



El programa Copernicus aplicado a la producción y gestión de la información geoespacial

El componente espacio Copernicus

Proyecto co-financiado por la Comisión Europea

Framework Partnership Agreement 275/G/GRO/COPE/17/10042

Specific Grant Agreement number: 2018/SI2.810140/04

Índice

Índice	2
1 El componente espacio dentro del programa Copernicus	3
1.1 Las misiones Sentinel.....	4
2 Sentinel 2.....	5
2.1 Características generales	5
2.2 Satélites y sensor.....	5
2.3 Cobertura geográfica.....	6
2.4 Resoluciones	6
2.4.1 Resolución temporal	7
2.4.2 Resolución espacial	8
2.4.3 Resolución radiométrica	9
2.4.4 Resolución espectral	9
2.4.5 Aplicaciones	9
2.5 Productos Sentinel 2.....	14
2.5.1 Unidades de referencia y de división espacial	15
2.5.2 Nivel-1C	17
2.5.3 Nivel-2A	18
2.5.4 Distribución de productos	20
3 Sentinel 1.....	26
3.1 Características generales	26
3.2 Satélites y sensor.....	26
3.2.1 Modos de adquisición	26
3.3 Escenarios de adquisición	29
3.3.1 Planificación	31
3.3.2 Resolución temporal y cobertura geográfica	33
3.4 Productos Sentinel 1.....	34
3.4.1 Single Look Complex (SLC)	35
3.4.2 Ground Range Detected.....	35
3.4.3 Distribución de productos	36
3.4.4 Nomenclatura de archivos Nivel-1 GRD	37
3.5 Aplicaciones.....	38
3.5.1 Supervisión marina	39
3.5.2 Supervisión de la Tierra.....	42
3.5.3 Gestión de emergencias	44
Referencias	47

1 El componente espacio dentro del programa Copernicus

Hace algunos años, la Comisión Europea a través de la Agencia Espacial Europea (ESA), compuesta por 22 Estados miembros, inició el Programa Copernicus para la Observación de la Tierra, convirtiéndose en el proyecto más ambicioso de la historia de la teledetección civil. Este programa se ha diseñado para suministrar información actualizada y de fácil acceso con el propósito de mejorar la gestión del medio ambiente, así como para comprender y mitigar los efectos del cambio climático.

El programa en su actualidad está compuesto de 3 componentes: el componente espacio, el componente servicios y el componente in-situ, tal y como se muestra en la Figura 1.

