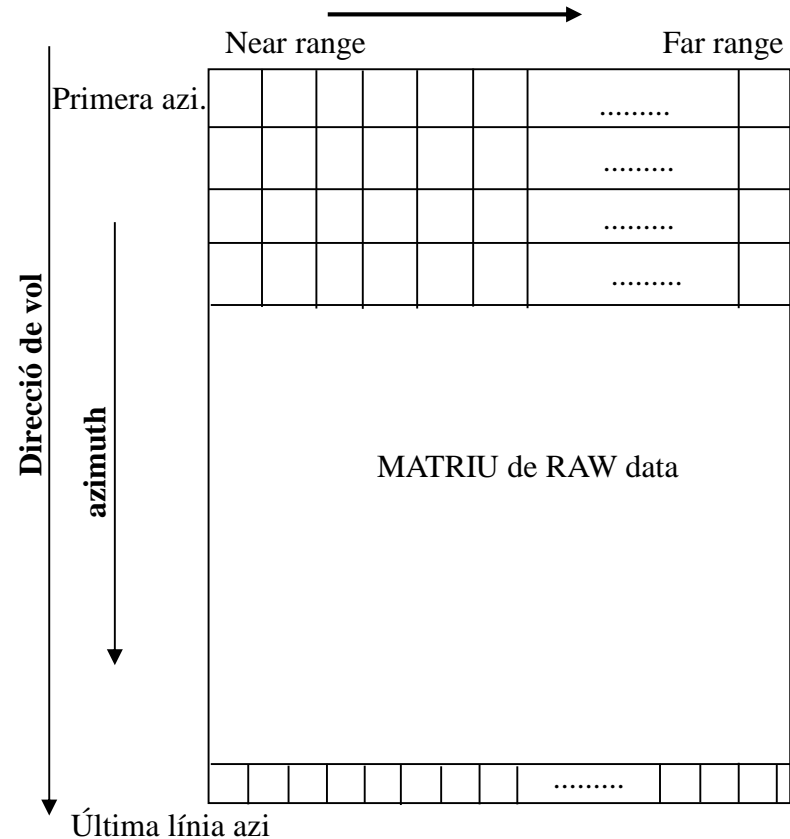
## ■ El Radar d'Apertura Sintètica (SAR)



- Angle de vista lateral
- Emissió i recepció de polsos electromagnètics

# Conceptes radar

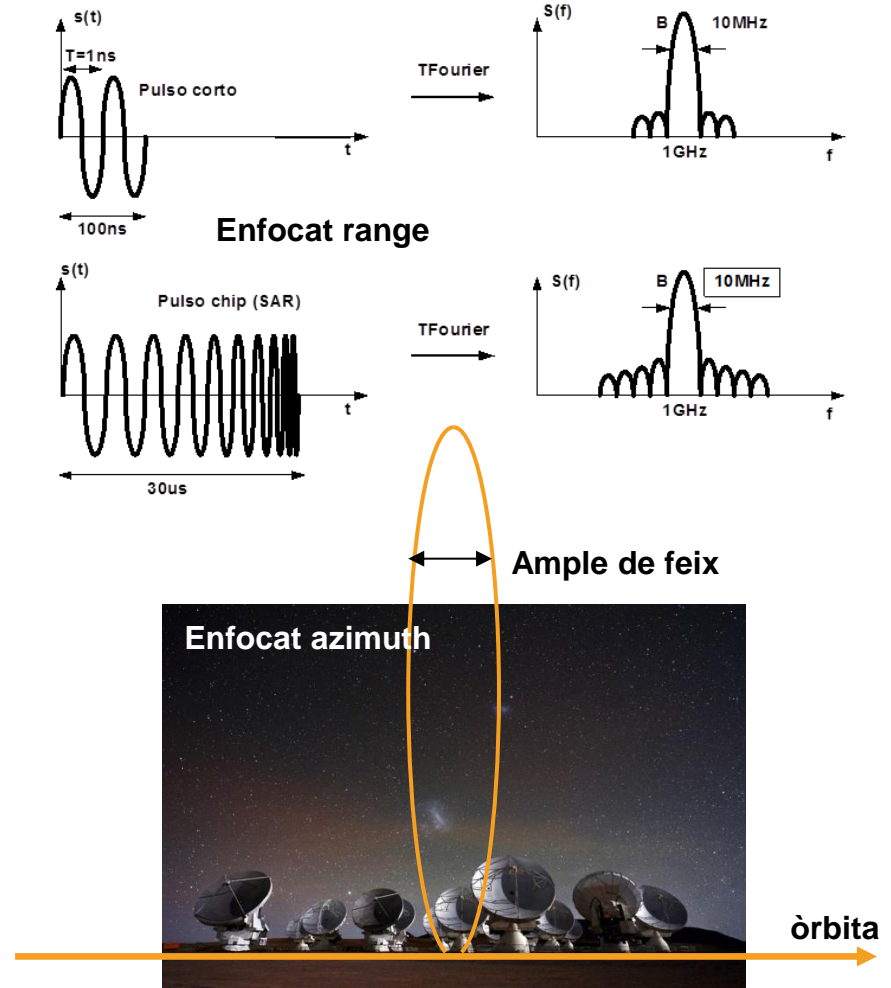
- **Format de les dades**
  - RAW data : col·lecció d'ecos (range) ordenats en temps (azimuth)
  - Línies: moviment del satèl·lit en along-track (azimuth)
  - Columnes: distància sensor/blanc (range)
  - El RAW data té una resolució molt pobre i s'ha de realitzar un processat d'enfocat



# Conceptes radar

## ■ Enfocat de les imatges SAR

- La resolució espacial (petjada de l'antena sobre el terreny) és molt baixa ( $\sim$ km)
- S'ha de fer un enfocament en range i azimuth
- Range: Compressió de polsos fent servir una senyal chirp
- Azimuth: Simular una agrupació d'antenes amb la òrbita del satèl·lit

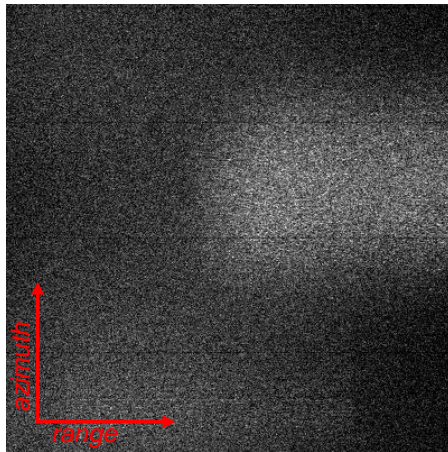




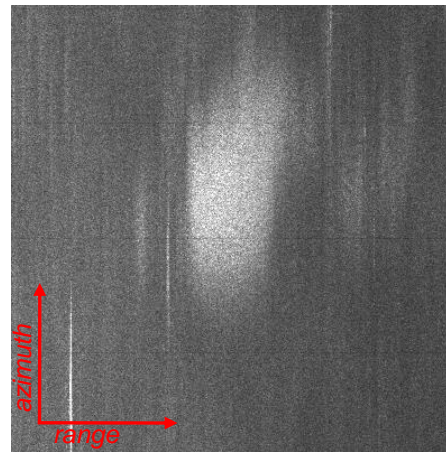
# Conceptes radar

- **Enfocat de les imatges SAR**
  - Resolució espacial abans i després de l'enfocat amb SENTINEL-1

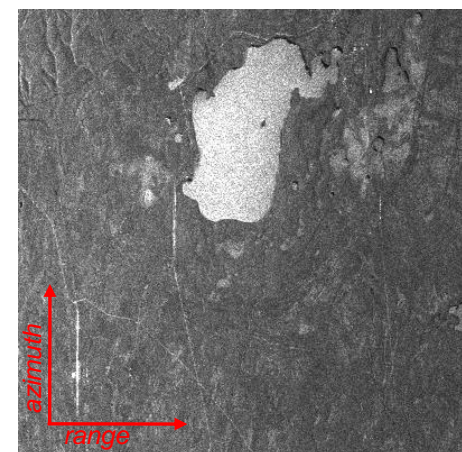
	Abans	Després
Range	5.5 km	5 m
Azimuth	4.7 km	20 m



*RAW data*



*RAW data enfocat en range*



*RAW data enfocat en range i azimuth*

# Conceptes radar

## ■ Matriu final de les imatges SAR

$(\Re, \Im)_{1,1}$	$(\Re, \Im)_{2,1}$	$(\Re, \Im)_{3,1}$	$(\Re, \Im)_{4,1}$
$(\Re, \Im)_{1,2}$	$(\Re, \Im)_{2,2}$	$(\Re, \Im)_{3,2}$	$(\Re, \Im)_{4,2}$
$(\Re, \Im)_{1,3}$	$(\Re, \Im)_{2,3}$	$(\Re, \Im)_{3,3}$	$(\Re, \Im)_{4,3}$
$(\Re, \Im)_{1,4}$	$(\Re, \Im)_{2,4}$	$(\Re, \Im)_{3,4}$	$(\Re, \Im)_{4,4}$
$(\Re, \Im)_{1,5}$	$(\Re, \Im)_{2,5}$	$(\Re, \Im)_{3,5}$	$(\Re, \Im)_{4,5}$
$(\Re, \Im)_{1,6}$	$(\Re, \Im)_{2,6}$	$(\Re, \Im)_{3,6}$	$(\Re, \Im)_{4,6}$
$(\Re, \Im)_{1,7}$	$(\Re, \Im)_{2,7}$	$(\Re, \Im)_{3,7}$	$(\Re, \Im)_{4,7}$

La imatge SAR és una matriu de nombres complexos (part real  $\Re$  y part imaginària  $\Im$ ).

SLC: Single Look Complex.

Amplitud

$$A = \sqrt{\Re^2 + \Im^2}$$

Intensitat

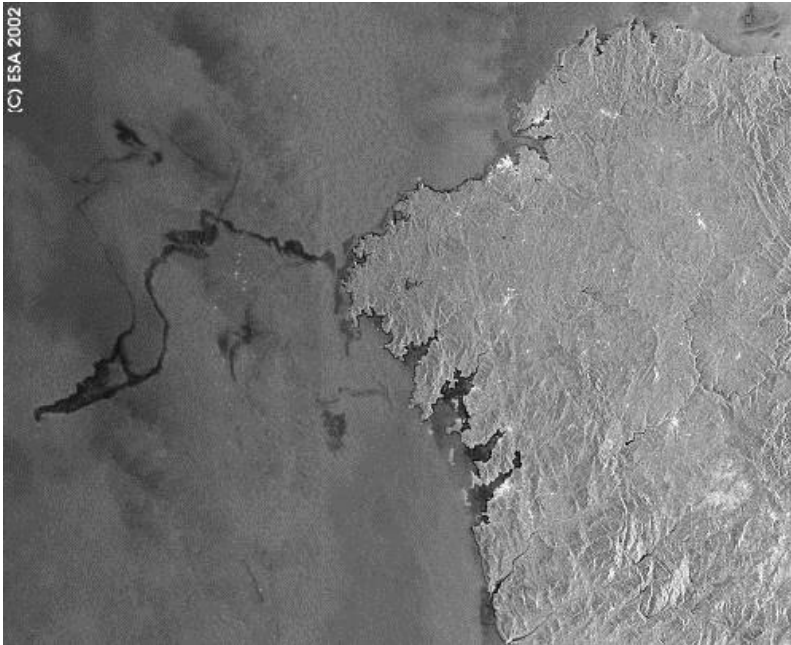
$$I = A^2 = \Re^2 + \Im^2$$

Fase

$$\phi = \text{atan}\left(\frac{\Im}{\Re}\right), \quad \phi \in ]-\pi, \pi]$$

# Conceptes radar

- Exemples d'amplitud imatges SAR



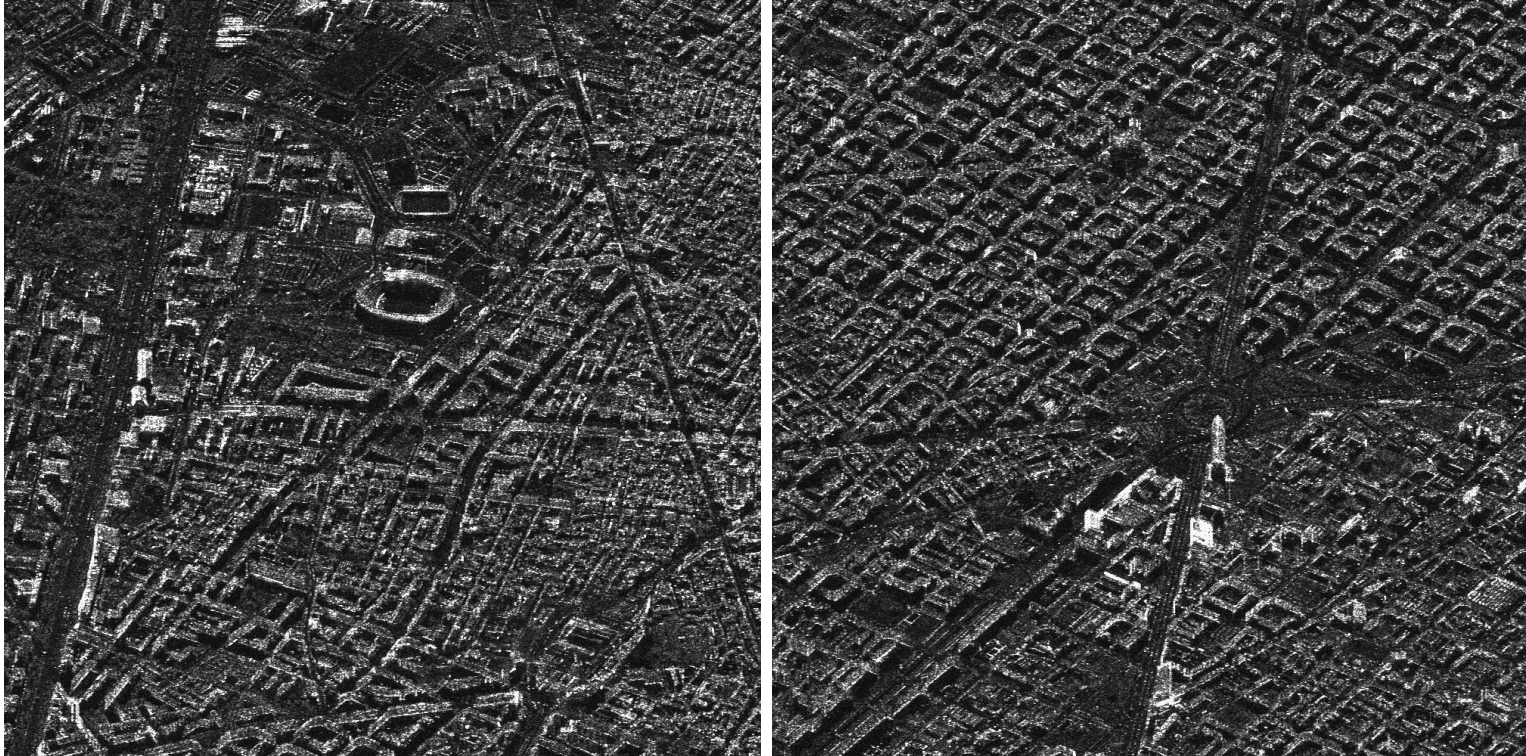
ENVISAT. Galícia després del desastre del Prestige.  
Resolució ~ 30 metres.



