

Uso de la constelación Sentinel-1 para la medida de movimientos del terreno

Oriol Monserrat

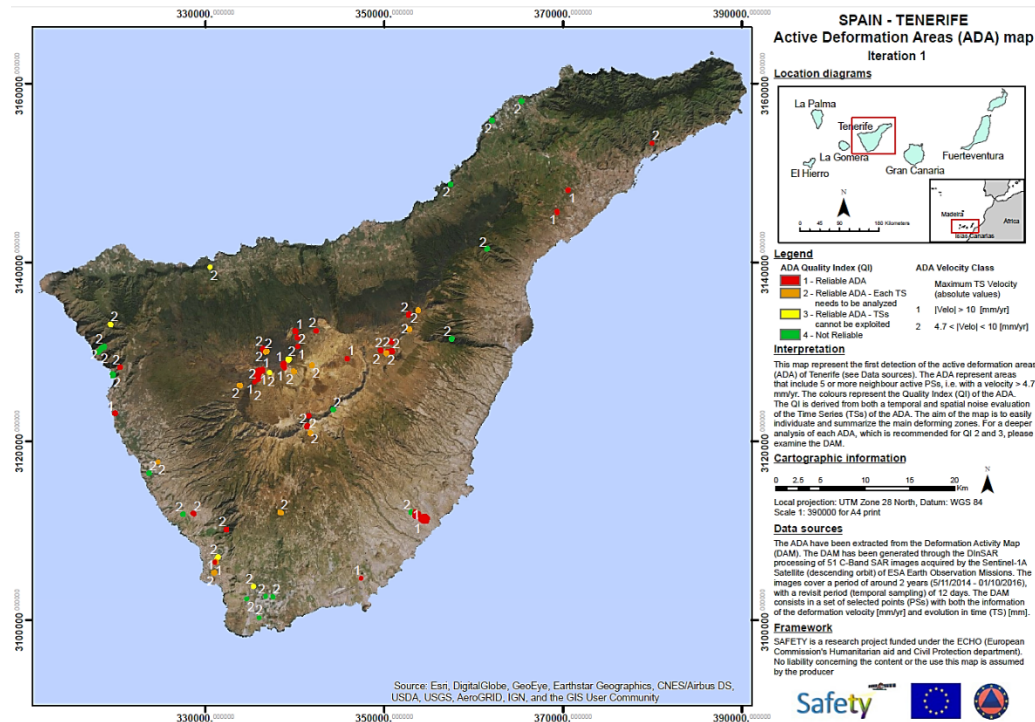
Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC/CERCA),
Division of Geomatics, Barcelona, Spain

Introducción (I)

- El Centro Tecnológico de Telecomunicaciones de Cataluña es una institución de investigación sin ánimo de lucro situada en Castelldefels (Barcelona). Es una iniciativa pública de la Generalitat de Catalunya
- Las principales áreas de investigación cubren diferentes ámbitos de las telecomunicaciones y la geomática.
- En particular hoy hablaré de actividades relacionadas con el departamento de observación de la Tierra.

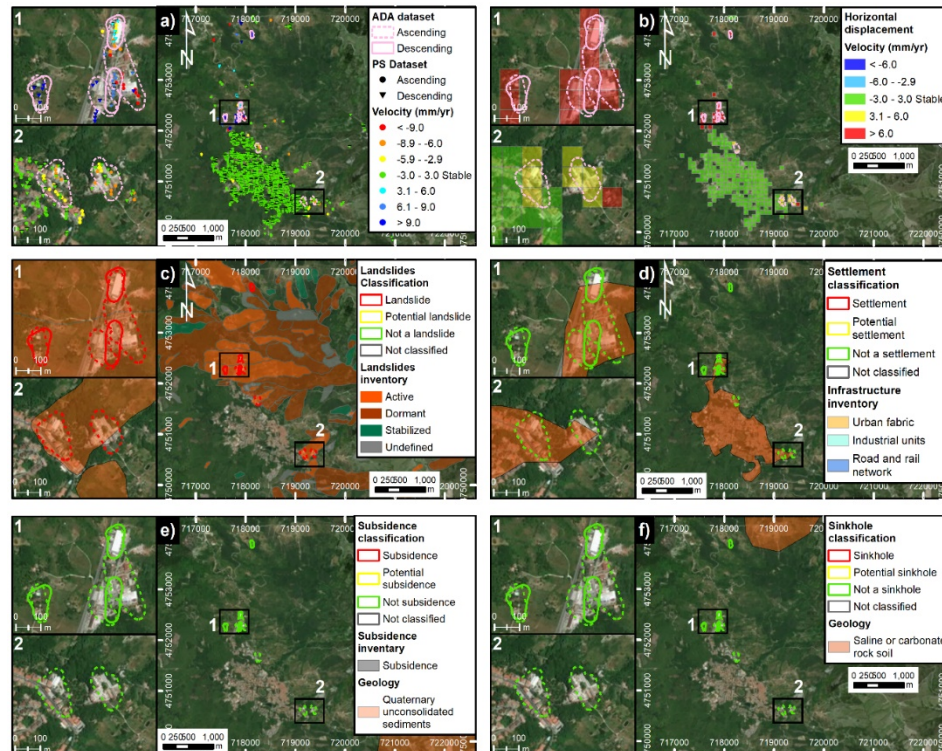
Introducción (II)

- Idea de la presentación: dar una visión general de como las imágenes Sentinel-1 pueden ser utilizadas para la detección, mapeo, medida y monitorización de movimientos del terreno.
- Detección: localizar geográficamente áreas que están afectadas por movimientos.



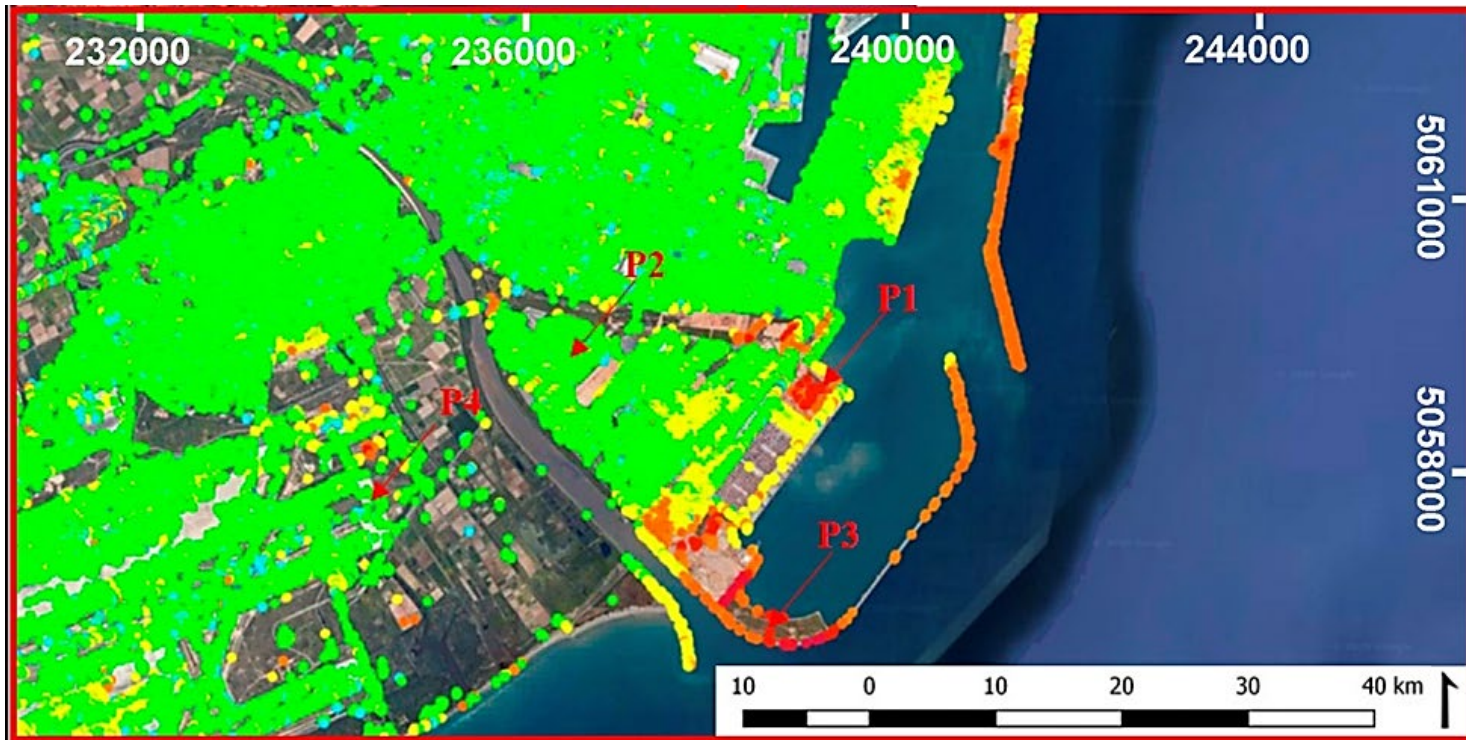
Introducción (III)

- Idea de la presentación: dar una visión general de como las imágenes Sentinel-1 pueden ser utilizadas para la detección, mapeo, medida y monitorización de movimientos del terreno.
- Mapeo: delimitar el área afectada.