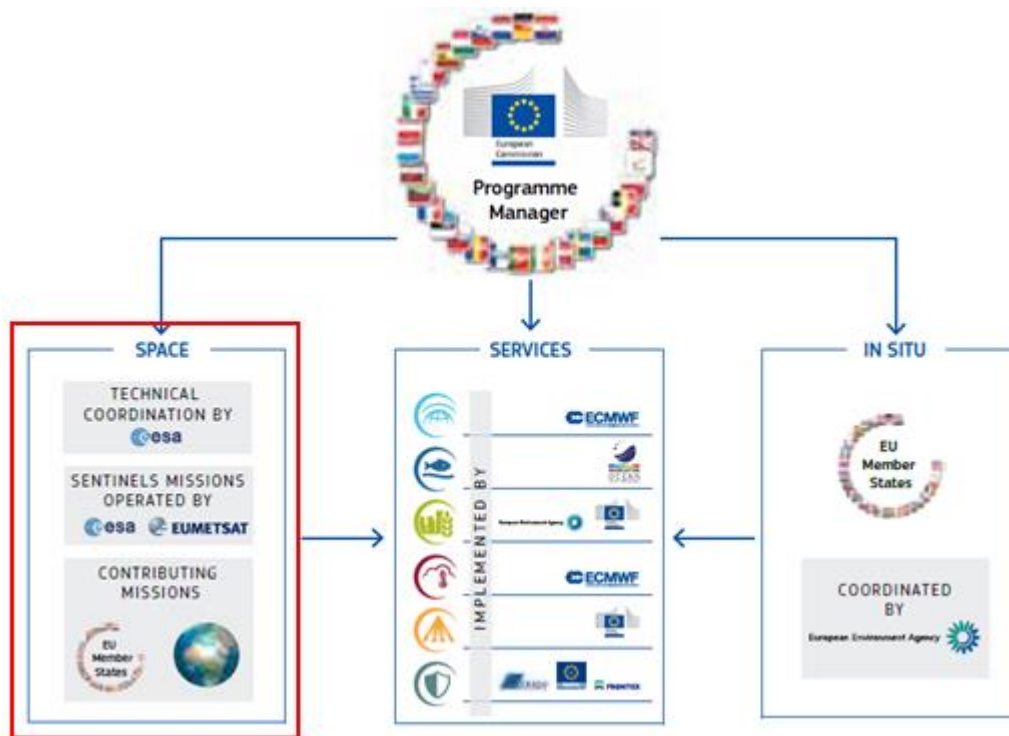


Figura 1 El componente espacio Copernicus y su encuadre dentro del programa

El componente espacio del programa está liderado técnicamente por la ESA, y a su vez se subdivide en 2 elementos, dependiendo de la propiedad de los satélites empleados en la captura de datos:

1. Las **misiones Sentinel**, operadas de manera conjunta por la propia ESA y la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT).
2. Las denominadas como **misiones contributivas**, las cuales incluyen misiones propias de la ESA, EUMETSAT y otros proveedores privados de datos que ponen a disposición de Copernicus una amplia variedad de información satelital.

En la actualidad existen alrededor de 30 misiones contributivas ya existentes o previstas, las cuales se incluyen en las siguientes categorías:

- Radars de apertura sintética (SAR) para observar los océanos tanto de día como de noche.
- Sensores ópticos para monitorizar actividades sobre el territorio y dinámicas oceánicas.
- Altimetros para medir el nivel del mar.
- Radiómetros para monitorizar la temperatura de las superficies emergidas y de los océanos.

- Espectrómetros para la medición de la calidad del aire.

La totalidad de misiones contributivas en la actualidad pueden consultarse en el enlace <https://spacedata.copernicus.eu/web/cscda/missions>.

Las capturas de las imágenes únicamente se realizarán sobre Europa con el objetivo de emplear los datos para diferentes aplicaciones incluidas en los servicios Copernicus.

El verdadero interés del componente espacio en el ámbito de este curso se centra en la constelación Sentinel, ya que ofrece datos libres y abiertos sobre cualquier región de la Tierra.

1.1 Las misiones Sentinel

El programa Copernicus tiene planificadas cinco misiones concretándose cada una en una familia de satélites:

- La misión Sentinel-1 para teledetección radar, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar>.
- La misión Sentinel-2 para teledetección óptica, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/Sentinel-2-msi>.
- La misión Sentinel-3 transportará varios instrumentos para llevar a cabo una larga serie de estudios de la Tierra y de sus océanos.
- Las misiones Sentinel-4 y Sentinel-5 medirán la composición de la atmósfera desde la órbita geoestacionaria y una órbita polar, respectivamente.

Este documento se centra en la descripción, conceptual y de uso, de las dos primeras misiones.

Todos los datos derivados de estas misiones están disponibles de forma **abierta** y **gratuita**, tanto para usos públicos, comerciales o científicos, con el objetivo de promover su plena utilización, y de esta forma favorecer los avances derivados de la investigación científica, el crecimiento en los mercados de EO y la creación de empleo. La política de distribución de productos Sentinel se basa en los siguientes criterios:

- Las licencias para el uso de los datos de Sentinel están disponibles de forma gratuita.
- Los datos de Sentinel se pondrán a disposición de los usuarios a través de un acceso en línea "genérico", de forma gratuita, sujeto a un proceso de registro de usuarios y aceptación de términos y condiciones genéricos.
- Los modos de acceso adicionales y la entrega de productos adicionales se adaptarán a las necesidades específicas del usuario y estarán sujetos a condiciones personalizadas.
- En caso de que se apliquen restricciones de seguridad, que afecten la disponibilidad o la puntualidad de los datos de Sentinel, se activarán los procedimientos operativos específicos.
- La distribución en línea a gran escala de los datos de Sentinel será posible dentro de las limitaciones técnicas del sistema (en particular, de la red de difusión) y depende de los niveles de financiación operacional.
- El acceso abierto y gratuito a los datos maximizará la utilización beneficiosa de los datos de Sentinel para la más amplia gama de aplicaciones y tiene la intención de estimular la adopción de información basada en los datos de observación de la Tierra para los usuarios finales.