ERS-ENVISAT. Ciutat de Barcelona.  
Resolució ~ 30 metres.

# Conceptes radar

- Exemples d'amplitud imatges SAR

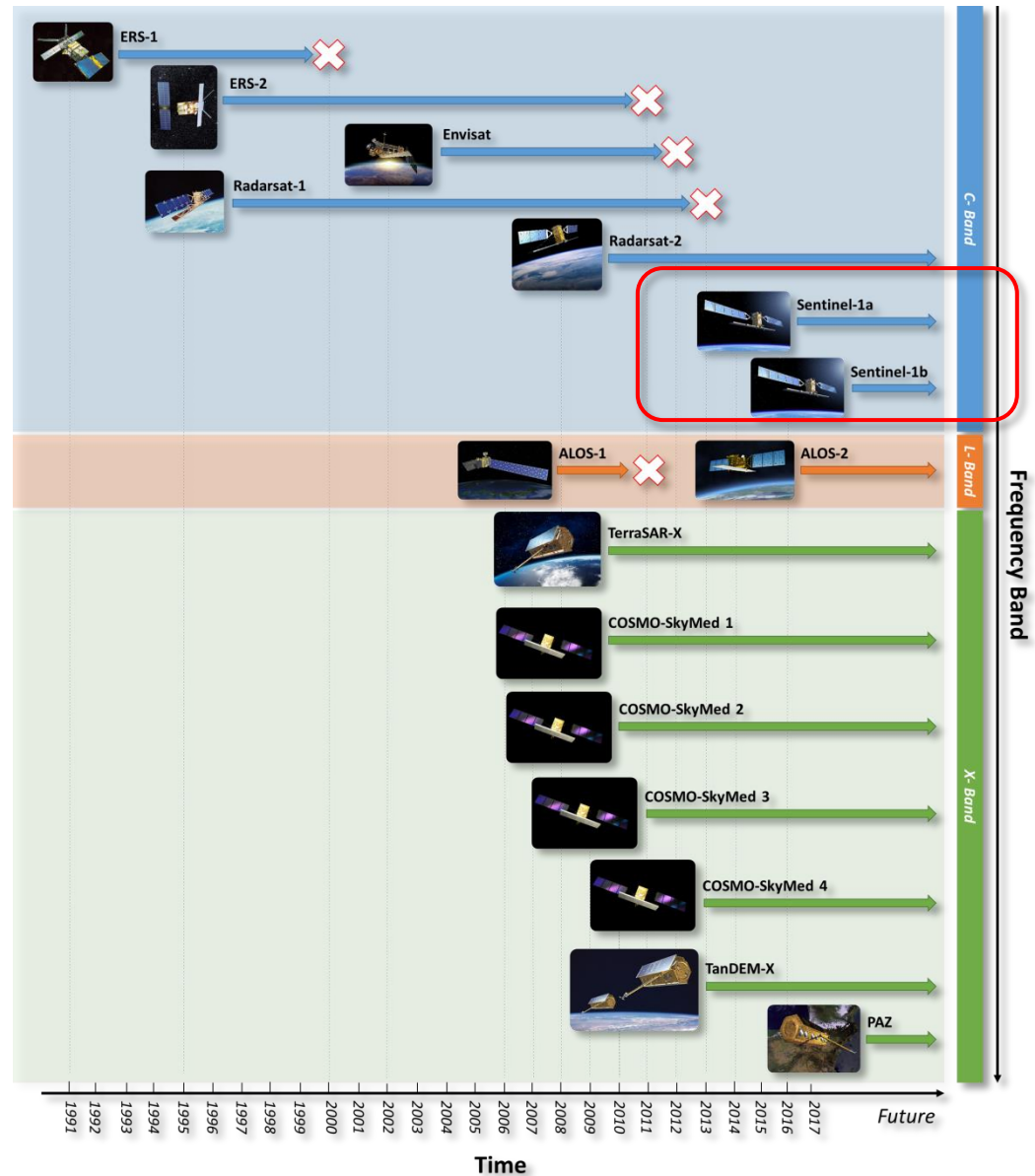


TerraSAR-X. Barcelona. Resolució ~ 3 metres.

# Conceptes radar

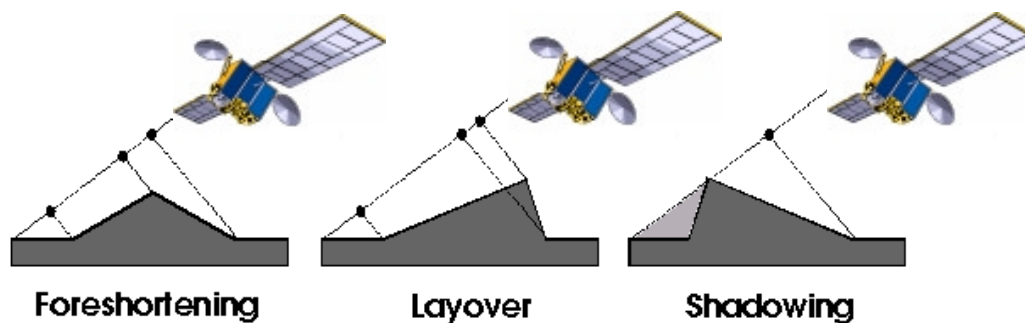
## ■ Satèl·lits SAR

### Satèl·lits SAR (Radar d'Apertura Sintètica)



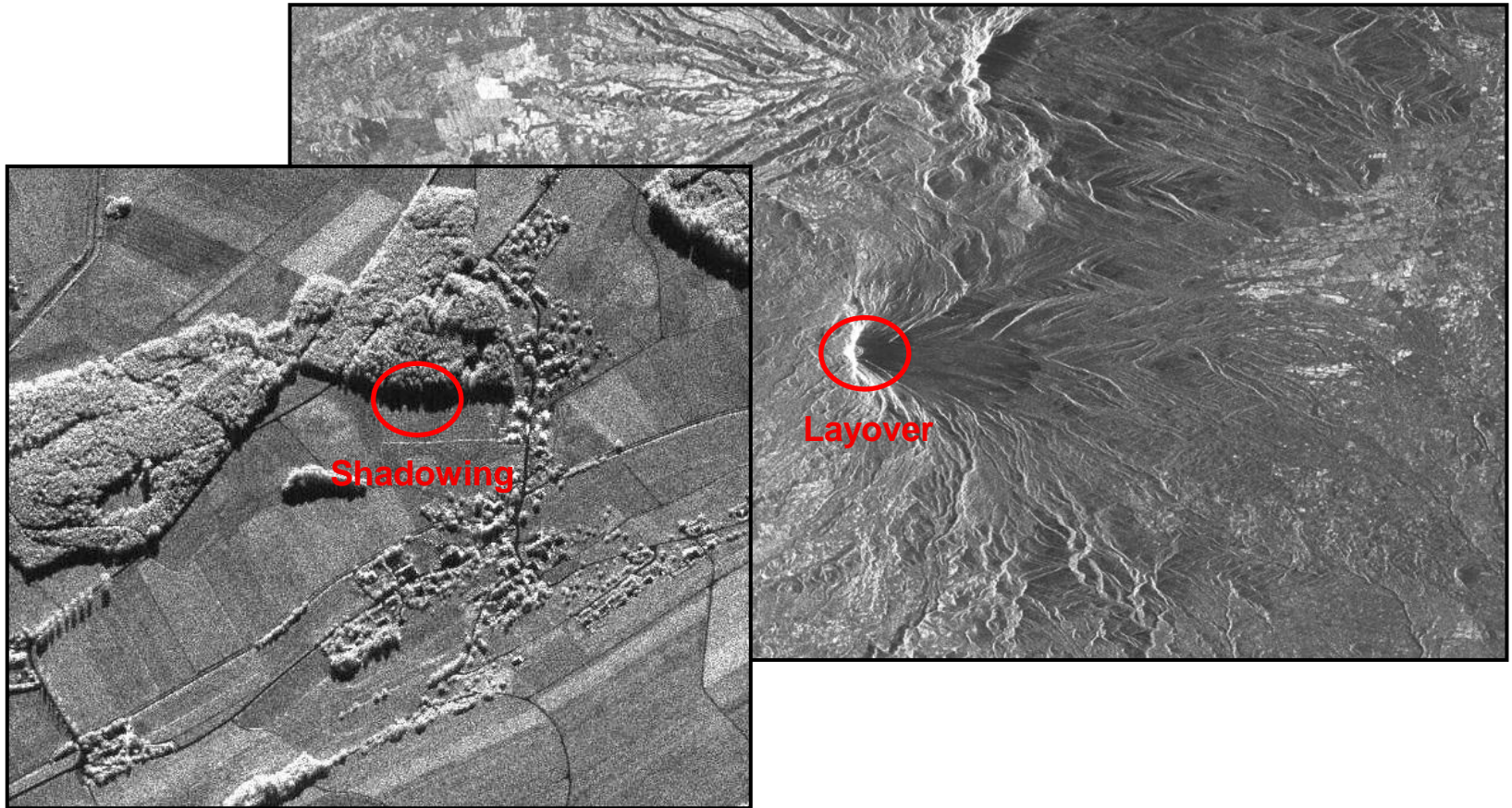
# Conceptes radar

- **Distorsions geomètriques**
  - **Foreshortening:** Compressió de les pendents que miren cap al sensor.
  - **Layover:** Si l'angle de la pendent s'incrementa per sobre de l'angle d'incidència, tindrem una inversió en l'ordre d'arribada, i el cim de la muntanya apareixerà més a prop que la vall.
  - **Shadowing:** No tindrem senyal quan les pendents oposades tinguin una inclinació major que l'angle d'incidència.