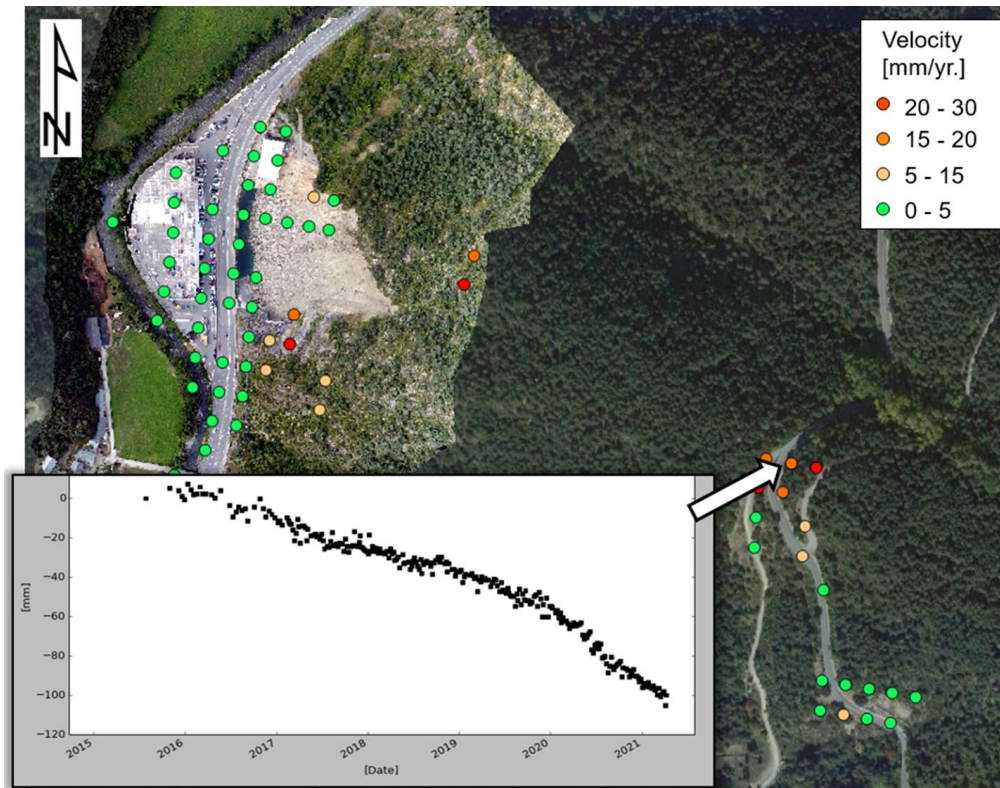
Introducción (IV)

- Idea de la presentación: dar una visión general de como las imágenes Sentinel-1 pueden ser utilizadas para la detección, mapeo, medida y monitorización de movimientos del terreno.
- Medida: Cuantificar el movimiento y su evolución en el pasado.



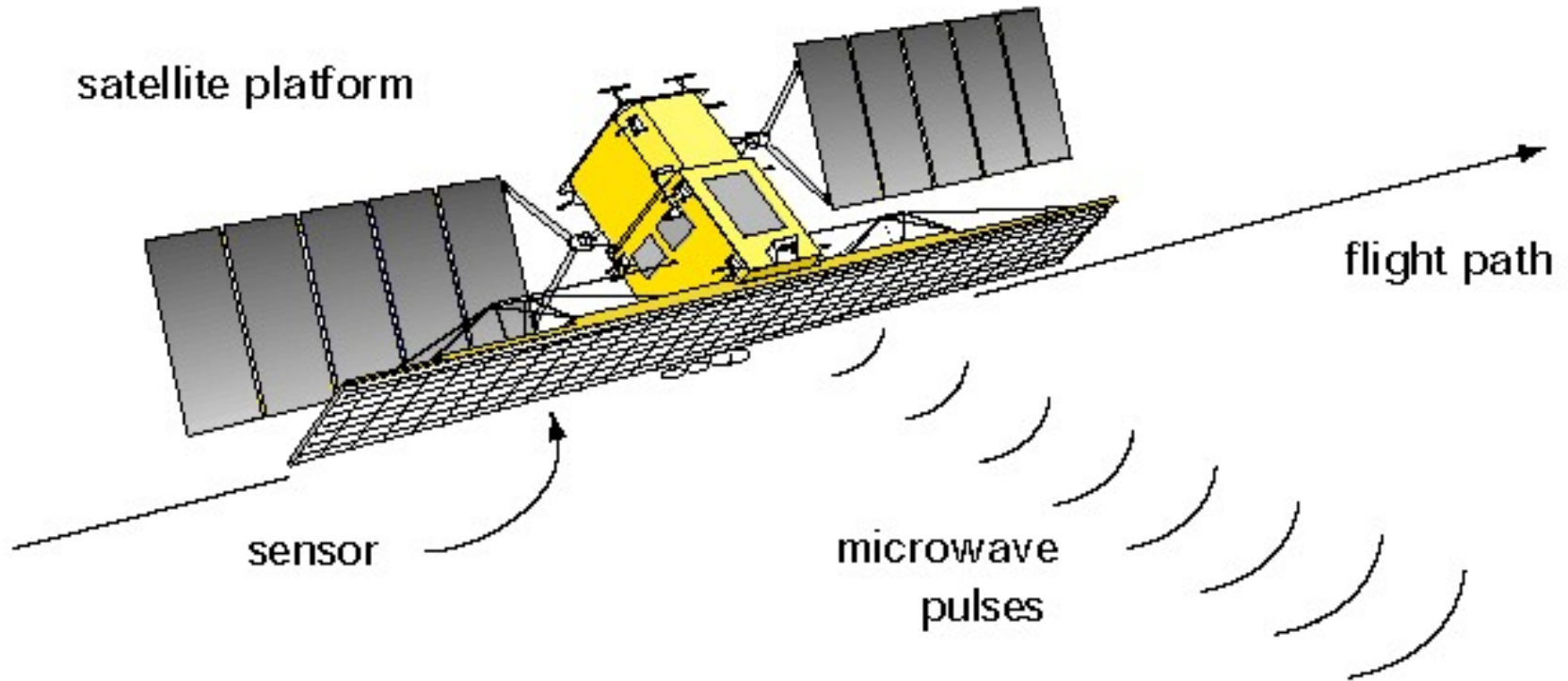
Introducción (V)

- Idea de la presentación: dar una visión general de como las imágenes Sentinel-1 pueden ser utilizadas para la detección, mapeo, medida y monitorización de movimientos del terreno.
- Monitoreo: Seguimiento de la evolución en el presente.



Radar de apertura sintética (SAR)

Radar de apertura sintética (SAR)



Imágenes SAR complejas

- A partir de una imagen SAR compleja podemos extraer:

$$\Phi = \tan^{-1}\left(\frac{Q}{I}\right)$$

una imagen de fase

$$A = \sqrt{I^2 + Q^2}$$

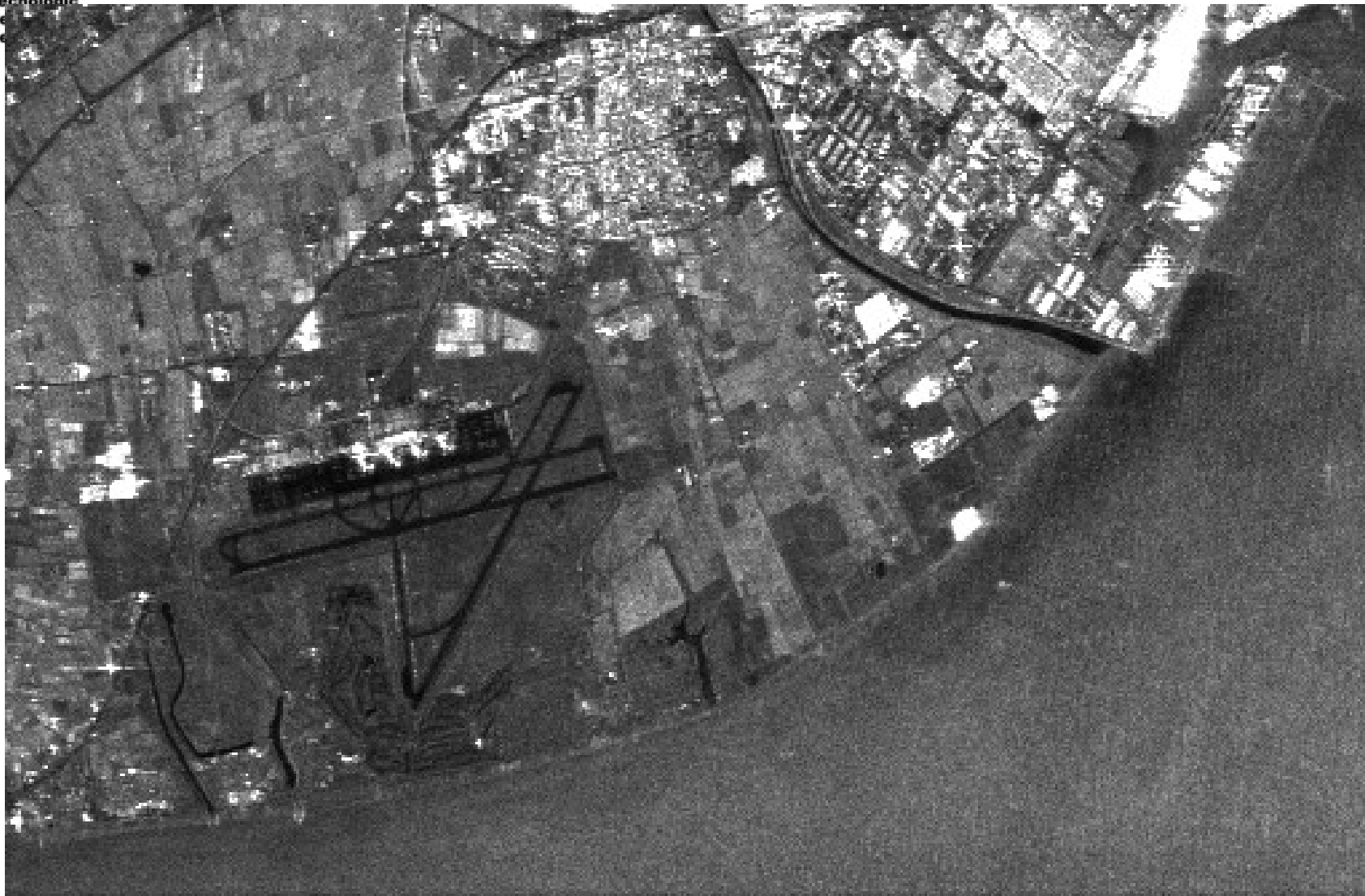
una imagen de amplitud



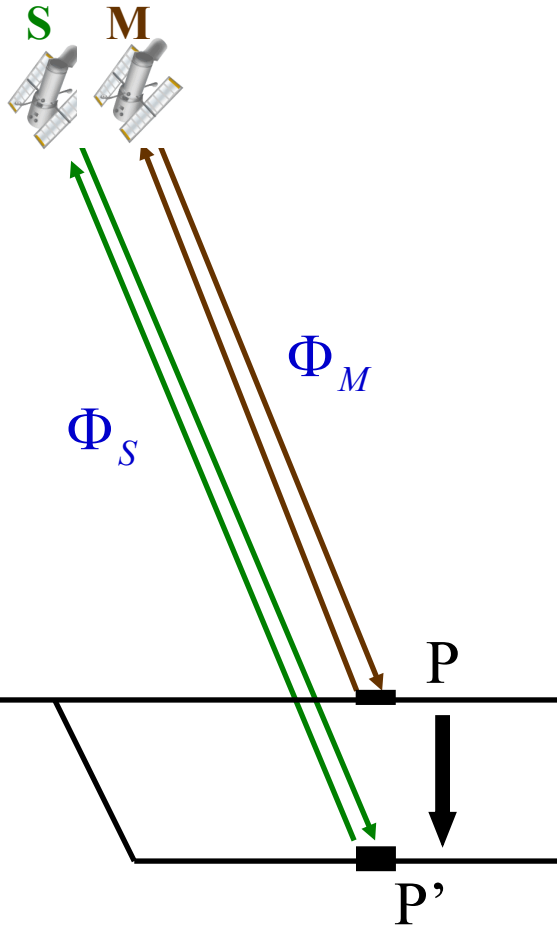
CTTC[®]