2 Sentinel 2

En este apartado se realiza la descripción de la misión Sentinel 2 en base, principalmente, a dos documentos oficiales publicados por la ESA:

- a) *Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services* (ESA, 2012), documento accesible en la url: https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2_SP-1322_2.pdf.
- b) *Sentinel-2 User Handbook* (ESA, 2015), documento accesible en la url: https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook.

2.1 Características generales

La misión Sentinel 2 es el resultado de una colaboración estrecha entre la ESA, la Comisión Europea, y diferentes agentes del sector aeroespacial: la industria, los proveedores de servicios y los usuarios de datos. Ha sido diseñada y construida por un consorcio de 60 compañías liderado por Airbus Defence and Space, con el apoyo de la agencia espacial francesa CNES para optimizar la calidad de las imágenes, y del Centro Aeroespacial Alemán DLR para mejorar la recuperación de datos mediante comunicaciones ópticas.

La misión Sentinel-2 se basa en una constelación de **dos satélites idénticos** situados en la misma órbita polar, con un desfase de 180° entre sí, para optimizar la cobertura. Está diseñada para proporcionar una alta frecuencia de revisita de 5 días en el Ecuador. El satélite Sentinel-2A se lanzó al espacio el 23 de junio de 2015 y el Sentinel-2B el 7 de marzo de 2017.

La cobertura de la misión (entre las latitudes 56° sur y 84 ° norte), junto con el gran campo de visión, que abarca un ancho de franja orbital de 290 km, y su alta frecuencia de revisita, de 10 días en el ecuador con un satélite y 5 días con dos satélites en condiciones sin nubes, facilitan el seguimiento y supervisión de la variabilidad de las condiciones de la superficie terrestre a partir de la producción de información geoespacial a escala local, regional, nacional e internacional, cubriendo la superficie terrestre, grandes islas y aguas costeras.

Cada uno de los satélites gemelos está equipado con un instrumento óptico multiespectral (MSI, *Multispectral Instrument*) que permite capturar datos de 13 bandas espectrales: cuatro bandas con una resolución espectral de 10 m, seis bandas de 20 m y tres bandas de 60 m. Estas bandas proporcionan datos para la clasificación de coberturas, cambios de la Tierra, correcciones atmosféricas y separación de nubes / nieve.

Los datos están diseñados para ser modificados y adaptados a usuarios finales interesados en aplicaciones en áreas temáticas tales como: la ordenación del territorio, la supervisión de bosques y de vegetación, seguimiento global de evolución de cultivos y de recursos naturales, como el carbono, y de la cobertura de aguas.

La misión Sentinel-2, con su cámara multiespectral y su amplia cobertura, ofrece no sólo continuidad, sino que amplía las capacidades de las misiones SPOT, francesa, y Landsat, estadounidense.

2.2 Satélites y sensor

Cada uno de los satélites gemelos Sentinel-2 pesa aproximadamente 1,2 toneladas. Ambos satélites, Sentinel-2A y Sentinel-2B, fueron puestos en órbita por el lanzador europeo VEGA, el 23 de junio de 2015 y el 7 de marzo de 2017 respectivamente. La vida útil de cada satélite se estima en 7.25 años.

La órbita de la misión Sentinel-2 está sincronizada con el Sol (es de tipo heliosíncrona), permitiendo garantizar que el ángulo de la luz solar sobre la superficie de la Tierra se mantenga aproximadamente constante. Además de las pequeñas variaciones estacionales, el anclaje de la órbita de los satélites al ángulo del Sol minimiza el impacto potencial de las sombras y los cambios en los niveles de iluminación en el suelo,

lo que contribuye a facilitar la coherencia en el tiempo, lo que es imprescindible en aplicaciones que hagan uso de series temporales de datos.