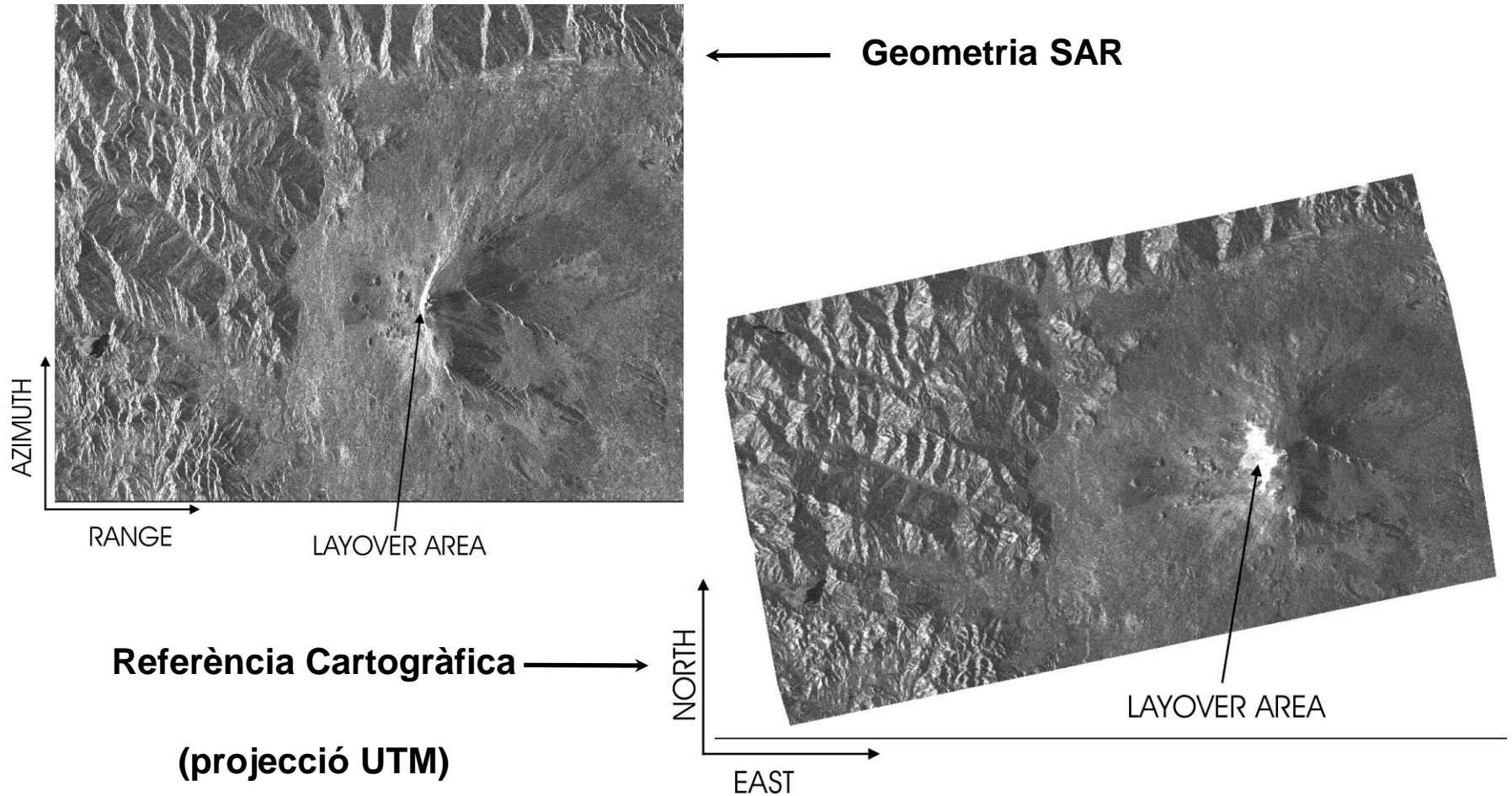
# Conceptes radar

- **Distorsions geomètriques**



# Conceptes radar

## ■ Georeferenciació

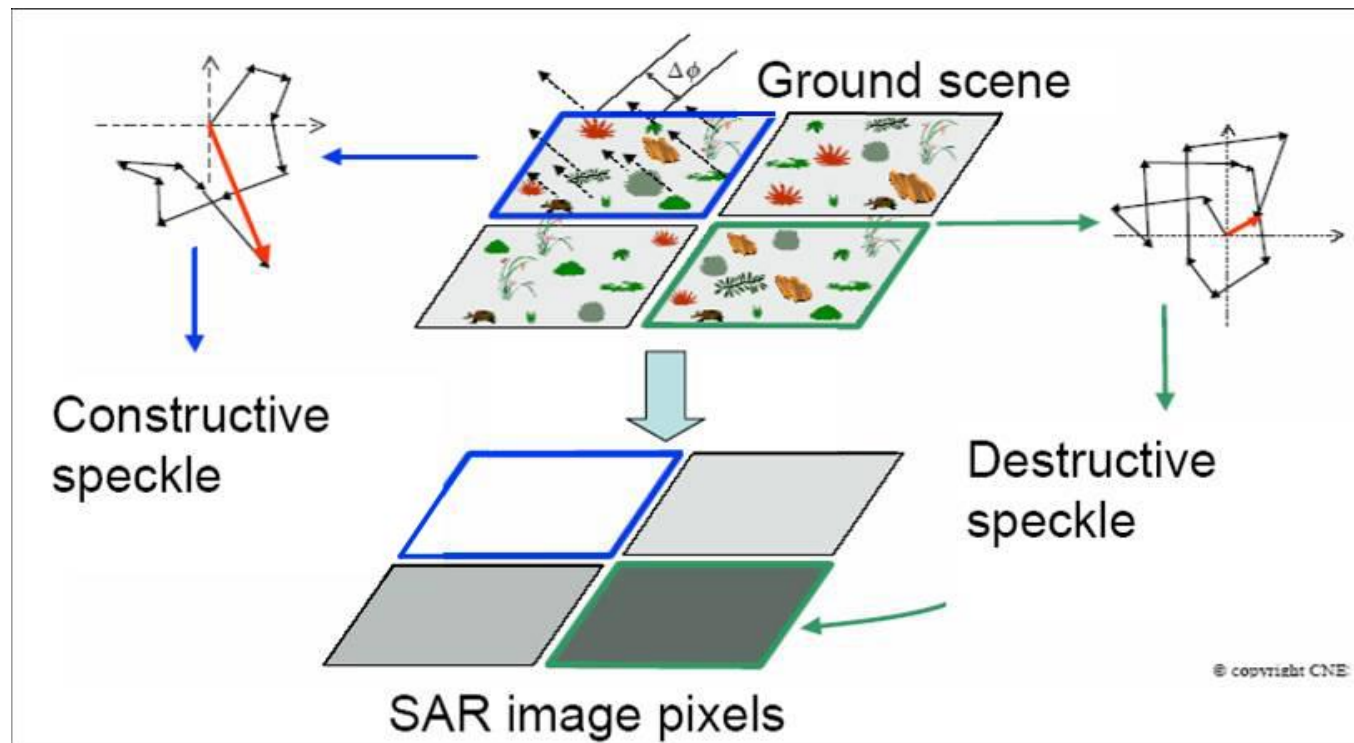




# Conceptes radar

## ■ El píxel radar

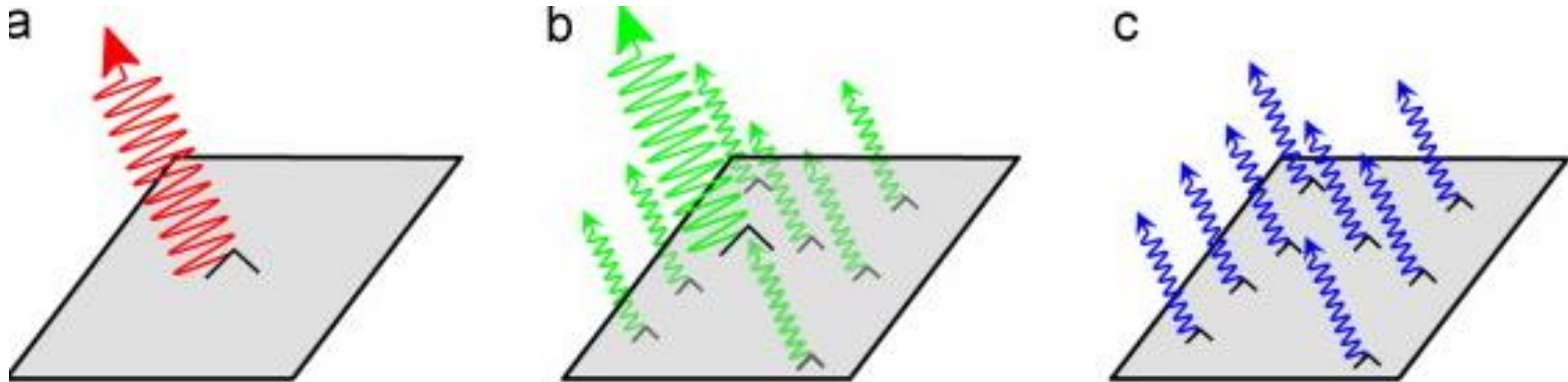
La longitud d'ona és més petita que la cel·la de resolució. El senyal d'un píxel és la suma coherent dels dispersors elementals presents



# Conceptes radar

## ■ Blancs puntuals i distribuïts

- A la cel·la de resolució hi ha un blanc amb reflectivitat molt superior a la resta. Blanc puntual.
- Els diferents blancs presents a la cel·la tenen propietats geomètriques molt similars. Blanc distribuït.



# Conceptes radar

- **Dependència amb la freqüència**

Els dispersors principals a cada freqüència són els elements de mida similar a la longitud d'ona o més grans. La resta d'elements poden generar atenuació.



**Austrian pine**



**X band**  
 $\lambda = 3 \text{ cm}$



**L band**  
 $\lambda = 27 \text{ cm}$



**P band**  
 $\lambda = 70 \text{ cm}$

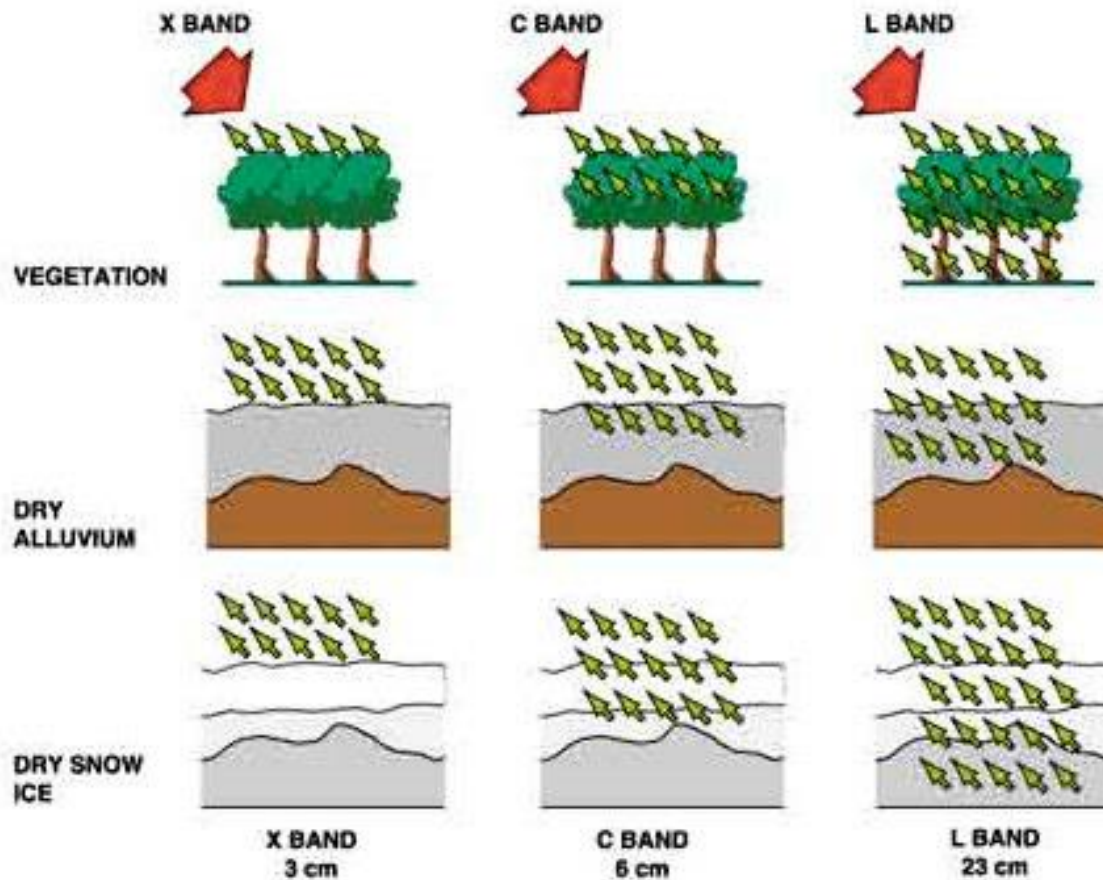


**VHF**  
 $\lambda > 3 \text{ m}$

# Conceptes radar

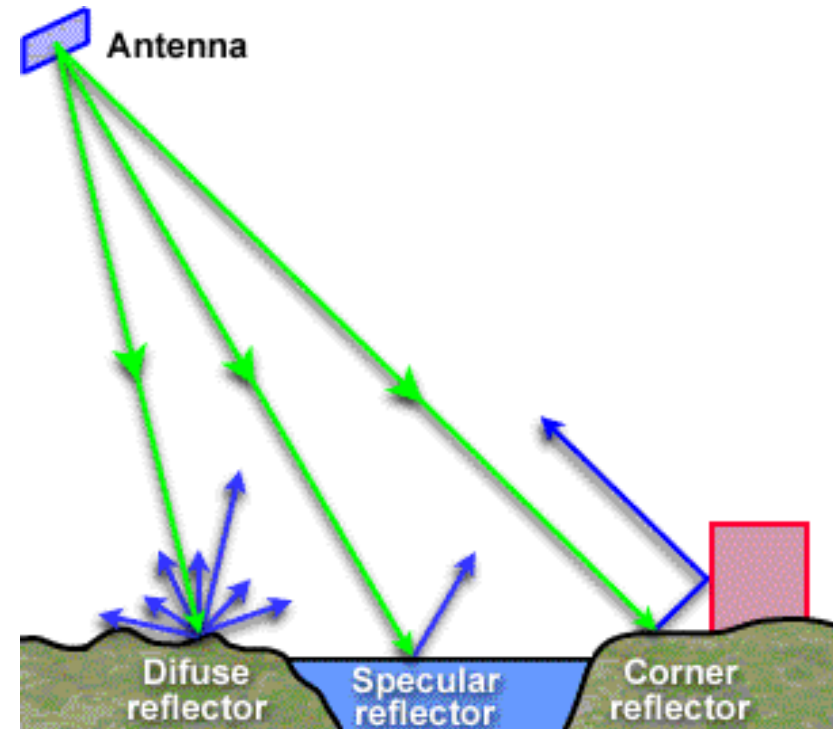
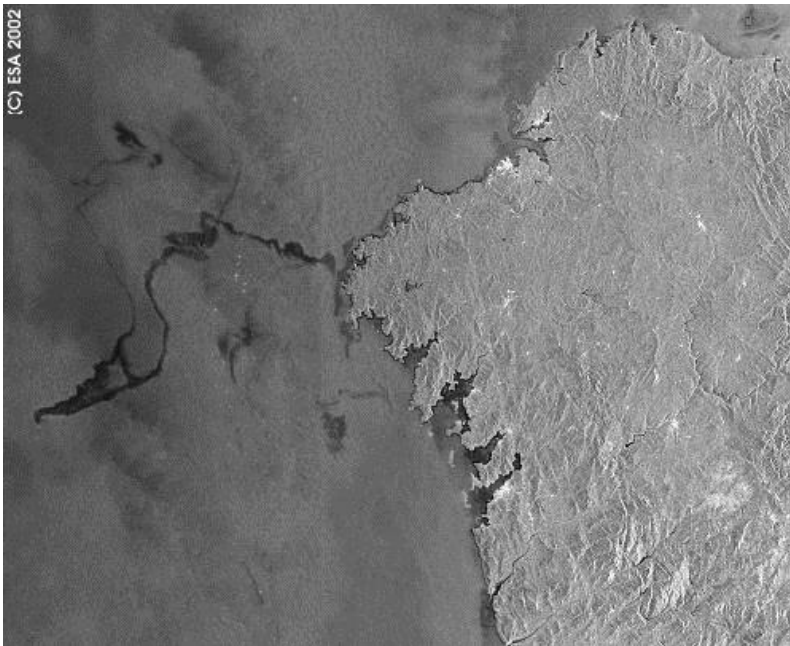
- **Dependència amb la freqüència**

Penetració segons el tipus de coberta:



# Conceptes radar

- **Diagrama de reflexió de la senyal radar**
  - Superfícies planes ( $\lambda$ ): reflexió especular
  - Superfícies rugoses: reflexió difusa
  - Díedres i tríedres: doble reflexió