Centre
Tecnològic
de Catalunya

Imágenes SAR complejas: Amplitud



Medida de deformaciones (DInSAR)



$$\Phi_M = MP \cdot \frac{4 \cdot \pi}{\lambda} + \Phi_o$$

$$\Phi_S = SP \cdot \frac{4 \cdot \pi}{\lambda} + \Phi_o$$

$$\Phi_{Int} = \Phi_S - \Phi_M = \frac{SP - MP}{\frac{\lambda}{4 \cdot \pi}} + \frac{SP' - SP}{\frac{\lambda}{4 \cdot \pi}}$$

- If $S \equiv M$:

$$\Delta \Phi_{Int} = \Phi_S - \Phi_M = \Phi_{Mov}$$

- If $S \neq M$:

$$\Delta \Phi_{Int} = \Phi_S - \Phi_M = \Phi_{Topo} + \Phi_{Mov}$$

Medida de deformaciones (DInSAR)

- Si conocemos la topografía podemos simular $\Phi_{Topo} \rightarrow \Phi_{Topo_Simu}$ y:

$$\Delta\Phi_{D-Int} = \Delta\Phi_{Int} - \Phi_{Topo_Simu} = \Phi_{Mov}$$

(Aplicaciones interferométricas)

- En realidad normalmente tenemos un sistema más complejo:

$$\Delta\Phi_{D-Int} = \Delta\Phi_{Int} - \Phi_{Topo_Simu} = \Phi_{Mov} + \Phi_{Atm} + \Phi_{Res_Topo} + \Phi_{Noise}$$

model

model

model

(Aplicaciones A-DInSAR o MTInSAR)

Deformation(t)

Atmospheric
component

Residual
topography

Que ha aportado Sentinel-1?

Satelites SAR disponibles

Satellite Mission	Life Status	Wavelength Band	Revisit Time (days)	Spatial Resolution (Range × Azimuth; m × m)	Institution, Country
Seasat	1978	L (23.5 cm)	3	6×25	NASA/JPL, USA
ERS-1/2	1991 – 2000 1995 – 2011	C (5.6 cm)	35	5×26	ESA, Europe
JERS-1	1992 – 1998	L (23.5 cm)	44	6×18	JAXA, Japan
SIR-C/X-SAR	1994	L (23.5 cm) C (5.8 cm) X (3.1 cm)	–	13×7.5 13×7.5 10×6	NASA/JPL, USA DLR, Germany ASI, Italy
RADARSAT-1	1995 – 2013	C (5.6 cm)	24	9×9	CSA, Canada
SRTM	2000	C (5.6 cm) X (3.1 cm)	–	15×8 30×30	NASA/JPL, USA DLR, Germany ASI, Italy
Envisat ASAR	2002 – 2012	C (5.6 cm)	35	10×28	ESA, Europe
ALOS-1	2006 – 2011	L (23.6 cm)	46	5×10	JAXA, Japan
COSMO-SkyMed	2007 – Present	X (3.1 cm)	16 (1)	0.5×0.5	ASI, Italy
RADARSAT-2	2007 – Present	C (5.6 cm)	24	1.6×2.8	CSA, Canada
TerraSAR-X/ TanDEM-X	2007 – Present 2010 – Present	X (3.1 cm)	11	0.3 ×1	DLR, Germany
RISAT-1	2012 – 2017	C (5.6 cm)	25	0.67×1	ISRO, India
HJ-1C	2012 – Present	S (9.6 cm)	–	5×20	CRESDA /CAST/ NRSCC, China
Kompsat-5	2013 – Present	X (3.1 cm)	28	1×1	KARI, Korea
ALOS -2	2014 – Present	L (23.6 cm)	14	1×3	JAXA, Japan
Sentinel-1A/B	2014 – Present	C (5.6 cm)	6	1.7×4.3	ESA, Europe
PAZ	2018 – Present	X (3.1 cm)	11	0.3 ×1	CDTI, Spain
SAOCOM-1A/B	2018 – Present	L (23.6 cm) X (3.1 cm)	16 16	10×10 –	CONAE, Argentina
ICEYE	2018 – Present	X (3.1 cm)	<1	0.35×2.5	ICEYE, Finland
RADARSAT Constellation Mission (RCM)	2019 – Present	C (5.6 cm)	12 (4)	1×3	CSA, Canada
COSMO-SkyMed Second Generation (CSG)	2019 – Present	X (3.1 cm)	16 (8)	0.35×0.5	ASI, Italy
Capella	2019 – Present	X (3.1 cm)	<1	0.3 ×0.3	Capella Space, USA
StriX	2020 – Present	X (3.1 cm)	1	1×1	JAXA/Synspective, Japan
NISAR	2022 (planned)	L (23.6 cm) S (12 cm)	12 12	3×7 3×7	NASA/JPL, USA ISRO, India
HRWS	2025 (planned)	X (3.1 cm)	–	0.25×0.25	Airbus/DLR, Germany
Gaofen-3	2016 - present	C (5.6 cm)	–	3x3	CNSA (China)
ROSE-L	2026 (planned)	L (23.6 cm)	–	<20	ESA)

- Alrededor de 15 constelaciones operativas.
- Diferentes políticas de adquisición y distribución.
- Diferentes resoluciones.
- En resumen, un potencial enorme.

La constelación Sentinel-1



- Sensor SAR interferométrico
- Banda C: 5.55 cm Long. onda
- $\approx 4 \times 14$ metros de resolución
- Ángulo de incidencia $\approx 29^\circ - 41^\circ$

- Tiempo de revisita: 6 días en EU/ 12-24 $\approx$ todo el mundo
→ real/no potencial
- Tubo orbital de 150 metros de radio.

La constelación Sentinel-1

- Revisita
- Tubo orbital

$$\Delta\Phi_{D-Int} = \Delta\Phi_{Int} - \Phi_{Topo_Simu} = \Phi_{Mov} + \cancel{\Phi}_{Atm} + \cancel{\Phi}_{Res_Topo} + \cancel{\Phi}_{Noise}$$

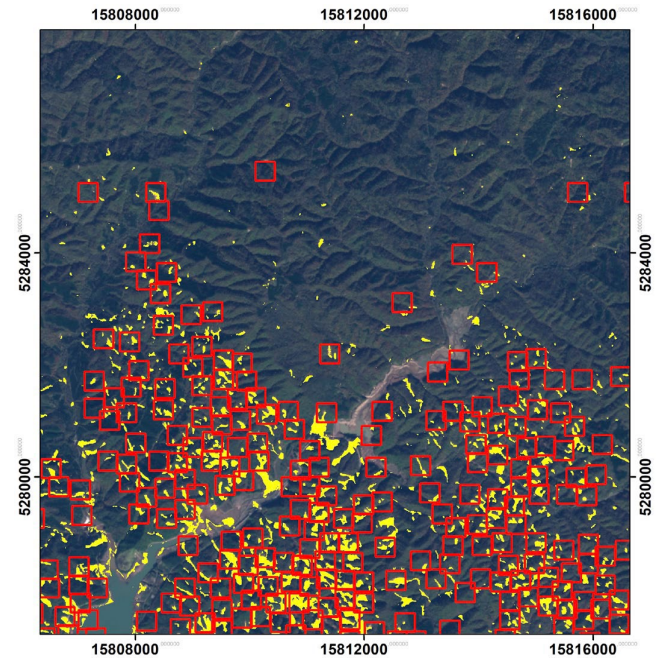
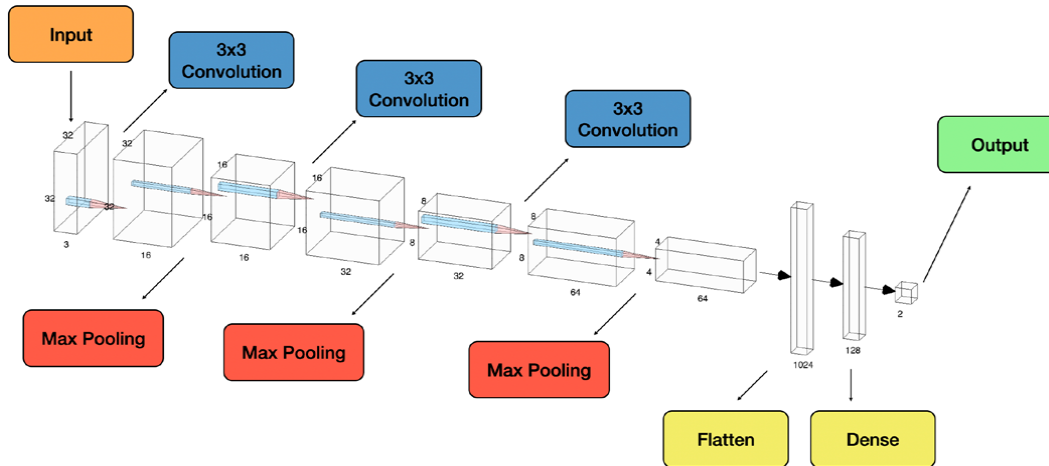
- Datos gratis y sin restricción de uso:

Sentinel-1 ha supuesto una revolución en el desarrollo y aplicación de las técnicas basadas en SAR satelital.

- de herramienta de medida a herramienta de monitoreo
- De herramienta de ámbito científico a uso operativo

Aplicaciones de la amplitud en la detección, mapeo y monitoreo de movimientos del terreno.

Al para la detección automática de remociones en masa



- Uso de redes convolucionales para la detección y mapeo de remociones en masa post-sismo.
- Actualmente es un tema en el que se esta trabajando mucho.