Figura 2 Vista de la plataforma satelital Sentinel 2 desplegada. Fuente: EADS Astrium

Sentinel-2A y Sentinel-2B ocupan la misma órbita, con un desfase de 180°. La altitud media de la órbita sobre la superficie terrestre es de 786 km. La inclinación de la órbita es de 98,62° y la Hora Solar Local Media (MLST, Mean Local Solar Time) en el nodo descendente se produce a las 10:30 (am). Este valor de MLST se eligió como un compromiso entre un nivel adecuado de iluminación solar y la minimización de la cobertura potencial de nubes. El valor de MLST es cercano al tiempo de paso local de Landsat y casi idéntico al de SPOT-5, lo que facilita la integración de los datos de Sentinel-2 con estas misiones, existentes e históricas, y contribuye a la recopilación de datos de series temporales.

El archivo de datos KML que informa sobre la posición de las órbitas relativas Sentinel-2A y Sentinel-2B para un ciclo completo (143 órbitas) con un paso de tiempo de 10 segundos está disponible en formato kml en el enlace [Sentinel-2 Relative Orbits](#).

2.3 Cobertura geográfica

Los satélites Sentinel-2 proporcionan cobertura sistemática de áreas terrestres y costeras en una banda de latitud que se extiende desde 56° Sur (Isla Hornos, Cabo de Hornos, América del Sur) hasta 83° Norte (sobre Groenlandia). La recolección de datos dentro de esta región incluye:

- Todas las aguas costeras hasta 20 km de la orilla.
- Todas las islas con superficie mayor a 100 km².
- Todas las islas de la Unión Europea.
- El mar Mediterráneo.
- Todos los mares cerrados (por ejemplo, el mar Caspio).

Además, el escenario de observación de Sentinel-2 incluye solicitudes de Servicios de Copernicus (por ejemplo la Antártida o la Bahía de Baffin).

2.4 Resoluciones

En este apartado se especifican todas las resoluciones de la misión Sentinel-2: temporal, radiométrica, espectral y espacial.

2.4.1 Resolución temporal

La resolución temporal de cada satélite de la misión Sentinel-2 por separado es de 10 días, duplicándose la frecuencia al estar los dos operativos, alcanzándose por tanto una resolución temporal de 5 días bajo las mismas condiciones de iluminación, salvo para las regiones únicamente observadas por un satélite, tal y como se indica en la Figura 3.