# Índex

## 1. Conceptes radar

- a) Introducció als sensors actius i passius: el radar
- b) El concepte de Radar d'Apertura Sintètica (SAR)
- c) Satèl·lits SAR: antecedents i SENTINEL-1A/B
- d) Geometria d'adquisició SAR
- e) Característiques de les imatges SAR

## 2. La ortoimatge radar

- a) Georeferenciació de les imatges
- b) Mosaicat i reducció de soroll
- c) Processat SENTINEL-1 a l'ICGC
- d) El producte SENTINEL-1 a l'ICGC
- e) Treball pràctic amb imatges SENTINEL-1

## 3. Mesura del moviment de superfície

- a) Conceptes bàsics d'interferometria
- b) Processat SENTINEL-1 a l'ICGC
- c) Característiques de les mesures de moviment
- d) El producte SENTINEL-1 a l'ICGC
- e) Treball pràctic amb dades SENTINEL-1

# La ortoimatge radar

# Índex

## 1. Conceptes radar

- a) Introducció als sensors actius i passius: el radar
- b) El concepte de Radar d'Apertura Sintètica (SAR)
- c) Satèl·lits SAR: antecedents i SENTINEL-1A/B
- d) Geometria d'adquisició SAR
- e) Característiques de les imatges SAR

## 2. La ortoimatge radar

- a) Georeferenciació de les imatges
- b) Mosaicat i reducció de soroll
- c) Processat SENTINEL-1 a l'ICGC
- d) El producte SENTINEL-1 a l'ICGC
- e) Treball pràctic amb imatges SENTINEL-1

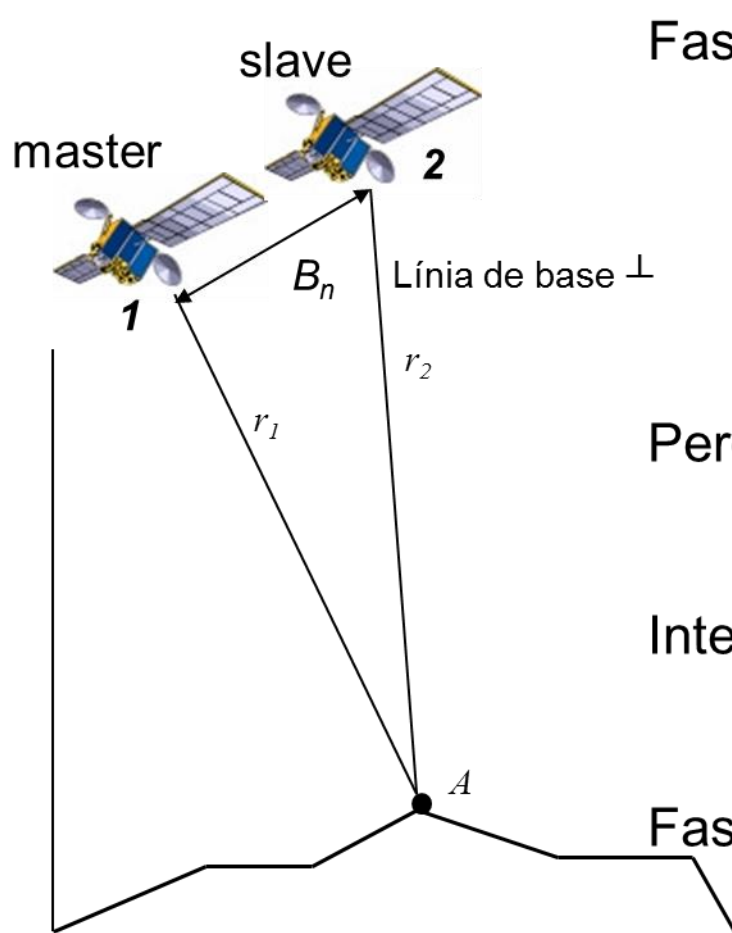
## 3. Mesura del moviment de superfície

- a) Conceptes bàsics d'interferometria
- b) Processat SENTINEL-1 a l'ICGC
- c) Característiques de les mesures de moviment
- d) El producte SENTINEL-1 a l'ICGC
- e) Treball pràctic amb dades SENTINEL-1



# Mesura del moviment de superfície

## ■ El principi d'interferometria



Fases de les imatges:

$$\phi_1 = -\frac{4\pi}{\lambda} \cdot r_1 + \phi_{scattering_1}$$

$$\phi_2 = -\frac{4\pi}{\lambda} \cdot r_2 + \phi_{scattering_2}$$

component aleatòria  
(speckle)

Però, si les propietats del terreny no canvien...

$$\phi_{scattering_1} \approx \phi_{scattering_2}$$

Interferograma:

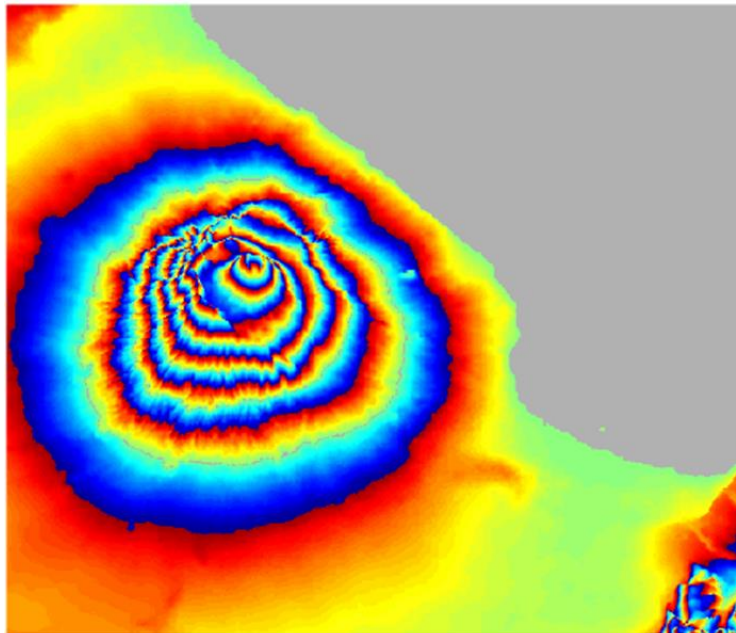
$$I = S_1 \cdot S_2^*$$

Fase de l'interferograma:

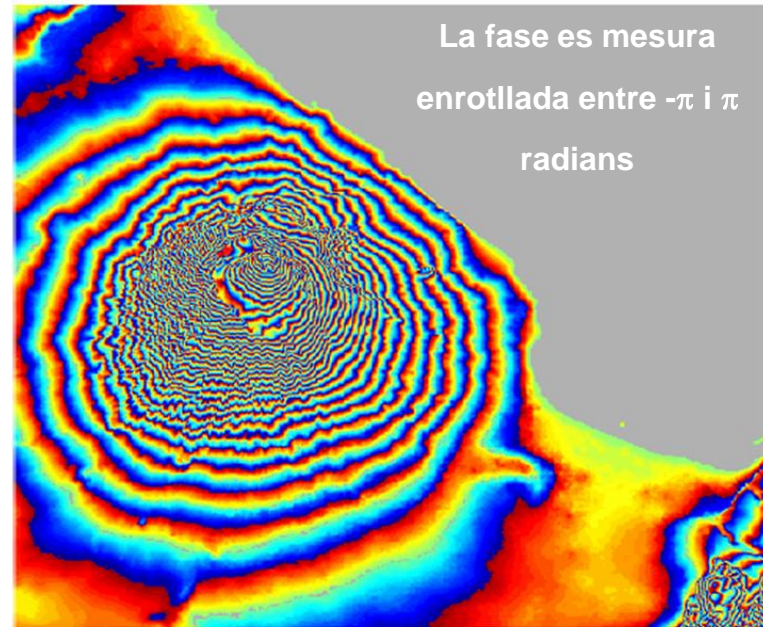
$$\Psi = \phi_1 - \phi_2 = \frac{4\pi}{\lambda} (r_2 - r_1) = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta r$$

# Mesura del moviment de superfície

- **Mesura de topografia – InSAR (Interferometria SAR)**
  - Si no hi ha moviment del terreny la fase del interferograma té una dependència directa amb la topografia
  - Depèn de la freqüència (longitud d'ona) i separació d'òrbites (línia de base perpendicular)



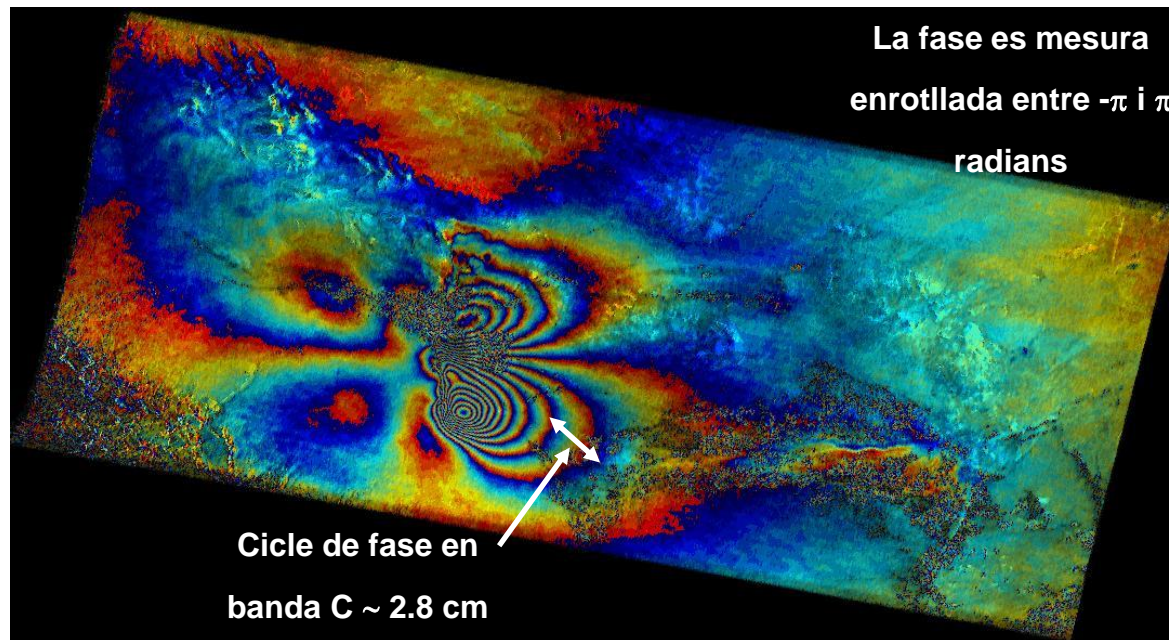
$B_n = 50$



$B_n = 250$

# Mesura del moviment de superfície

- **Mesura de moviment – DInSAR (Interferometria Diferencial SAR)**
  - Si el terreny es mou entre les dues adquisicions, la fase del interferograma té una dependència directa amb la topografia i el moviment
  - La component de topografia s'elimina amb un MET extern



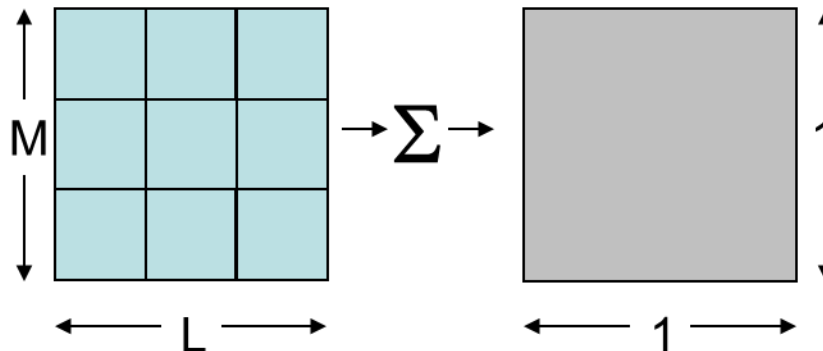
# Mesura del moviment de superfície

- **Mesura de qualitat - Coherència**

$$\gamma \equiv \frac{E[P_1 \cdot P_2^*]}{\sqrt{E[|P_1|^2] \cdot E[|P_2|^2]}} \quad \gamma = [0,1]$$

En la pràctica, substituïm el Operador Esperança Matemàtica  $E[.]$  per un promig normalitzat de  $N=M \cdot L$  mostres veïnes (**multilook**):

$$\gamma = \frac{\sum_N P_1 P_2^*}{\sqrt{\sum_N |P_1|^2 \cdot \sum_N |P_2|^2}}$$



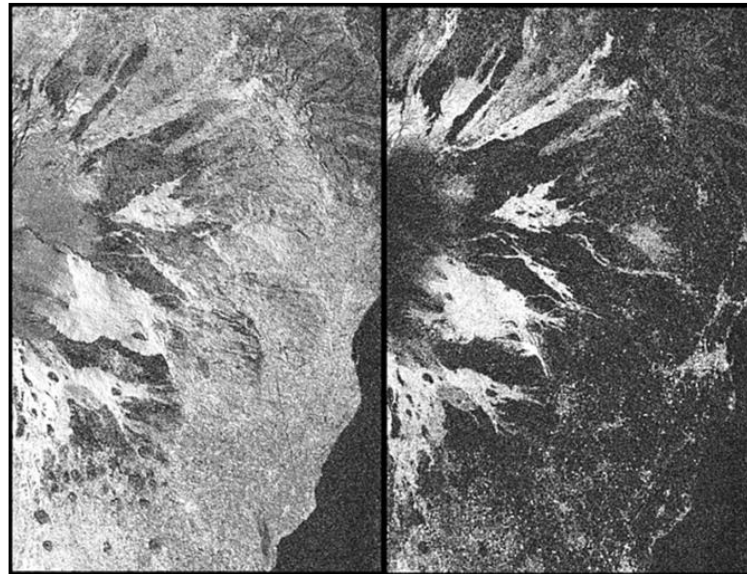
Pèrdua de resolució espacial

# Mesura del moviment de superfície

- **Fonts d'error en les mesures InSAR i DInSAR**
  - Decorrelació temporal
    - Es produeix pel canvi de les propietats “electromagnètiques” del terreny entre la primera y segona adquisició SAR. Es més acusada sobre zones vegetades que sobre àrees urbanes.