Ejemplo de aplicación - Hokkaido



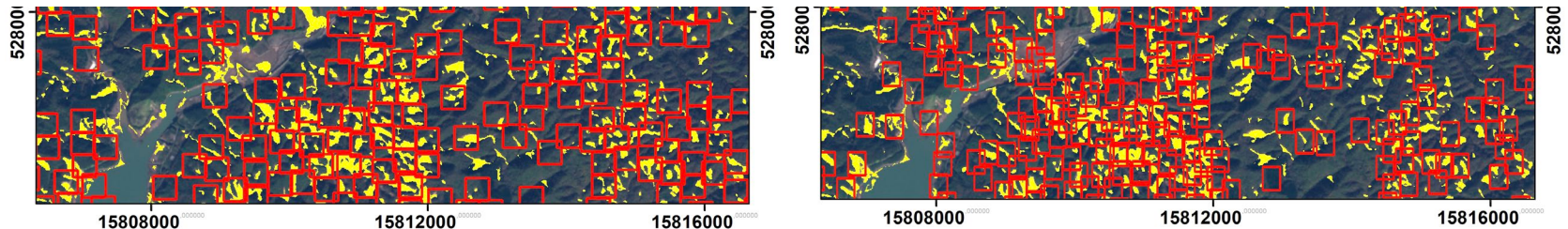
- El objetivo es comparar el SAR con el óptico.
- Estos mapas son importantes para organizar las operaciones de rescate. Velocidad de obtención y fiabilidad son clave.

Example of application – Co-Seismic landslide mapping at Hokkaido Earthquake

L. Nava, O. Monserrat and F. Catani, "Improving landslide detection on SAR data through Deep Learning," in IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, doi: 10.1109/LGRS.2021.3127073.

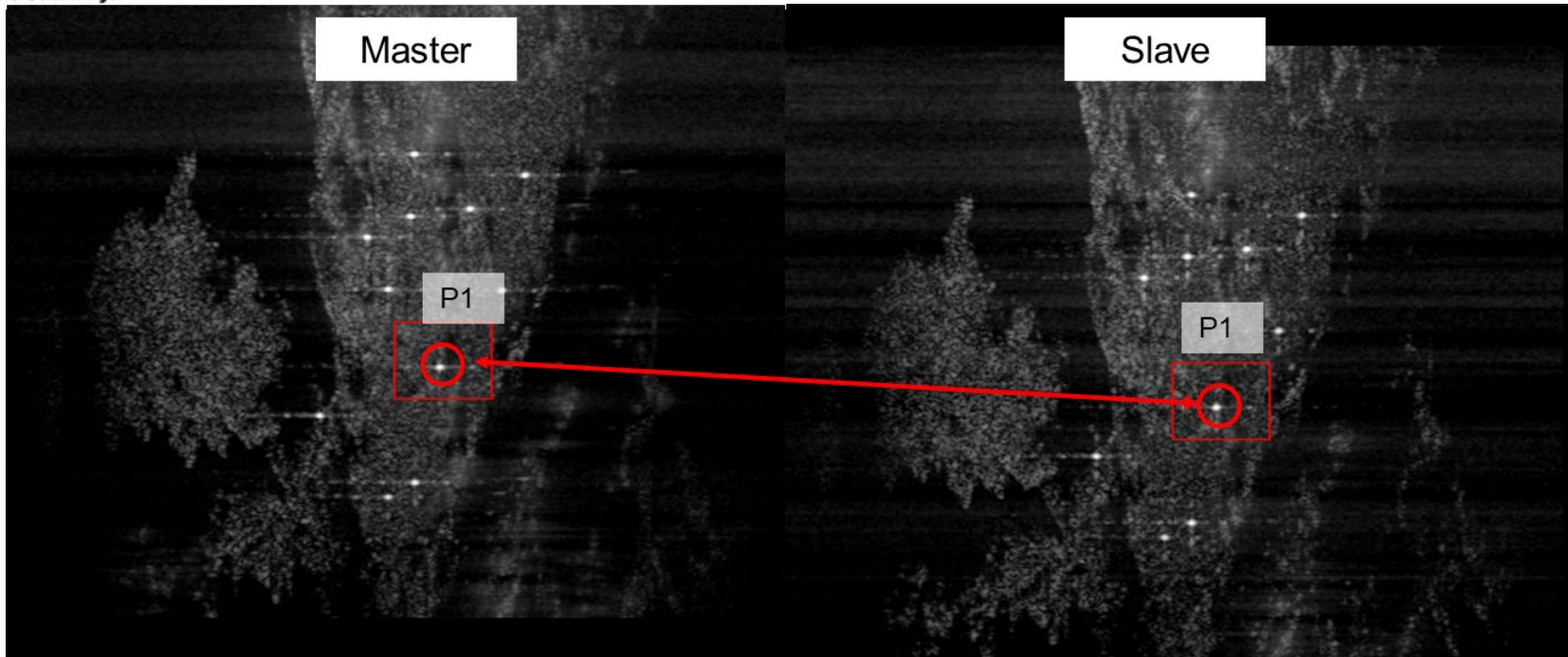
Mondini, A. C., Guzzetti, F., Chang, K. T., Monserrat, O., Martha, T. R., & Manconi, A. (2021). Landslide failures detection and mapping using Synthetic Aperture Radar: Past, present and future. Earth-Science Reviews, 103574.

Mondini, A. C., Santangelo, M., Rocchetti, M., Rossetto, E., Manconi, A., & Monserrat, O. (2019). Sentinel-1 SAR amplitude imagery for rapid landslide detection. Remote sensing, 11(7), 760.



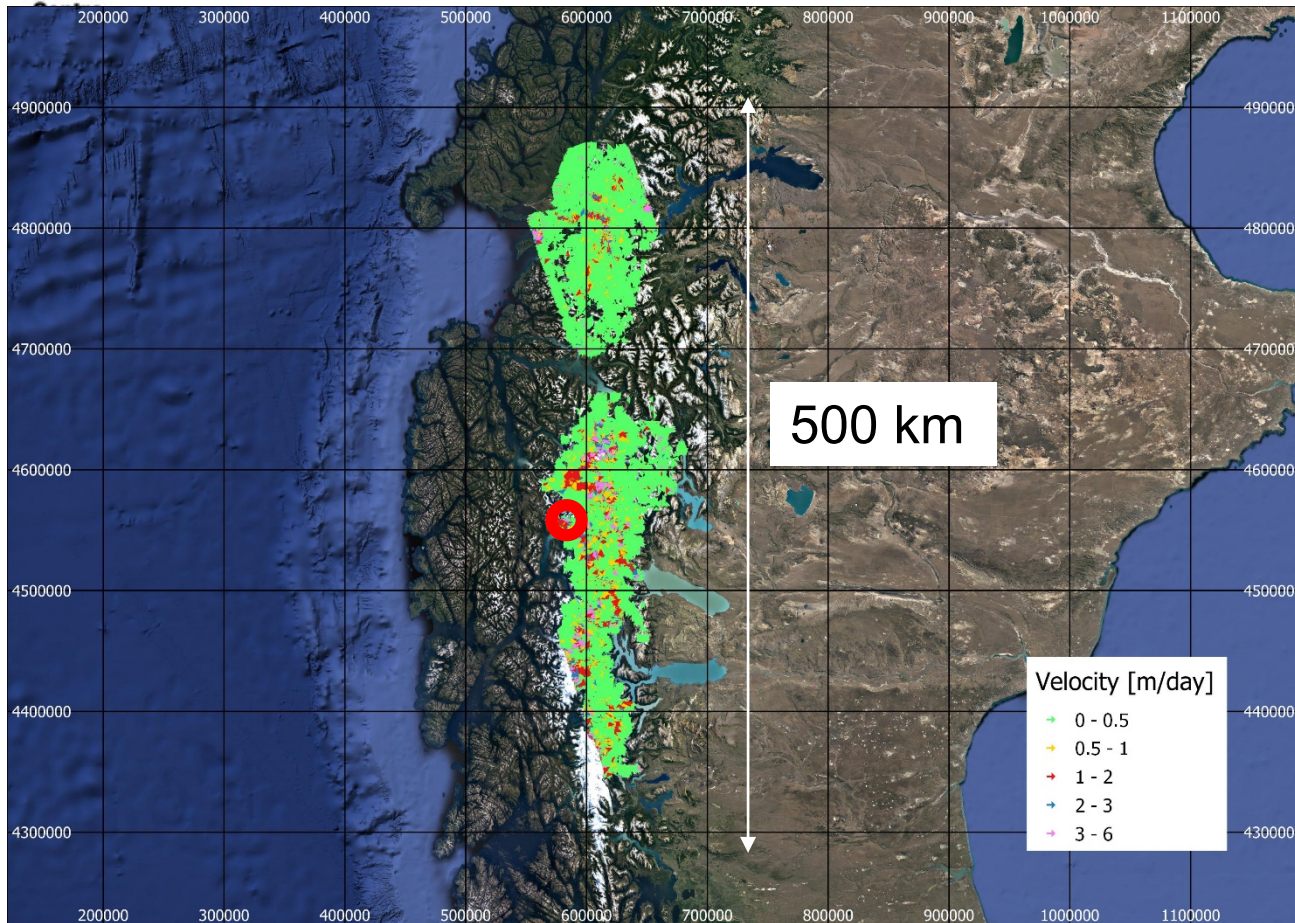
- Comparable a resultados obtenidos con óptico. .
- Resultados prometedores de cara a su uso operativo en la gestión de catástrofes.