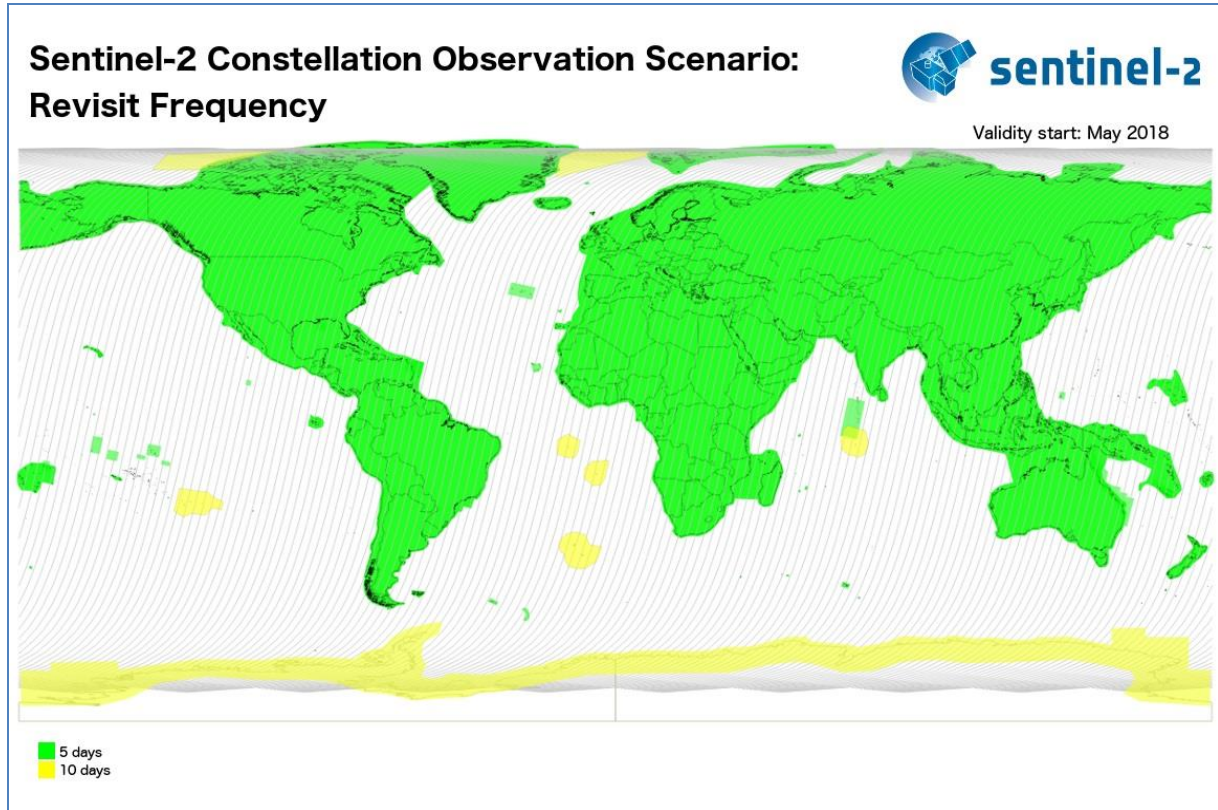


Figura 3 Cobertura y tiempo de revisita previsto para las adquisiciones MSI de Sentinel 2

En la Figura 17 muestra las regiones donde se incrementa la frecuencia gracias a la superposición entre las franjas de las órbitas adyacentes, si bien cambian las condiciones de la geometría de observación.

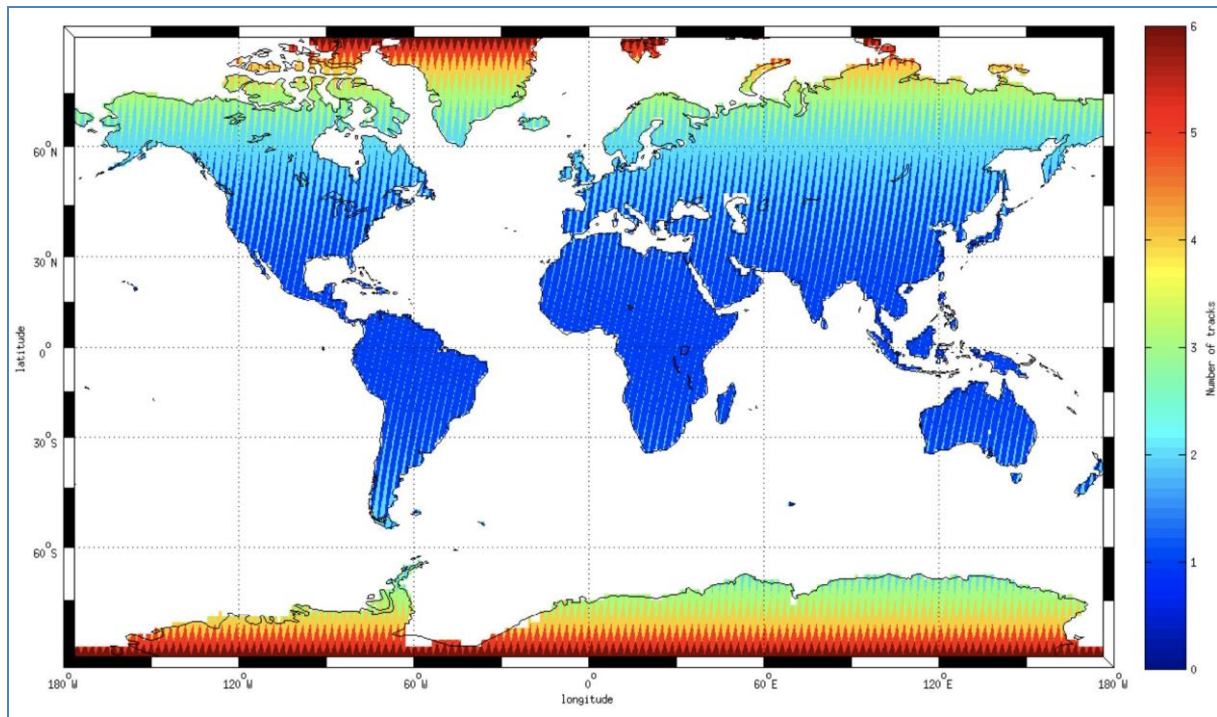


Figura 4 Frecuencia de revisita geométrica debido a la superposición entre las órbitas adyacentes. Fuente: ESA & Pascal Lacroix

2.4.2 Resolución espacial

La resolución espacial de cada una de las bandas y que se resume en las siguientes líneas y en la Figura 5:

- 4 bandas a **10 m**: banda 2, banda 3, banda 4 y banda 8.
- 6 bandas a **20 m**: banda 5, banda 6, banda 7, banda 8a, banda 11 y banda 12.
- 3 bandas a **60 m**: banda 1, banda 9 y banda 10.