$$\phi_{scattering_1} \neq \phi_{scattering_2}$$

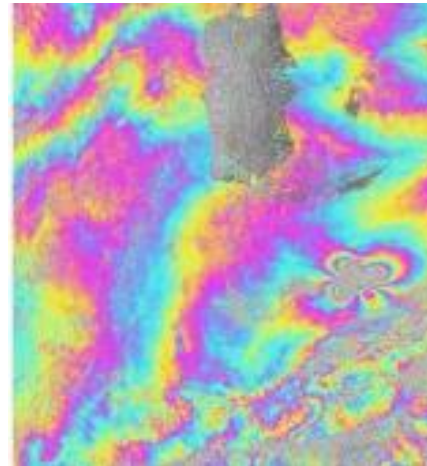
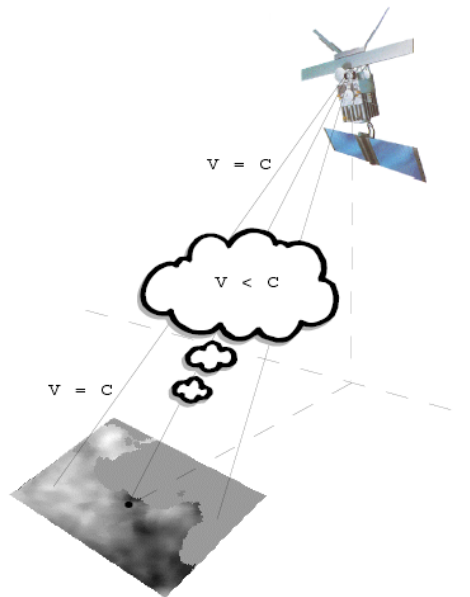
1 dia



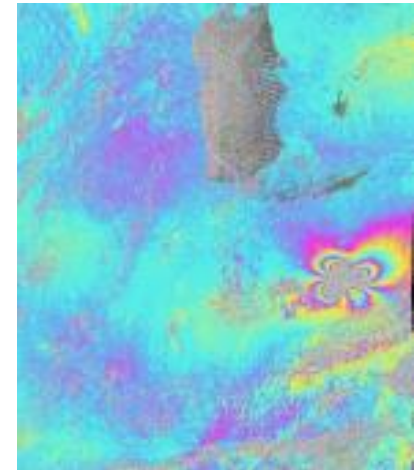
70 dies

# Mesura del moviment de superfície

- **Fonts d'error en les mesures InSAR i DInSAR**
  - Artefactes atmosfèrics
    - Les condicions atmosfèriques afecten la velocitat de propagació de les ones, generant un retard.
    - Distància de correlació  $\sim 1\text{Km}$ .



Amb atmosfera



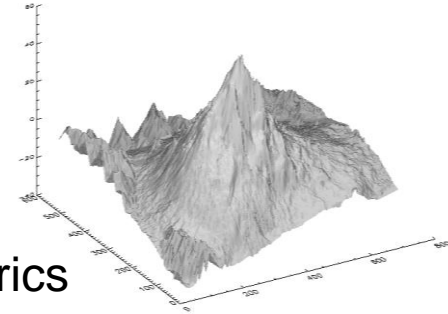
Sense atmosfera

# Mesura del moviment de superfície

## ■ Característiques dels productes InSAR i DInSAR

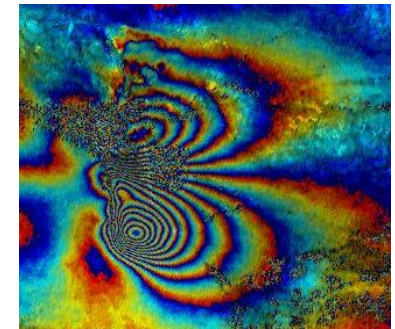
### ■ InSAR – Topografia

- Precisió en alçada mètrica (> 5 metres en banda X)
- Afectació d'artefactes atmosfèrics
  - Es pot minimitzar promitjant diversos METs interferomètrics
- Producte adequat per zones amb coberta constant de núvols



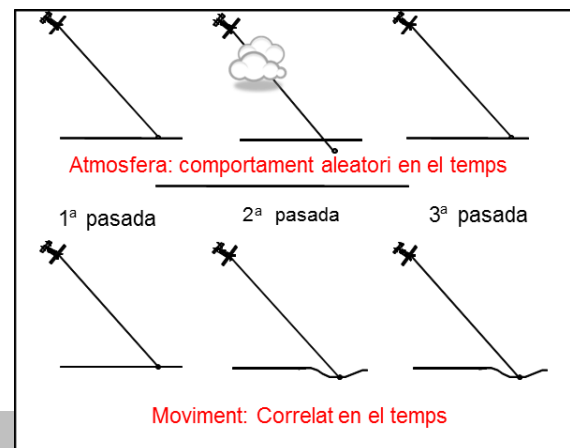
### ■ DInSAR – Moviment

- Precisió centimètrica (~1.5 cm en banda C)
- Afectació d'artefactes atmosfèrics
- Afectació decorrelació temporal
- Producte adequat per moviments intensos (centimètrics) en períodes curts de temps (baixa decorrelació temporal)
  - Terratrèmols, volcans...



# Mesura del moviment de superfície

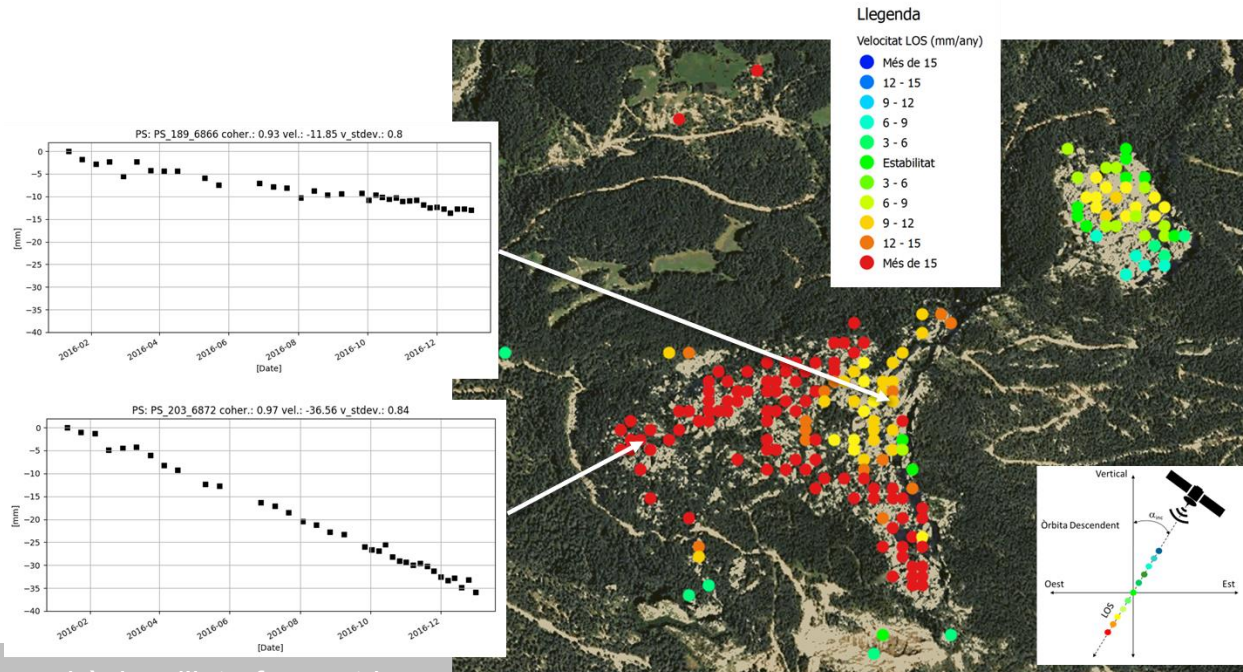
- **Mesura precisa de moviment – PSI (Persistent Scatterer Interferometry)**
- **Objectiu:** Mesurar moviments mil·limètrics en períodes llargs de temps
- **Com?**
  - Fent servir un conjunt d'imatges SAR (típicament  $> 20$ )
  - Seleccionant els punts coherents durant tot el període de monitorització
  - Separant components de la fase interferometrica
    - Moviment, topografia i atmosfera





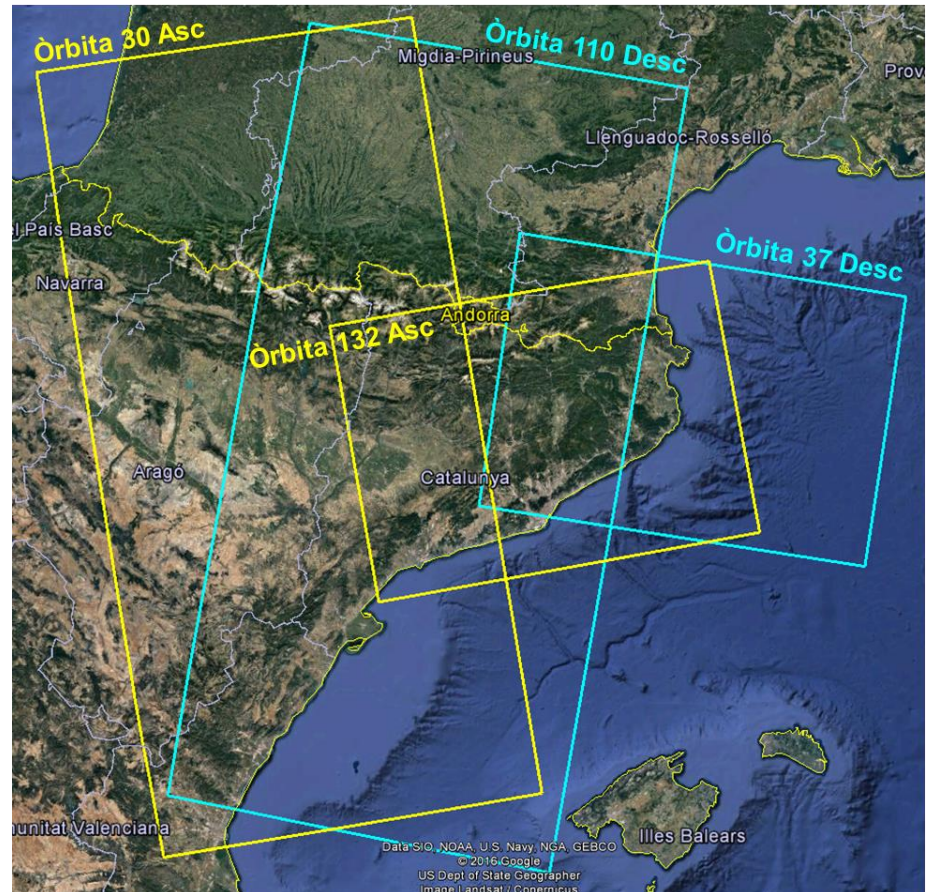
# Mesura del moviment de superfície

- **Mesura precisa de moviment – PSI**
  - **Producte**
    - Mesures només sobre punts coherents
    - Velocitat de moviment per cada punt
    - Sèrie temporal de moviment per cada punt
    - Localització i paràmetres de qualitat de mesura per cada punt



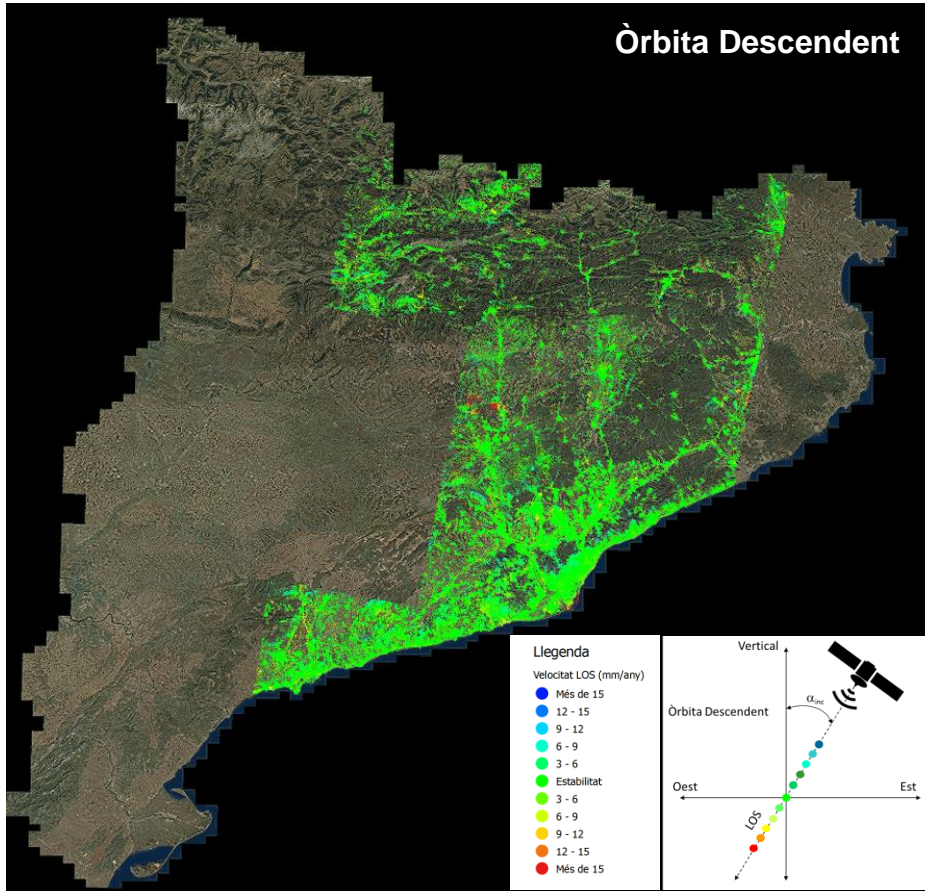
# Mesura del moviment de superfície

- **Cobertura SENTINEL-1 a Catalunya**
  - 2 òrbites per ascendent i descendent
  - Re-visita cada 6 dies aprox.
  - Unió de frames necessària
  - Cobertura total del territori