Seguimiento de puntos para la medida de movimientos



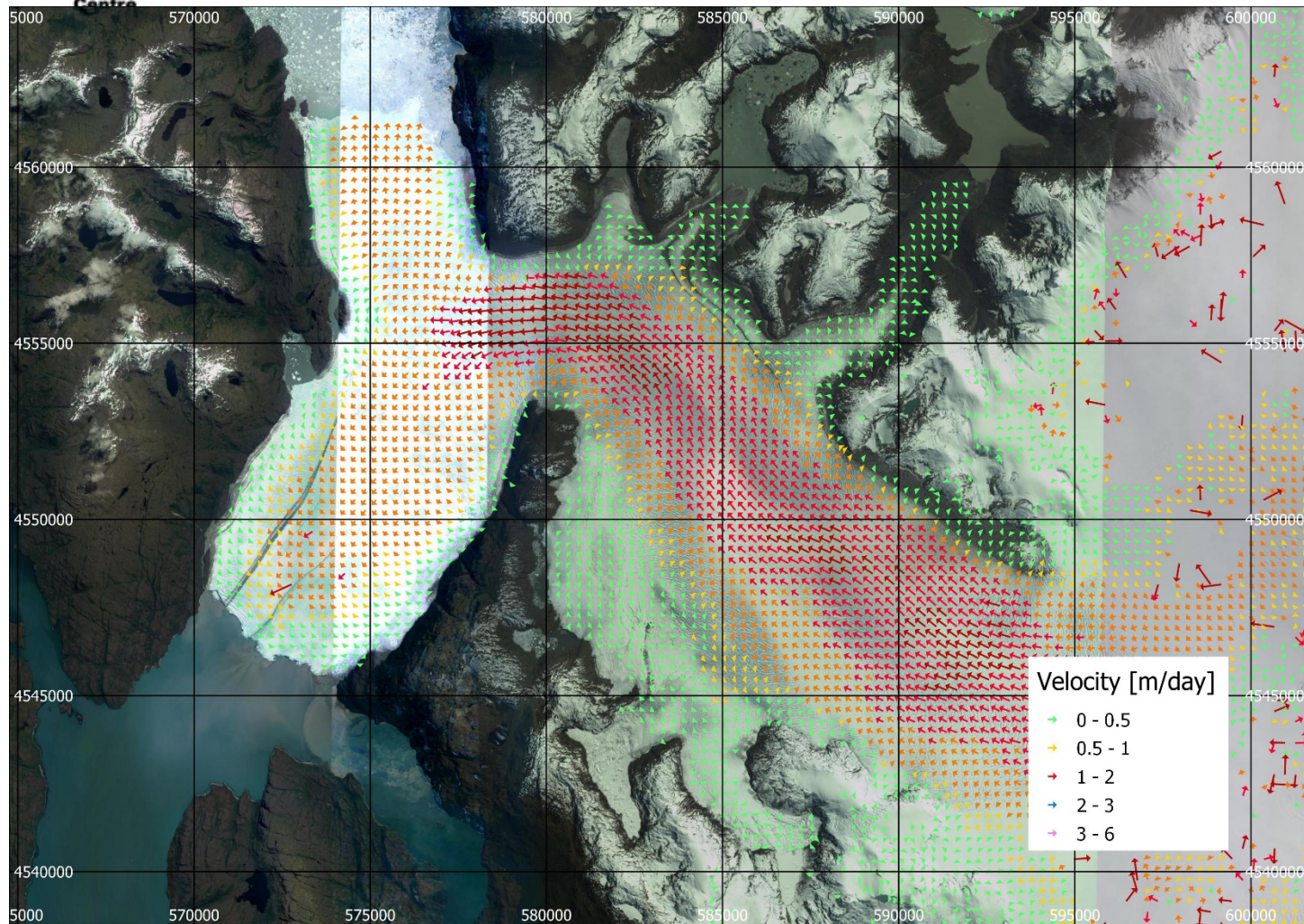
- Identificación de los mismos objetos en diferentes imágenes
- Estimación precisa del desplazamiento de estos objetos durante el periodo de adquisición.
- Precisión decimétrica/métrica.

Ejemplo – Campo de Hielo SUR



- Mapa de velocidad diaria media 2014-2021: área approx 500 x 100 km²
- Análisis de la cinemática.

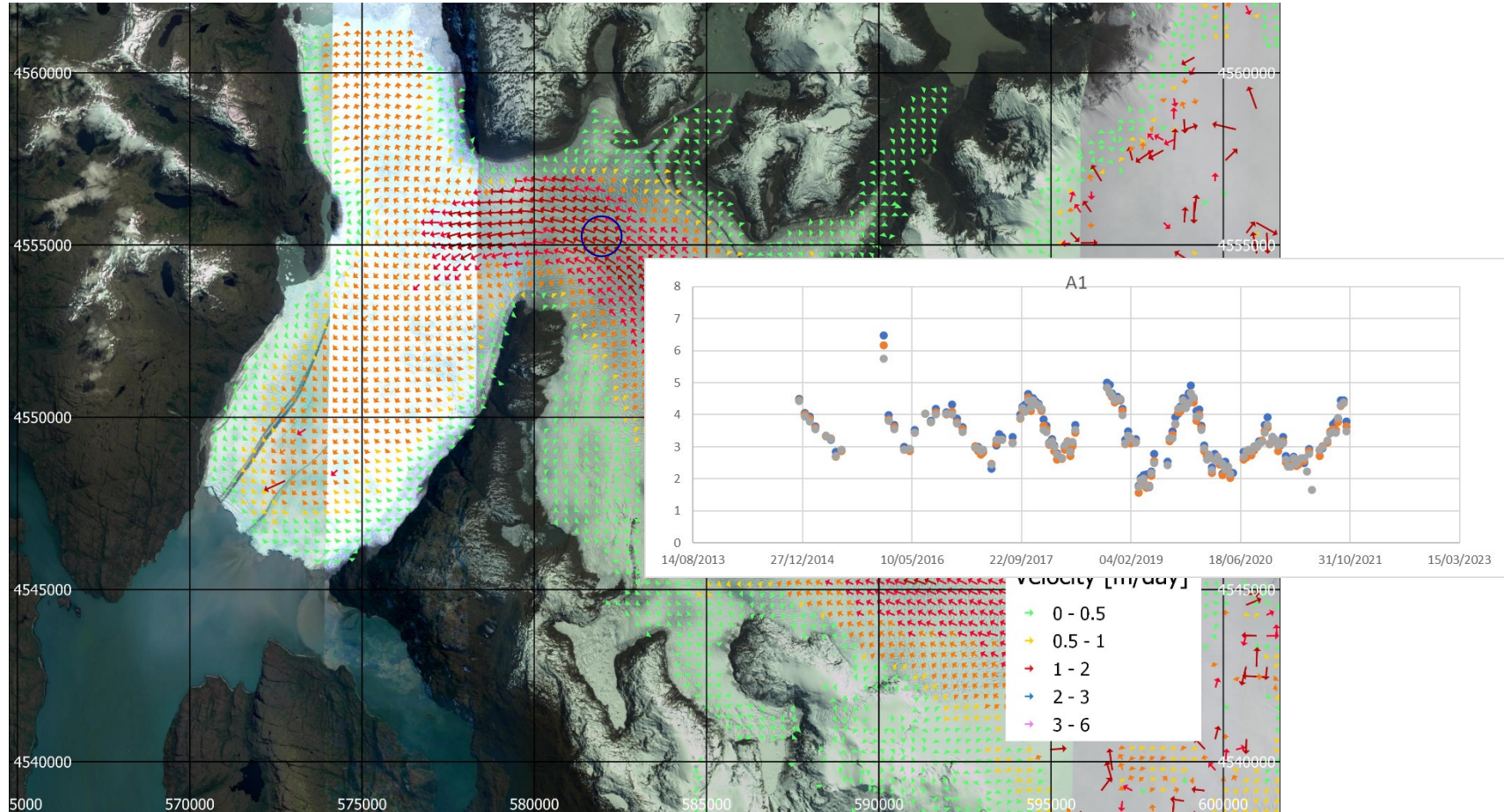
Ejemplo – Campo de Hielo SUR



- Desplazamiento de un glaciar simple

Ejemplo – Campo de Hielo SUR

Dematteis, N., Giordan, D., Crippa, B., & Monserrat, O. (2021). Fast local adaptive multiscale image matching algorithm for remote sensing image correlation. Computers & Geosciences, 104988.



- Análisis de series temporales.

Aplicaciones de la fase en la detección, mapeo y monitoreo de movimientos del terreno.

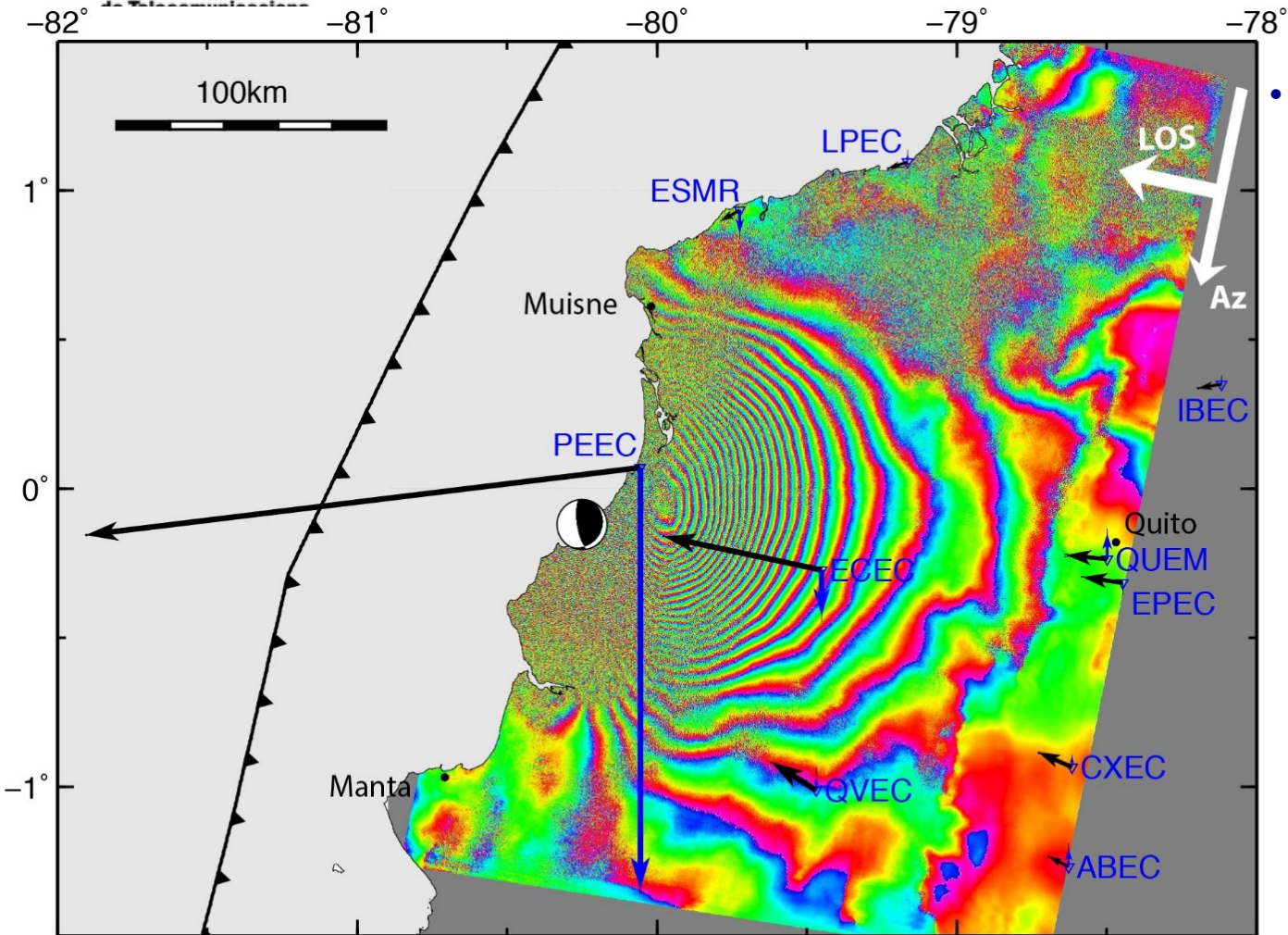
Posibles aplicaciones de la fase

$$\Delta\Phi_{D-Int} = \Delta\Phi_{Int} - \Phi_{Topo_Simu} = \Phi_{Mov} + \Phi_{Atm} + \Phi_{Res_Topo} + \Phi_{Noise}$$