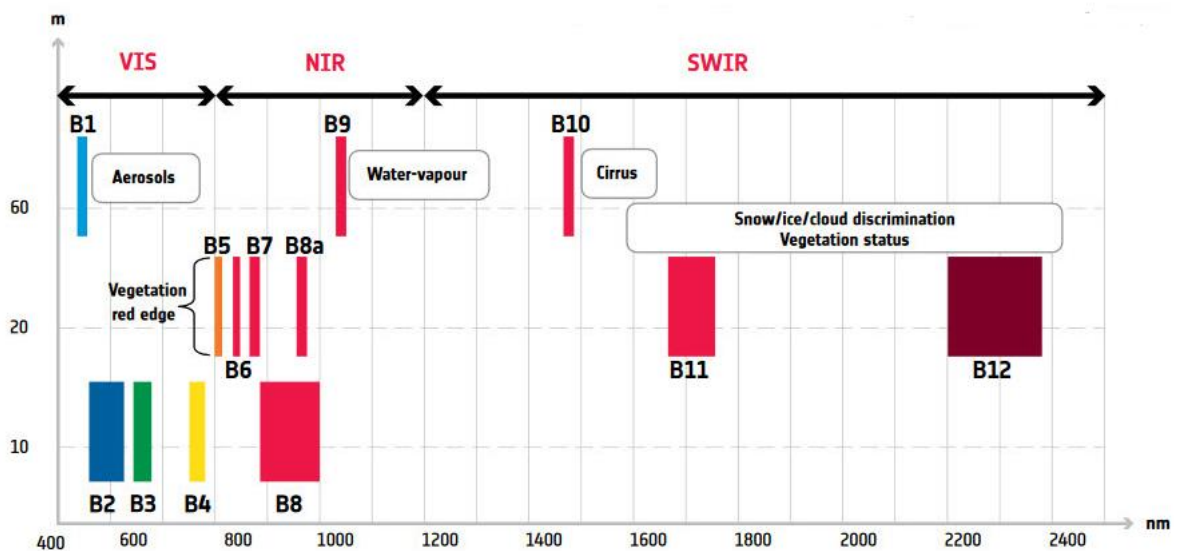


Figura 5 Bandas del satélite Sentinel 2. Fuente: ESA

2.4.3 Resolución radiométrica

La resolución radiométrica del instrumento MSI es de 12 bits, lo que permite adquirir la imagen en un rango de 0 a 4095 valores de intensidad de luz potencial.

2.4.4 Resolución espectral

Los datos de Sentinel-2 se adquieren en 13 bandas espectrales tal y como se muestra en la Tabla 1.

Banda Sentinel 2	Longitud de onda central (µm)	Resolución espacial (m)
Banda 1 – coastal aerosol	0.443	60
Banda 2 - azul	0.490	10
Banda 3 – verde	0.560	10
Banda 4 – rojo	0.665	10
Banda 5 – Vegetation Red Edge	0.705	20
Banda 6 – Vegetation Red Edge	0.740	20
Banda 7 – Vegetation Red Edge	0.783	20
Banda 8 – NIR	0.842	10
Banda 8A – Vegetation Red Edge	0.865	20
Banda 9 – Vapor de agua	0.945	60
Banda 10 – SWIR – cirros	1.375	60
Banda 11 – SWIR	1.610	20
Banda 12 - SWIR	2.190	20

Tabla 1 Bandas de los satélites Sentinel 2

2.4.5 Aplicaciones

En este apartado se describe la aportación de la misión Sentinel-2 a varios servicios del programa Copernicus y se describen algunas aplicaciones realizadas en España.