# Mesura del moviment de superfície

## ■ Estat processat SENTINEL-1 a Catalunya

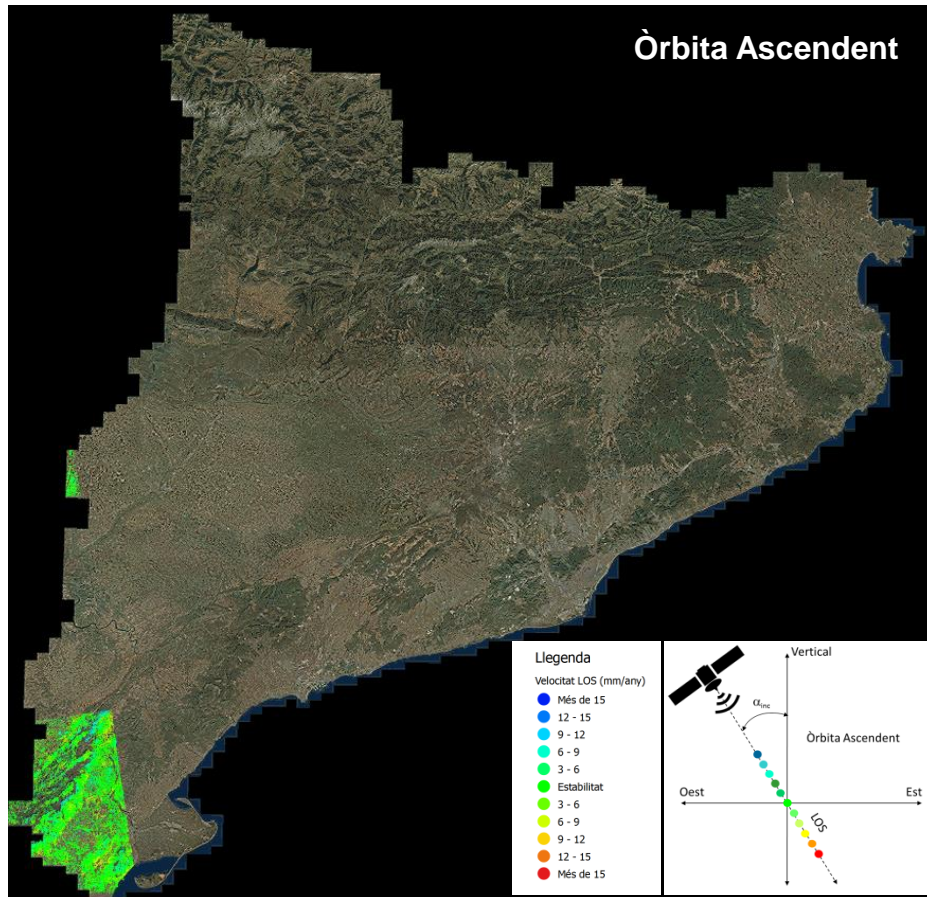


### Estat processament any 2016 (percentatge finalitzat)

Òrbita	Interferogrames	Mesures moviment
Descendent – 110	90%	80%
Descendent – 37	20%	0%

# Mesura del moviment de superfície

## ■ Estat processat SENTINEL-1 a Catalunya

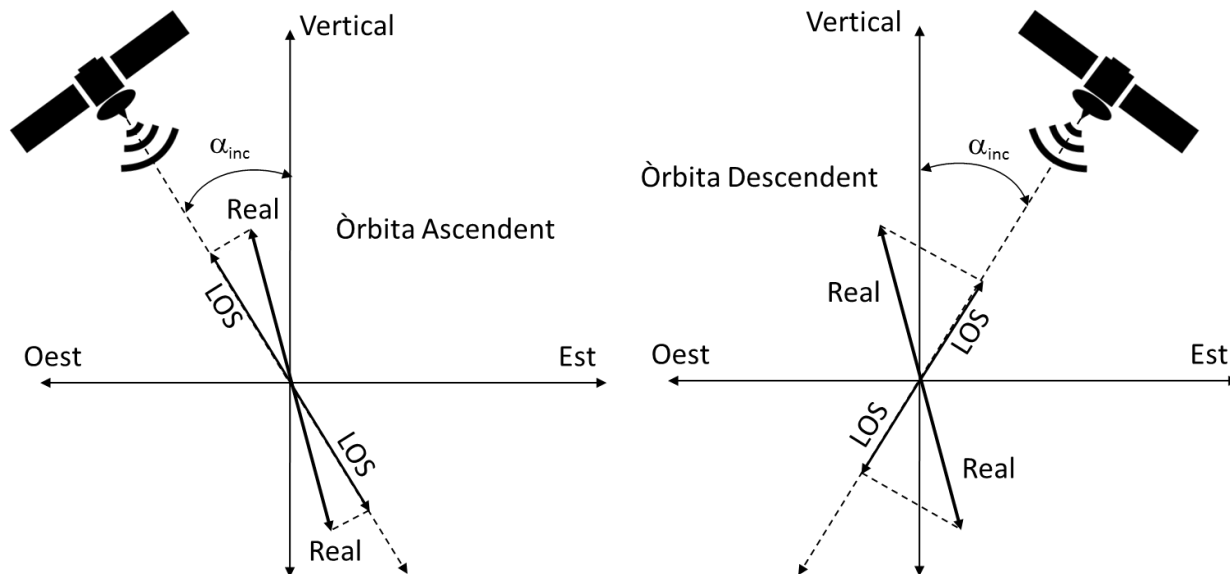


### Estat processament any 2016 (percentatge finalitzat)

Òrbita	Interferogrames	Mesures moviment
Ascendent – 30	100%	30%
Ascendent – 132	30%	0%

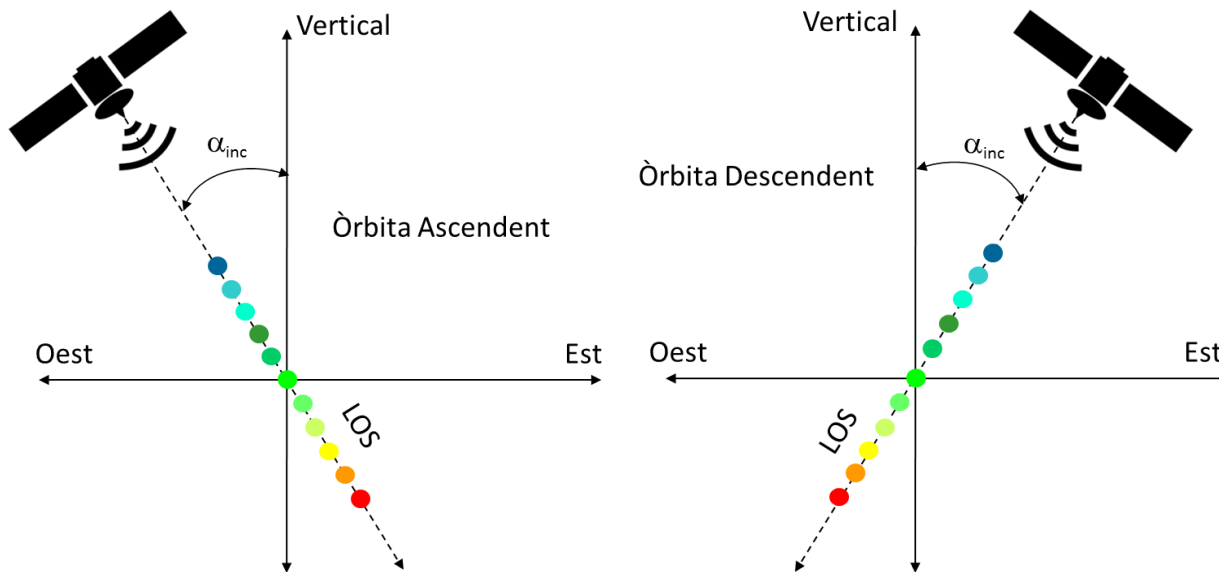
# Mesura del moviment de superfície

- **El radar mesura la component LOS (Line Of Sight)**
  - Projecció ortogonal del moviment real sobre la direcció de visió del satèl·lit ( $\alpha_{inc} \sim 35^\circ$  amb SENTINEL-1)
  - Si el moviment presenta component horitzontal, les òrbites ascendent i descendent mesuren intensitats diferents
  - Si el moviment és purament vertical, les òrbites ascendent i descendent mesuren lo mateix



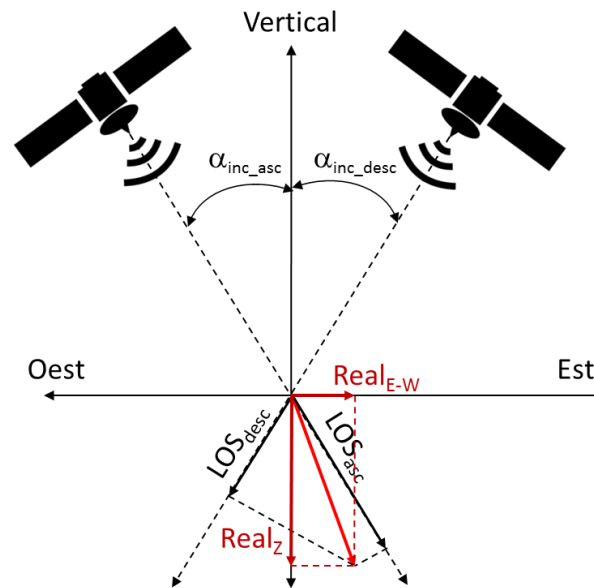
# Mesura del moviment de superfície

- **El radar mesura la component LOS (Line Of Sight)**
  - Projectió ortogonal del moviment real sobre la direcció de visió del satèl·lit ( $\alpha_{inc} \sim 35^\circ$  amb SENTINEL-1)
  - Si el moviment presenta component horitzontal, les òrbites ascendent i descendent mesuren intensitats diferents
  - Si el moviment és purament vertical, les òrbites ascendent i descendent mesuren lo mateix



# Mesura del moviment de superfície

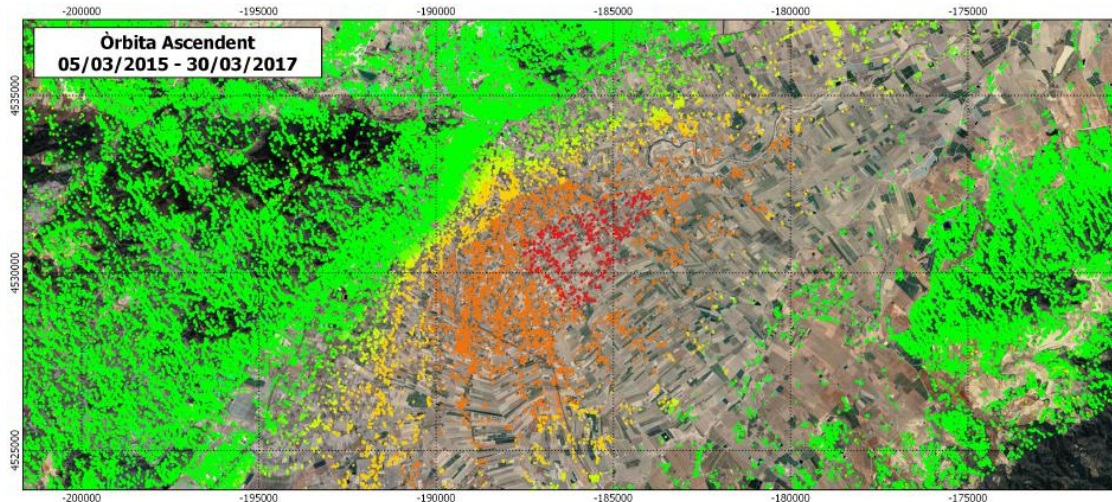
- **Descomposició del LOS en Vertical i Horitzontal**
  - Fent servir les mesures ascendent i descendent es pot obtenir el valor de moviment vertical i horitzontal (Est-Oest)
  - La inclinació de les òrbites es molt petita ( $\sim 10^\circ$ ), per lo tant no hi ha quasi sensibilitat al moviment Nord-Sud



$$\begin{bmatrix} -\cos(\theta_{ASC}) & \sin(\theta_{ASC}) * \cos(H_{ASC}) \\ -\cos(\theta_{DESC}) & \sin(\theta_{DESC}) * \cos(H_{DESC}) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} LOS_{ASC} \\ LOS_{DESC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} DESPLAZ_{VERTICAL} \\ DESPLAZ_{ESTE-OESTE} \end{bmatrix}$$

# Mesura del moviment de superfície

## ■ Descomposició del LOS en Vertical i Horitzontal

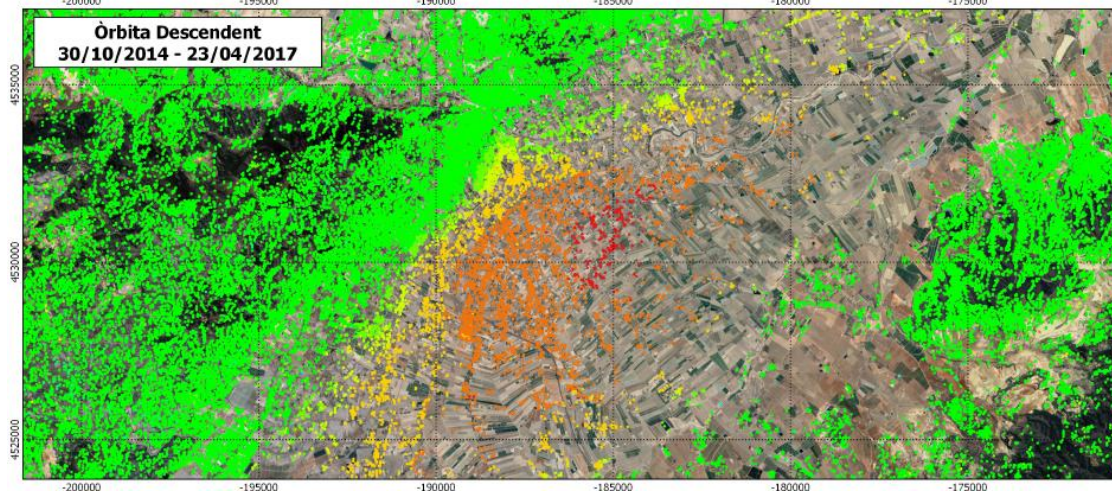
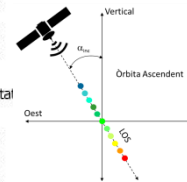