Aplicaciones interferométricas

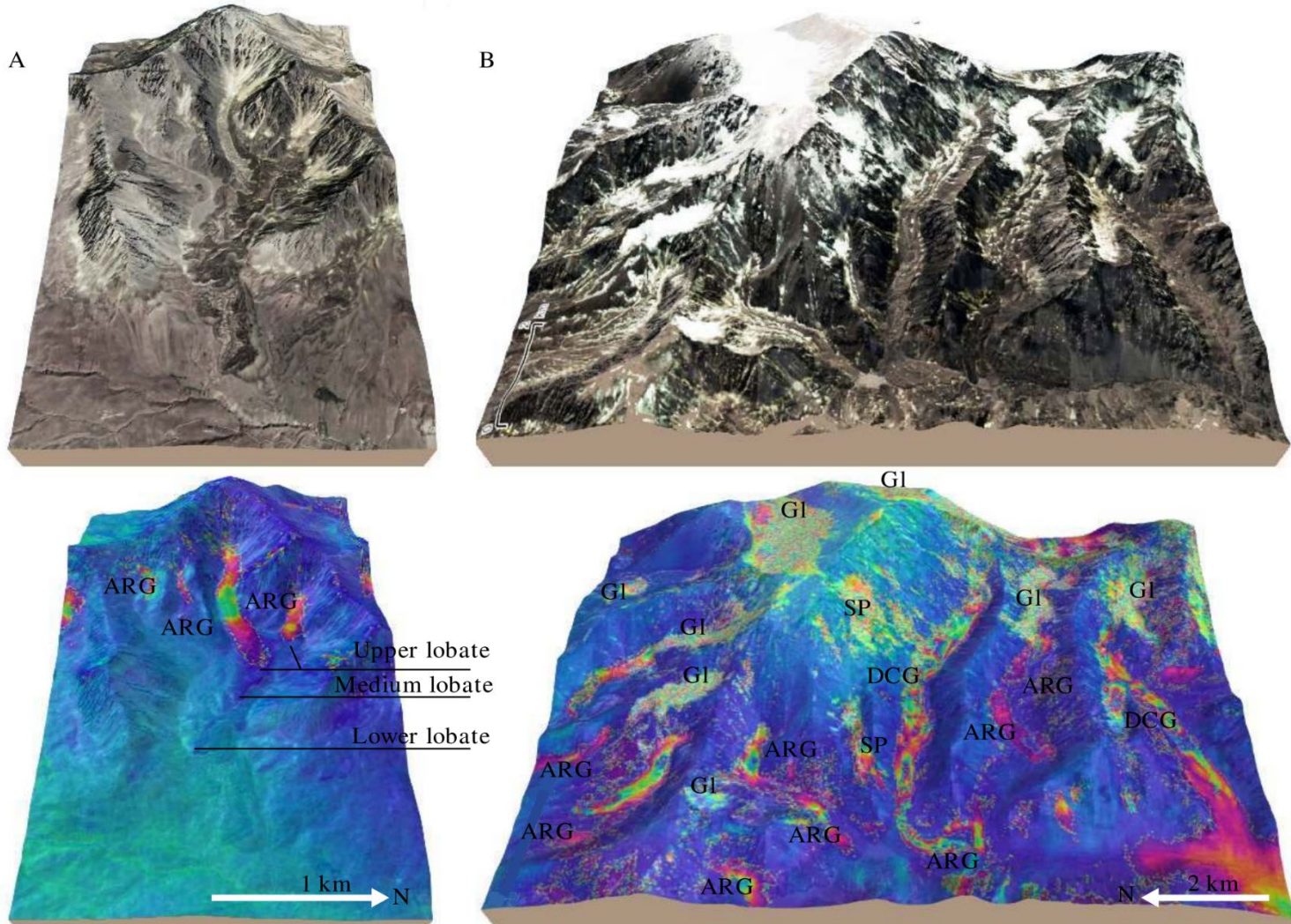
Aplicaciones A-DInSAR o MTInSAR

Aplicaciones InSAR – Terremotos



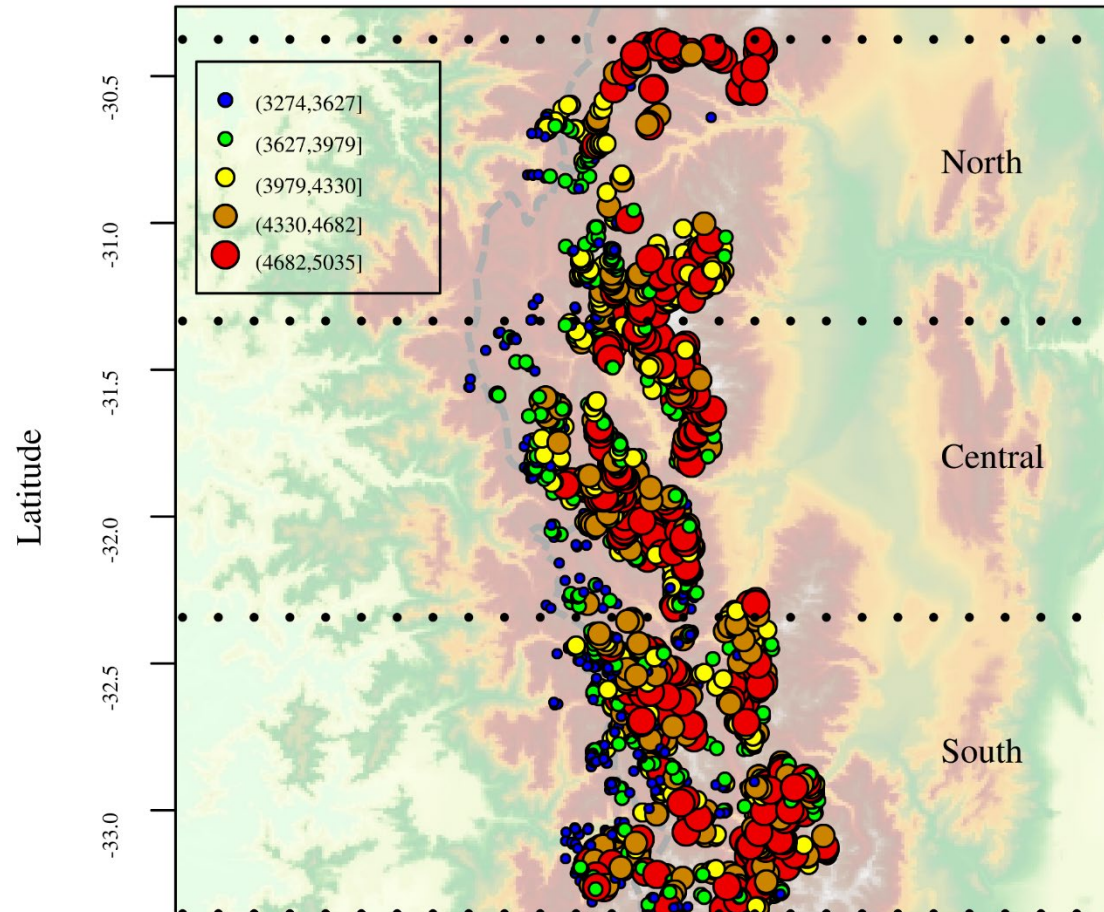
- InSAR contribuye a una mayor interpretación de un terremoto.

Aplicaciones InSAR – Geoformas activas



Ejemplo de Inventario de Glaciares de roca activos Andes Secos.

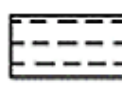
Elevation quintiles map

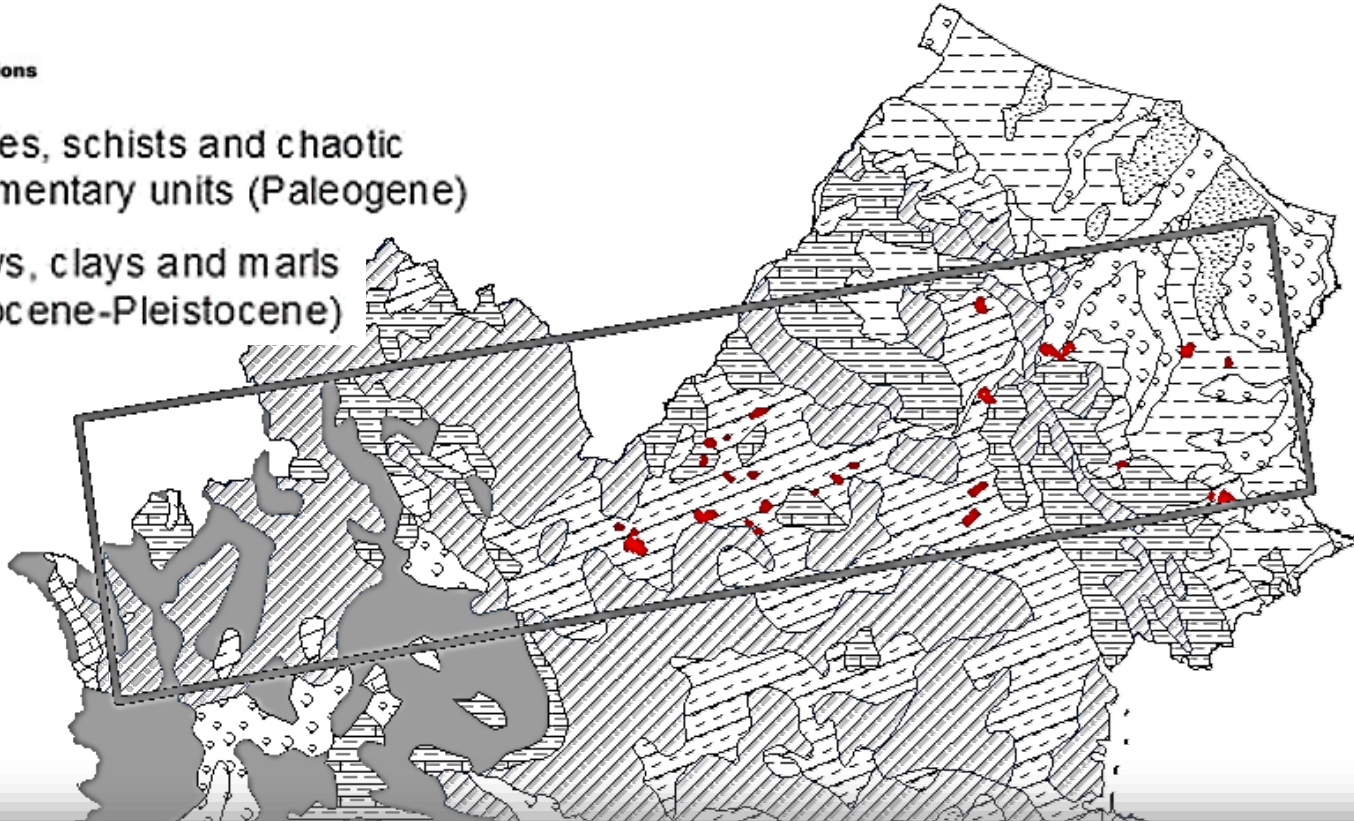


Villarroel, C., Tamburini Beliveau, G., Forte, A., Monserrat, O., & Morvillo, M. (2018). DInSAR for a Regional Inventory of Active Rock Glaciers in the Dry Andes Mountains of Argentina and Chile with Sentinel-1 Data. *Remote Sensing*, 10(10), 1588.

Ejemplo de Inventario de deslizamientos activos.

 Shales, schists and chaotic sedimentary units (Paleogene)

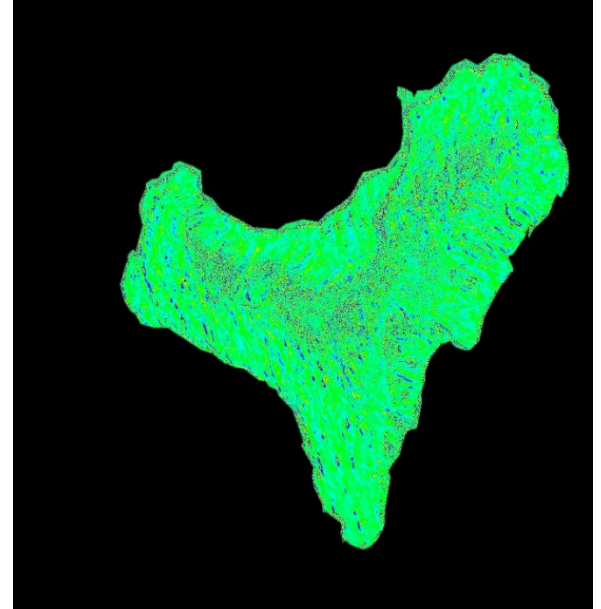
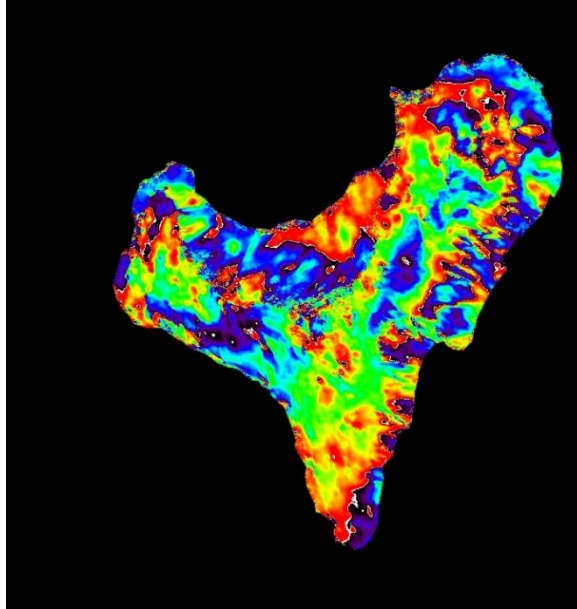
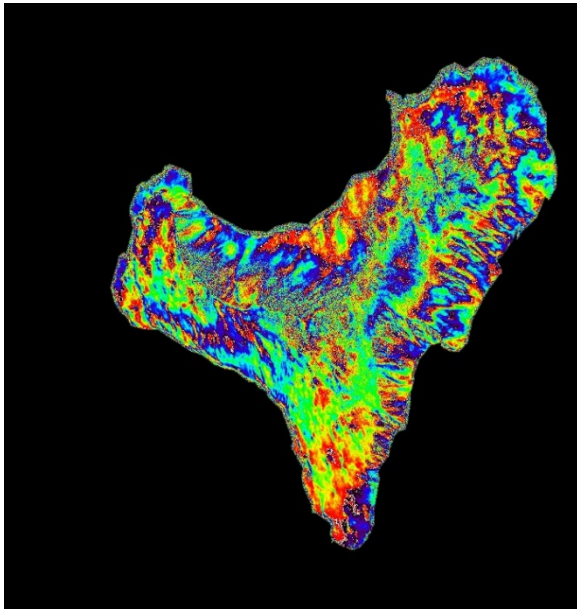
 Clays, clays and marls (Pliocene-Pleistocene)



	Detected deformation phenomena	Landslide polygons	Comparison with the existing inventory		
			NEW	UPDATED	CONFIRMED

Barra, A., Monserrat, O., Mazzanti, P., Esposito, C., Crosetto, M., Scarascia Mugnozza, G., (2016): First insights on the potential of Sentinel-1 for landslides detection, Geomatics, Natural Hazards and Risk, DOI:10.1080/19475705.2016.1171258

Aplicaciones InSAR – alerta temprana volcánica



- Puede contribuir significativamente en la comprensión de la actividad volcánica.

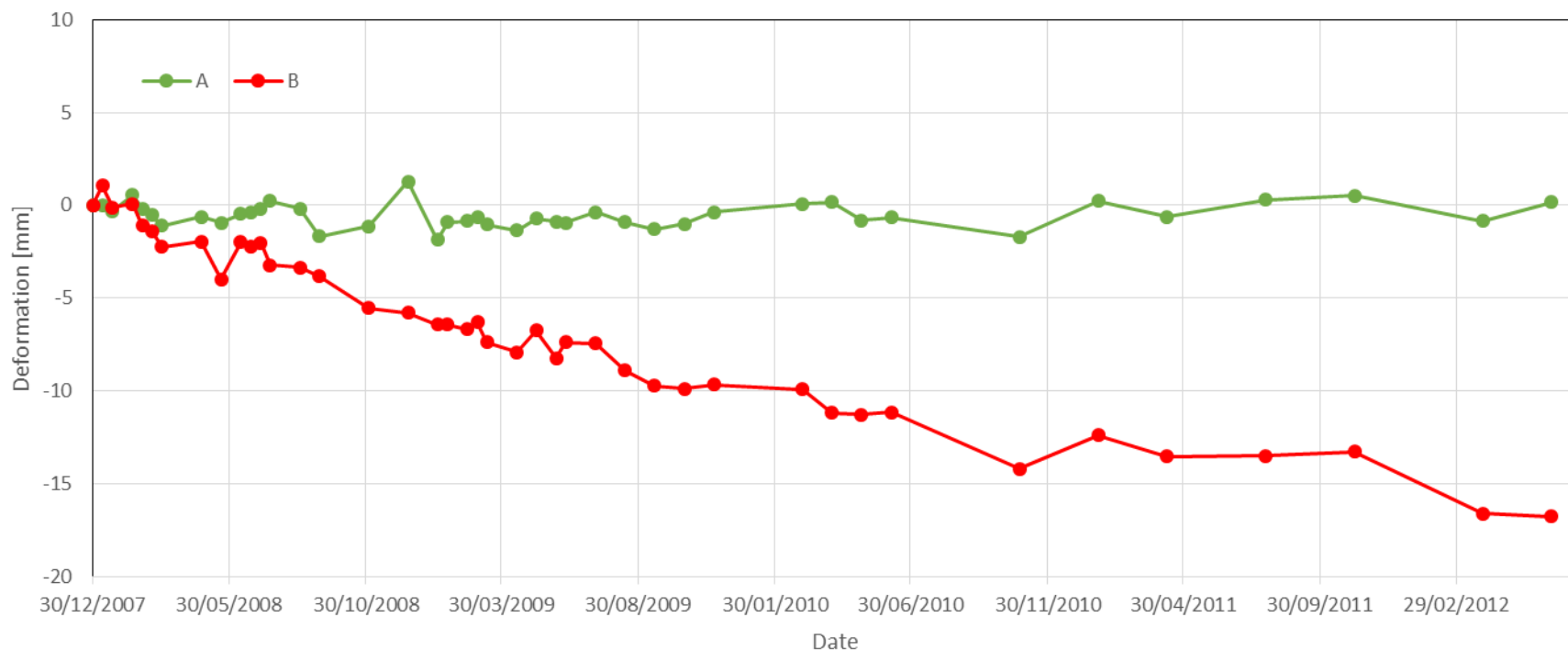
Aplicaciones Monitoreo : European Ground Motion Service

European Ground Motion Service

- El servicio European Ground Motion Service (EGMS) está enfocado a los movimientos del terreno, estructuras e infraestructuras utilizando datos adquiridos por Sentinel-1.
- Ofrecerá cobertura a nivel Europea. Su puesta en marcha está prevista para el primer semestre de 2022. Se planifica una actualización anual.
- Utiliza técnicas de teledetección que ofrecen una amplia cobertura del territorio con una resolución relativamente alta: análisis multi-escala.
- La técnica de base es la interferometría SAR.
- El mismo lugar puede ser revisitado regularmente obteniendo múltiples imágenes.
- El disponer de grandes conjuntos de imágenes en la misma área puede ser utilizado para obtener medidas precisas y robustas de los movimientos del terreno. E.g.:
 - Mejor selección de puntos.
 - Mejor mitigación de las componentes molestas: atmósfera, ruido etc.