**Lorca (Espanya)**  
**SENTINEL-1A/B**  
**Òrbites Ascendent i Descendent**  
**Mesura en geometria LOS**

### Llegenda

#### Velocitat LOS (mm/any)

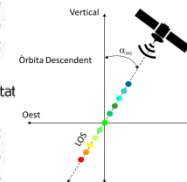
- Més de 60
- 30 - 60
- 15 - 30
- 10 - 15
- 5 - 10
- Estabilitat
- 5 - 10
- 10 - 15
- 15 - 30
- 30 - 60
- Més de 60



### Llegenda

#### Velocitat LOS (mm/any)

- Més de 60
- 30 - 60
- 15 - 30
- 10 - 15
- 5 - 10
- Estabilitat
- 5 - 10
- 10 - 15
- 15 - 30
- 30 - 60
- Més de 60

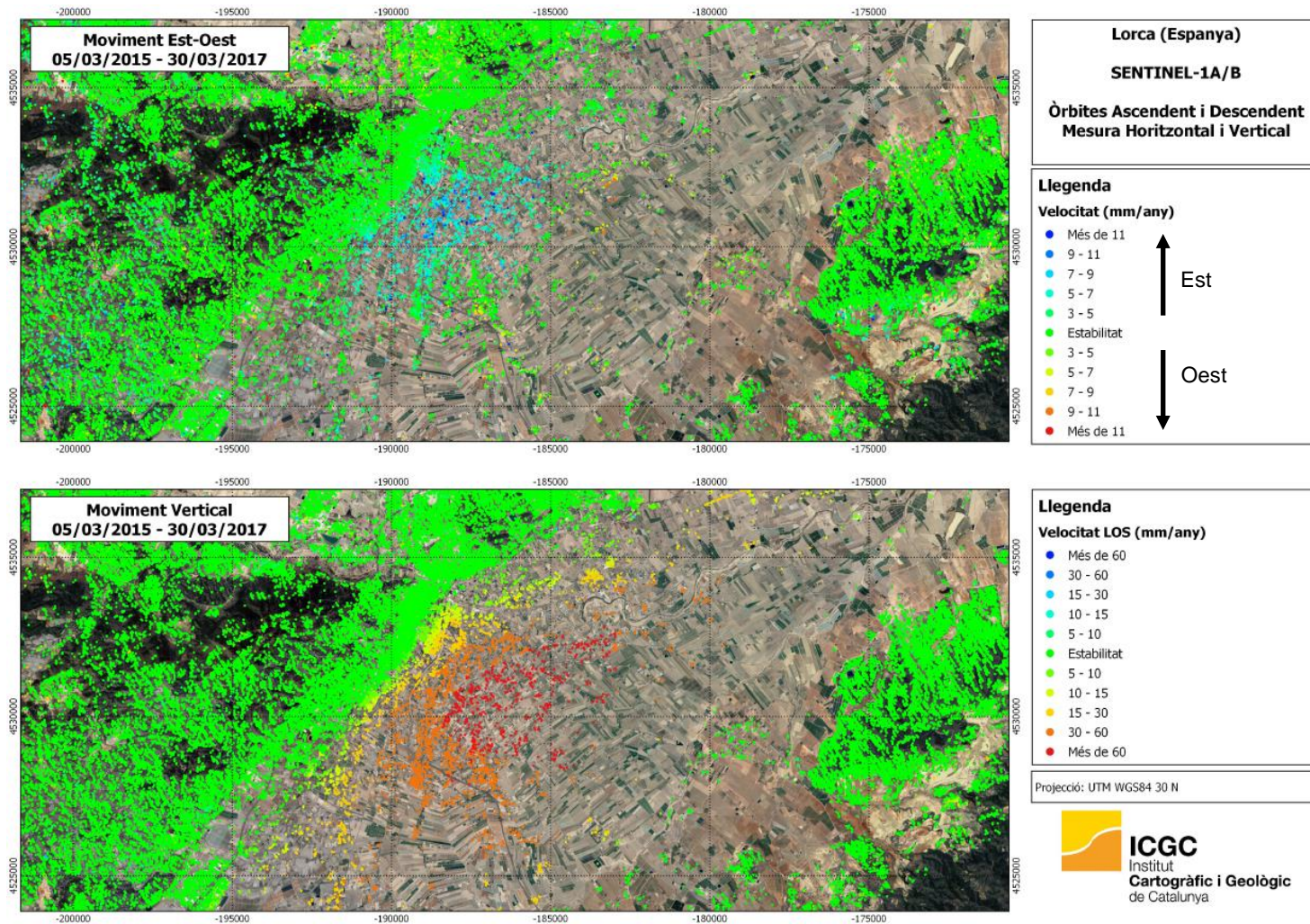


Projecció: UTM WGS84 30 N



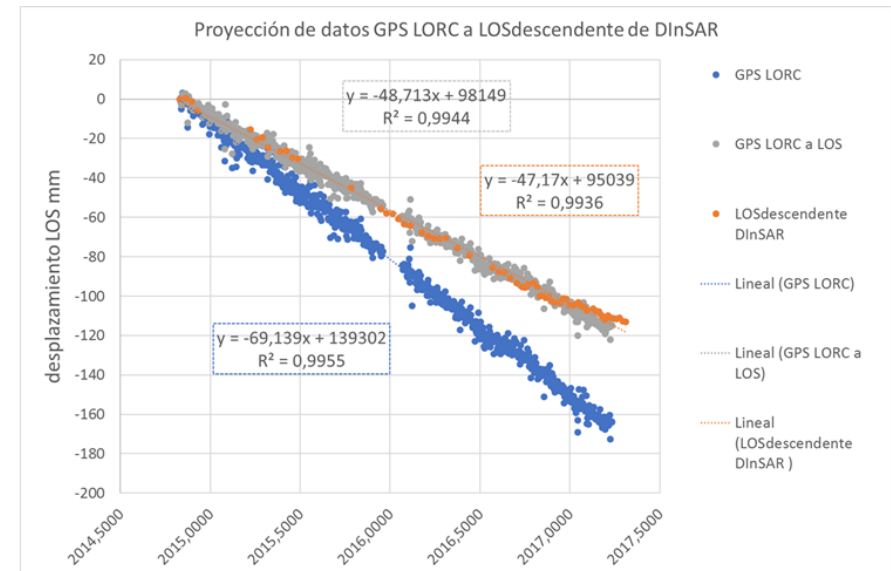
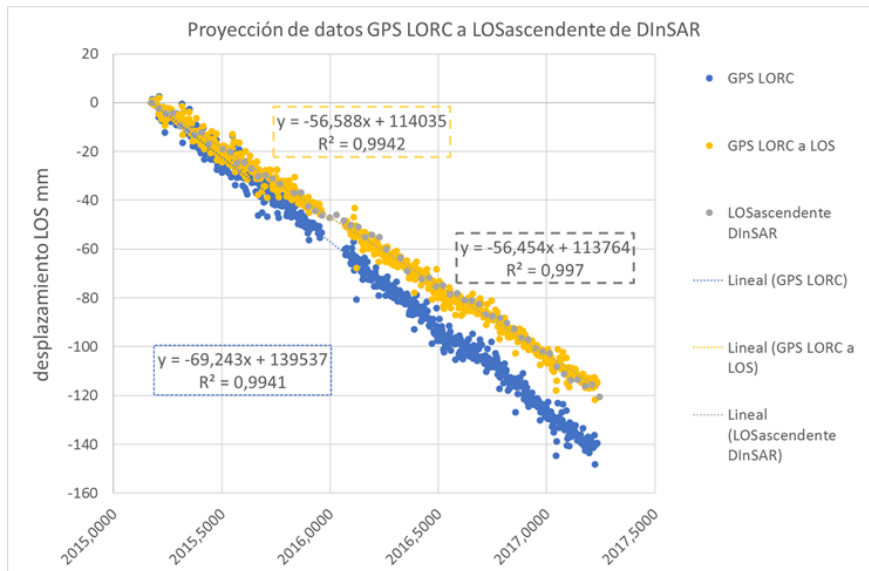
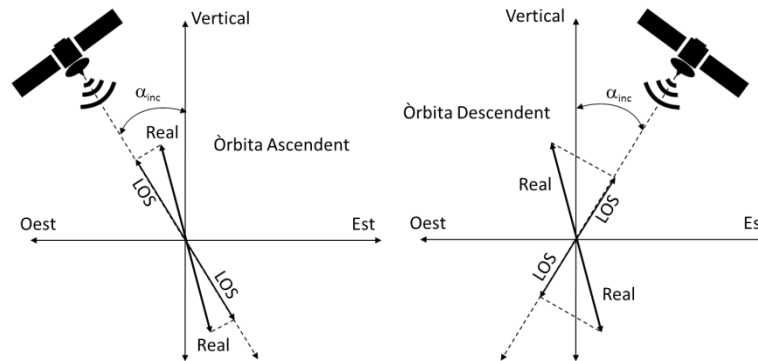
# Mesura del moviment de superfície

## ■ Descomposició del LOS en Vertical i Horitzontal



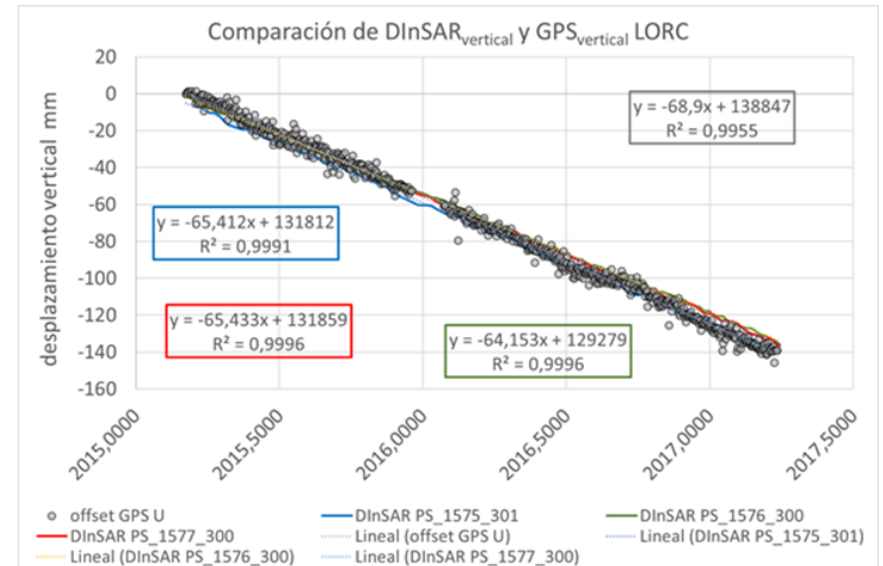
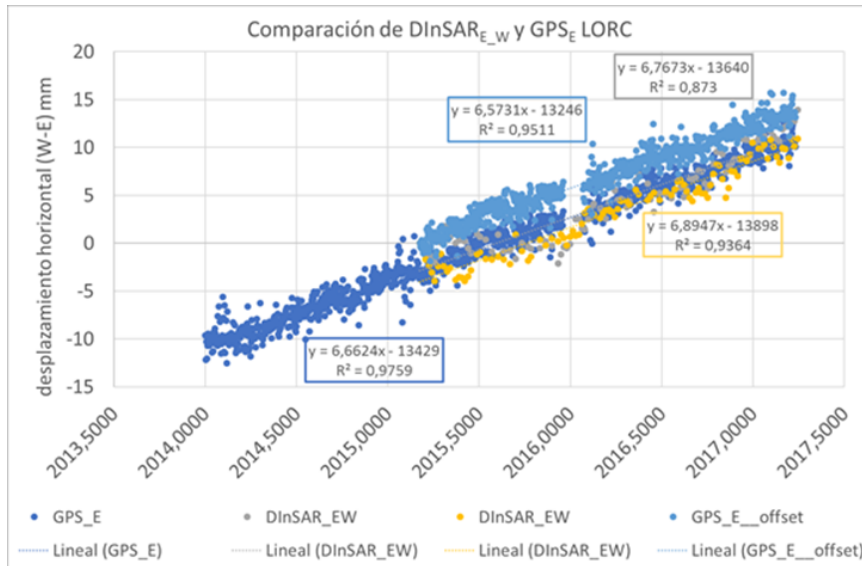
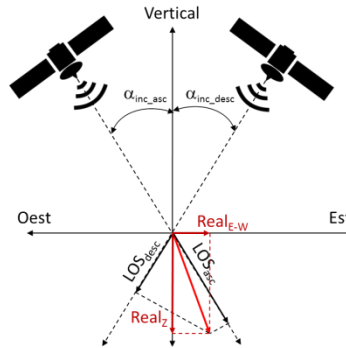
# Mesura del moviment de superfície