European Ground Motion Service

Deformation Time Series



-10 [mm/yr] 10

EGMS: Productos

EGMS: Producto Básico (Level 2a)

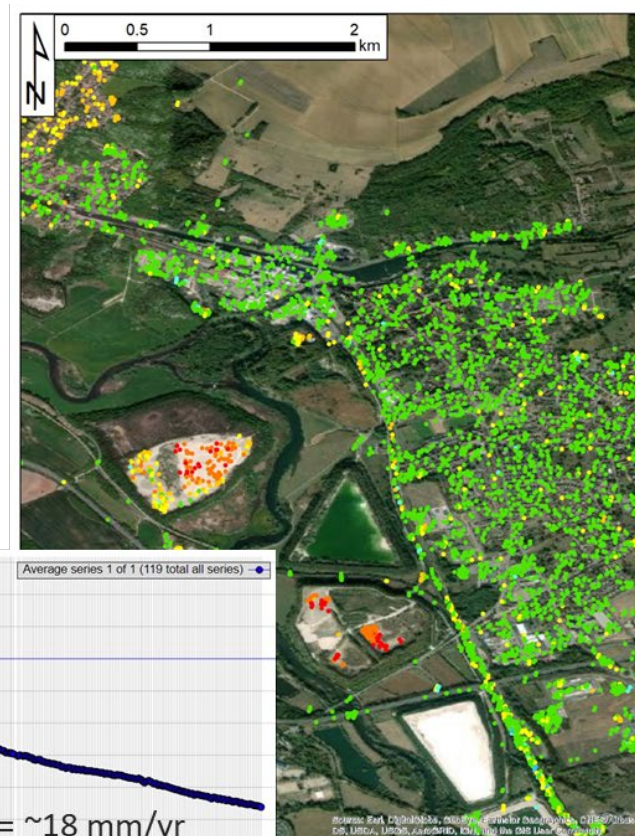
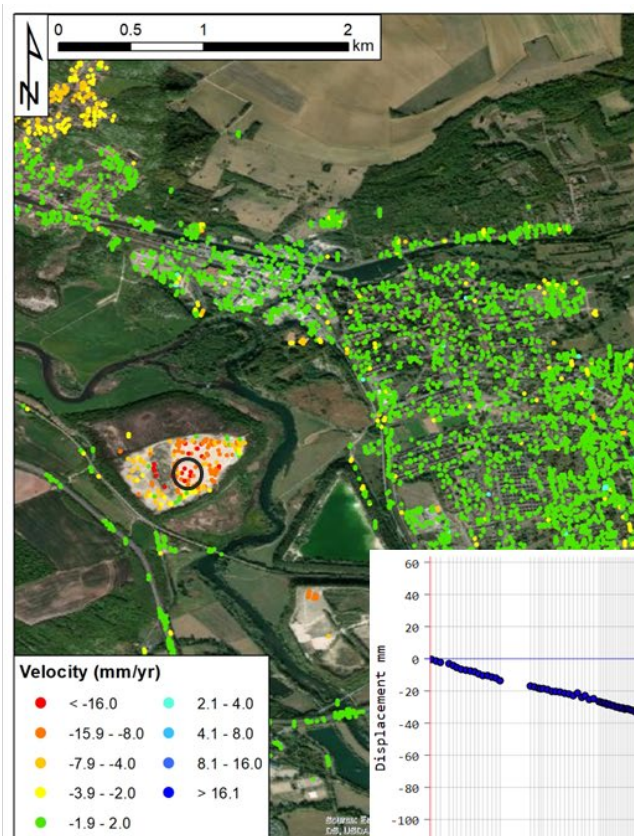
- El producto básico incluye mapas de desplazamiento y series temporales de desplazamiento en línea de vista. Es decir cambios en la distancia entre el sensor y cada objeto medido.
- Entregado de forma individual para cada uno de los frames originales de Sentinel-1.
- Cada frame tiene su punto de referencia.
- Se procesa a máxima resolución.
- La disponibilidad de medidas (cobertura y densidad espacial) depende del tipo de cobertura del suelo: e.g. en Chile tenemos un norte “muy denso” y un sur “muy complejo”

EGMS: Producto Calibrado (Level 2b)

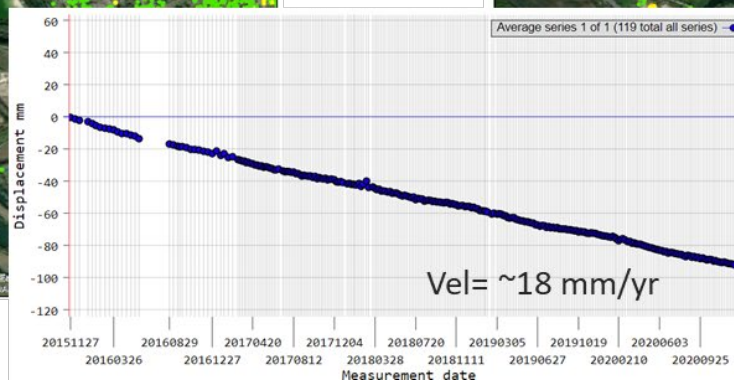
- Todos los frames del producto básico se unen en un solo producto.
- La calibración de los diferentes frames se realiza mediante su combinación con una red de referencia GNSS.
- La deformación sigue refiriéndose a la línea de vista.
- Uno de los principales retos es solventar la mala distribución de datos GNSS a nivel europeo.
- Este producto se genera a máxima resolución.

EGMS: Producte Calibrado (Level 2b)

EGMS data (L2b) – ascending orbit



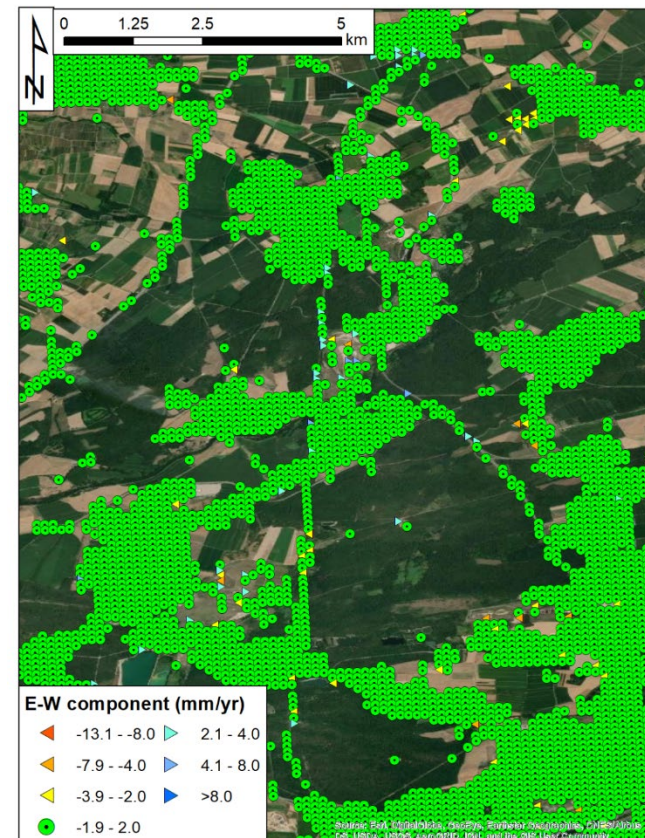
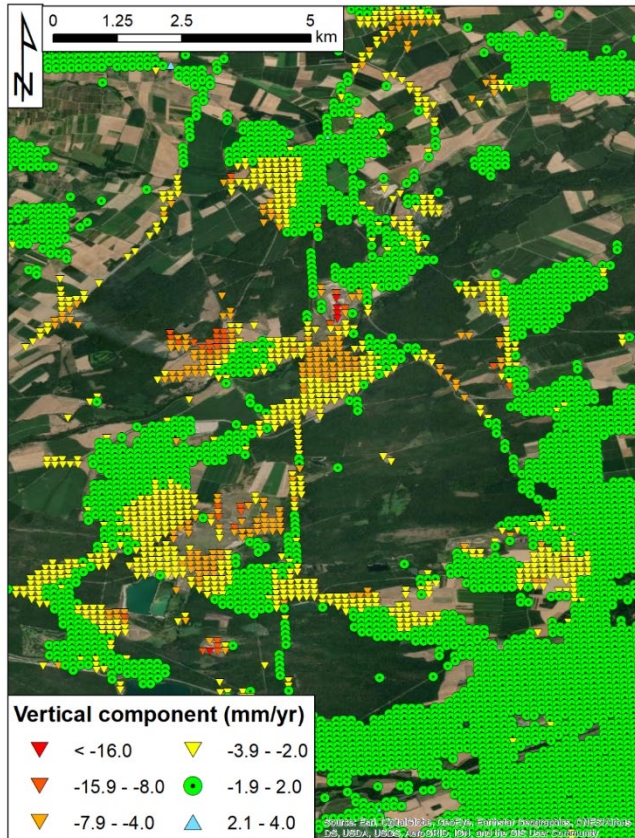
EGMS data (L2b) – descending orbit



EGMS: Ortho Producto (Nivel 3)

- Este producto es más avanzado, especialmente con respecto al nivel 2a.
- Incluye dos componentes diferentes de deformación: la horizontal este-oeste y la vertical.
- Se obtiene combinando, a una resolución media (100x100 metros) los resultados obtenidos con cada una de las trayectorias del satélite (ascendente y descendente).

EGMS: Ortho Producto (Nivel 3)



EGMS: para que?

- Prevención: detectar potenciales amenazas para zonas urbanas e infraestructuras.
- Planificación: evitar construir en zonas activas.
- Caracterización: mejor comprensión del fenómeno, factores desencadenantes, posibles medidas de mitigación.
- Alerta temprana: detectar de forma anticipada potenciales amenazas.
- Predicción: por demostrar.

Muchas gracias!!

Contacto: oriol.monserrat@cttc.cat
CTTC