- **Comparativa GPS vs PSI LOS**
  - **Projecció GPS sobre LOS**



# Mesura del moviment de superfície

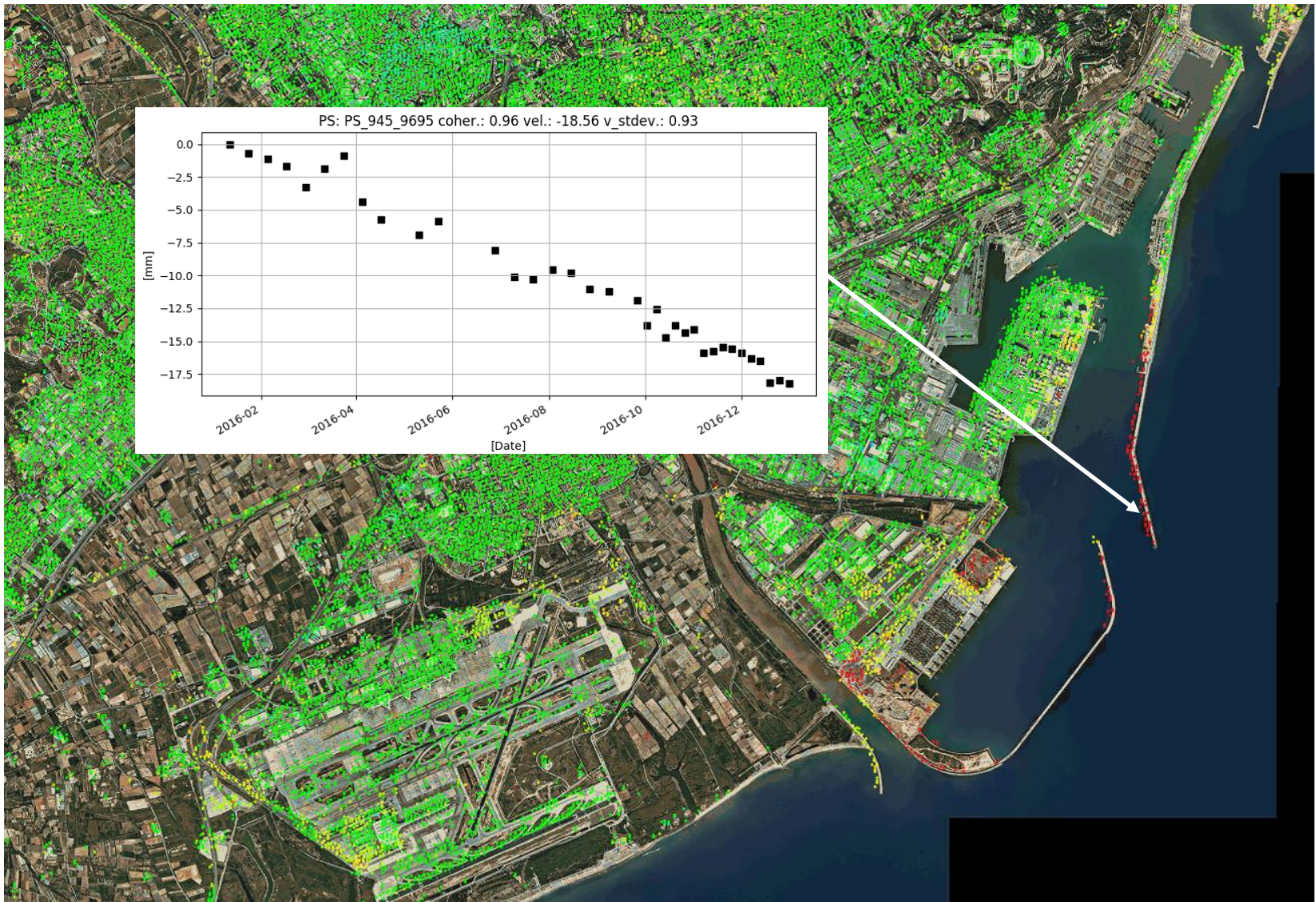
- **Comparativa GPS vs PSI LOS**
  - Descomposició LOS Asc/Desc en Vertical/Horitzontal (Est-Oest)



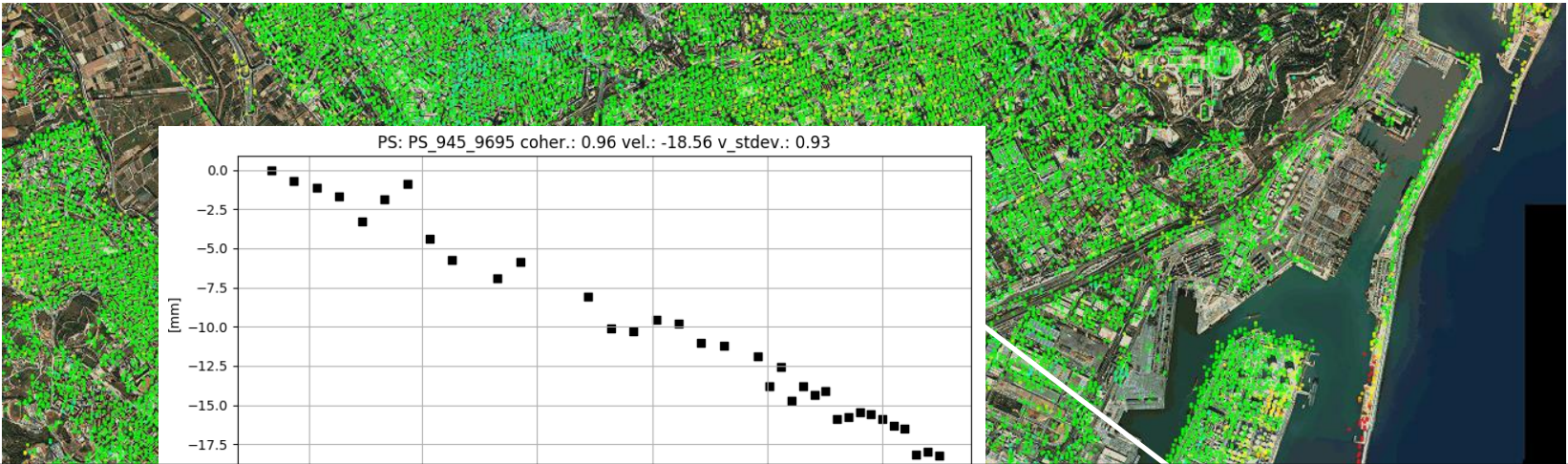
# Mesura del moviment de superfície



# Mesura del moviment de superfície



# Mesura del moviment de superfície



	CODE	UTM_X	UTM_Y	HEIGHT	H_STDEV	VEL	V_STDEV	COHERENCE	EFF_AREA	D20160926	D20161008	D20161020	D20161101	D20161113	D20161125	D20161207	D20161219
1	PS_1026_8551	433320.000000...	4606600.000000...	211.4099999999...	0.000000000000...	0.560000000000...	1.100000000000...	0.920000000000...	400.0000000000...	0.820000000000...	-0.960000000000...	1.010000000000...	-0.060000000000...	-0.890000000000...	0.320000000000...	-0.690000000000...	0.220000000000...
2	PS_1025_8551	433340.000000...	4606600.000000...	218.0900000000...	0.000000000000...	-0.570000000000...	1.090000000000...	0.920000000000...	400.0000000000...	-0.780000000000...	1.000000000000...	-0.950000000000...	0.130000000000...	0.930000000000...	-0.260000000000...	0.730000000000...	-0.190000000000...
3	PS_1005_8551	434100.000000...	4606440.000000...	270.4100000000...	0.000000000000...	2.670000000000...	1.060000000000...	0.940000000000...	400.0000000000...	1.210000000000...	3.150000000000...	0.870000000000...	3.050000000000...	0.280000000000...	1.870000000000...	3.030000000000...	2.720000000000...
4	PS_1047_8565	432300.000000...	4606400.000000...	248.9499999999...	0.000000000000...	-0.180000000000...	0.980000000000...	0.930000000000...	400.0000000000...	-1.300000000000...	0.490000000000...	-1.410000000000...	0.540000000000...	-1.400000000000...	-1.450000000000...	-0.270000000000...	-0.910000000000...
5	PS_1049_8566	432220.000000...	4606380.000000...	247.9300000000...	0.000000000000...	-1.800000000000...	1.100000000000...	0.930000000000...	400.0000000000...	1.500000000000...	-0.070000000000...	-1.790000000000...	1.010000000000...	0.690000000000...	-0.590000000000...	-1.110000000000...	-2.570000000000...
6	PS_1048_8566	432260.000000...	4606380.000000...	249.2500000000...	0.000000000000...	-0.690000000000...	1.350000000000...	0.920000000000...	400.0000000000...	1.200000000000...	3.270000000000...	1.360000000000...	2.810000000000...	1.840000000000...	1.410000000000...	-0.010000000000...	1.690000000000...
7	PS_1047_8566	432300.000000...	4606380.000000...	247.5300000000...	0.000000000000...	0.860000000000...	0.890000000000...	0.970000000000...	400.0000000000...	0.300000000000...	2.280000000000...	0.840000000000...	0.710000000000...	0.040000000000...	-0.160000000000...	0.200000000000...	0.730000000000...
8	PS_1003_8553	434180.000000...	4606380.000000...	253.4199999999...	0.000000000000...	1.890000000000...	0.790000000000...	0.950000000000...	400.0000000000...	3.100000000000...	1.050000000000...	2.360000000000...	3.090000000000...	1.830000000000...	1.370000000000...	2.490000000000...	1.470000000000...
9	PS_1050_8567	432180.000000...	4606360.000000...	244.3799999999...	0.000000000000...	-1.610000000000...	1.190000000000...	0.920000000000...	400.0000000000...	-0.420000000000...	0.540000000000...	1.390000000000...	1.410000000000...	1.380000000000...	0.200000000000...	0.220000000000...	-0.480000000000...
10	PS_1049_8567	432220.000000...	4606360.000000...	248.1800000000...	0.000000000000...	-0.430000000000...	1.130000000000...	0.920000000000...	400.0000000000...	0.390000000000...	0.830000000000...	-1.480000000000...	0.950000000000...	3.560000000000...	1.430000000000...	1.090000000000...	1.740000000000...
11	PS_1047_8567	432300.000000...	4606340.000000...	248.6100000000...	0.000000000000...	0.230000000000...	0.970000000000...	0.940000000000...	400.0000000000...	-0.450000000000...	0.170000000000...	-0.780000000000...	-0.470000000000...	0.580000000000...	-1.400000000000...	-1.120000000000...	0.020000000000...
12	PS_1042_8566	432520.000000...	4606340.000000...	237.5099999999...	0.000000000000...	-0.740000000000...	1.290000000000...	0.840000000000...	400.0000000000...	0.660000000000...	3.500000000000...	-0.920000000000...	2.160000000000...	1.290000000000...	-0.920000000000...	0.730000000000...	0.080000000000...
13	PS_1003_8554	434180.000000...	4606340.000000...	260.4499999999...	0.000000000000...	1.960000000000...	1.170000000000...	0.900000000000...	400.0000000000...	2.260000000000...	0.930000000000...	1.780000000000...	0.240000000000...	1.640000000000...	2.920000000000...	0.530000000000...	0.330000000000...
14	PS_1050_8569	432180.000000...	4606320.000000...	246.2599999999...	0.000000000000...	-0.490000000000...	1.180000000000...	0.930000000000...	400.0000000000...	1.660000000000...	1.280000000000...	-0.540000000000...	0.830000000000...	1.320000000000...	-0.810000000000...	-0.290000000000...	0.530000000000...
15	PS_1047_8568	432300.000000...	4606320.000000...	246.2500000000...	0.000000000000...	-0.970000000000...	0.840000000000...	0.960000000000...	400.0000000000...	-1.240000000000...	-0.050000000000...	-1.480000000000...	-0.010000000000...	0.000000000000...	-2.050000000000...	-0.200000000000...	-1.400000000000...
16	PS_1043_8567	432460.000000...	4606320.000000...	256.9300000000...	0.000000000000...	-1.100000000000...	1.050000000000...	0.950000000000...	400.0000000000...	-0.670000000000...	0.310000000000...	-1.190000000000...	-0.070000000000...	-0.060000000000...	0.080000000000...	-1.960000000000...	-2.700000000000...
17	PS_1041_8566	432560.000000...	4606320.000000...	236.0600000000...	0.000000000000...	-0.380000000000...	1.040000000000...	0.920000000000...	400.0000000000...	-0.570000000000...	0.630000000000...	-2.430000000000...	0.800000000000...	-0.850000000000...	-1.740000000000...	0.970000000000...	-0.920000000000...
18	PS_1032_8563	432960.000000...	4606320.000000...	245.8300000000...	0.000000000000...	-2.280000000000...	0.910000000000...	0.940000000000...	400.0000000000...	-1.410000000000...	-2.040000000000...	-3.970000000000...	-3.730000000000...	-1.710000000000...	-2.370000000000...	-2.540000000000...	-2.590000000000...
19	PS_1049_8569	432200.000000...	4606300.000000...	247.1500000000...	0.000000000000...	1.690000000000...	1.030000000000...	0.940000000000...	400.0000000000...	1.310000000000...	0.600000000000...	1.210000000000...	2.990000000000...	1.590000000000...	0.230000000000...	0.500000000000...	1.310000000000...
20	PS_1047_8569	432280.000000...	4606300.000000...	245.5900000000...	0.000000000000...	-1.180000000000...	1.340000000000...	0.910000000000...	400.0000000000...	-4.260000000000...	-3.120000000000...	-2.170000000000...	-1.110000000000...	-2.490000000000...	-3.750000000000...	-1.340000000000...	-1.720000000000...

# Mesura del moviment de superfície

- **El producte SENTINEL-1 a l'ICGC**
  - Mesures PSI de tot el territori Català
  - Actualització cada sis mesos
  - Mesures LOS ascendent i descendent
  - Descomposició Vertical i Horitzontal (Est-Oest)
  - Sèries temporals amb dades cada 6 dies aproximadament
  - Resolució espacial 20-40 metres
  - Processat amb el software desenvolupat a l'ICGC

# Mesura del moviment de superfície

- **Treball pràctic amb dades SENTINEL-1**
  - Generació d'interferograma diferencial de l'erupció del volcà Fogo a Cap Verd amb el software SNAP. L'erupció va començar el 23 de Novembre de 2014 i va continuar fins al 8 de Febrer de 2015
  - Visualització de resultats PSI sobre la ciutat de Barcelona (any 2016) amb QGIS i plugin de representació de series temporals de moviment



# Formació en imatges radar satèl·lit

## Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

Parc de Montjuïc,  
E-08038 Barcelona

41°22'12" N, 2°09'20" E (ETRS89)

 [www.icgc.cat](http://www.icgc.cat)

 [icgc@icgc.cat](mailto:icgc@icgc.cat)

 [twitter.com/ICGCat](https://twitter.com/ICGCat)

 [facebook.com/ICGCat](https://facebook.com/ICGCat)

Tel. (+34) 93 567 15 00

Fax (+34) 93 567 15 67