A través de la información suministrada por sus satélites, Sentinel-2 aporta información útil para prácticas agrícolas y forestales, la gestión de la seguridad alimentaria, la supervisión del estado de la superficie terrestre y control de cambios, alertas producidas por la contaminación en lagos y aguas costeras, soporte en tareas de ayuda humanitaria y gestión de consecuencias de desastres naturales, tales como inundaciones, erupciones volcánicas y deslizamientos.

- a) **Gestión del territorio:** Los datos adquiridos, la amplia cobertura de la misión y la alta frecuencia de revisita de Sentinel-2 permiten el suministro de información geográfica a escala local, regional, nacional e internacional. Estos datos son complementarios a los aportados por otras misiones y están diseñados para ser modificados y adaptados por usuarios interesados en áreas temáticas tales como:
 - **Supervisión del recurso agua:** La utilización de datos de observación de la Tierra de las misiones Sentinel-2 y su procesamiento rápido de productos derivados permite obtener resultados rápidos de una forma muy sencilla. La alta resolución temporal de los dos satélites Sentinel-2A y Sentinel-2B permite inspeccionar posibles incidencias cuando el cultivo está implantado, incluso con evidencias de haber sido regado recientemente.

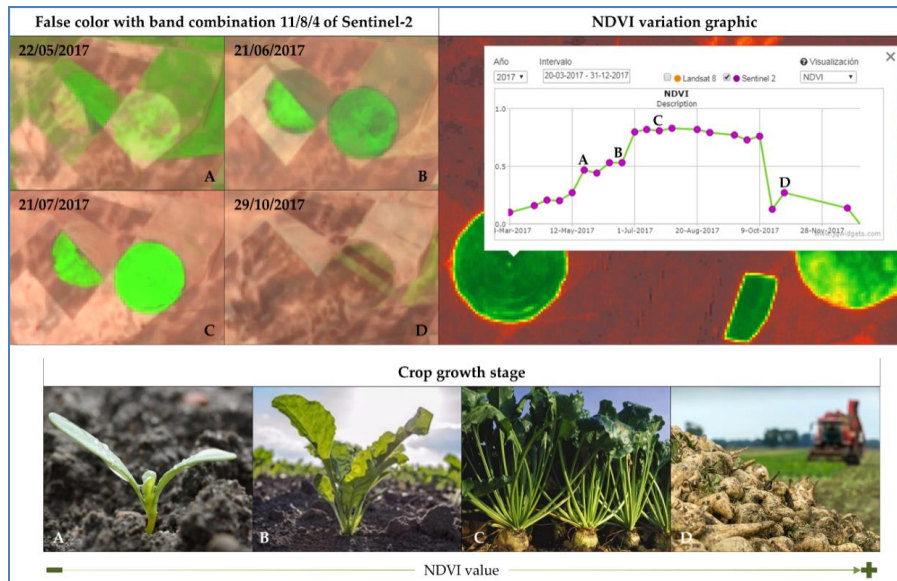


Figura 6 Imágenes falso color de Sentinel-2 (combinación de bandas 11, 8 y 4) y una gráfica de la variación de los valores de $NDVI_{TOA}$ para diferentes fechas. Este gráfico representa la evolución en el crecimiento de un cultivo de remolacha azucarera, incluidas las etapas fenológicas. Fuente: Instituto de Desarrollo Regional, Castilla la Mancha, España

- **Clasificación de cultivos:** El uso de imágenes Sentinel-2 para una clasificación que utiliza un algoritmo de aprendizaje automático con otras capas de información accesoria, como son datos LIDAR, la elevación del terreno, la pendiente, la pluviometría media anual y el uso del suelo clasificado en un mapa parcelario. Para el aprendizaje se utilizan multitud de bases de datos con información puntual de ocupación del suelo.
- **Agricultura de precisión:** Un interesante campo de aplicación que se ha visto favorecido por la disponibilidad de productos Sentinel-2 está relacionado con la mejora de las técnicas de Agricultura de Precisión, para supervisión de la evolución del crecimiento de diferentes tipos de cultivos en grandes explotaciones a lo largo de la campaña agrícola. La resolución temporal combinada de los dos satélites, junto con su resolución espacial y espectral, hacen que los productos Sentinel-2 sean muy adecuados para este tipo de aplicaciones.

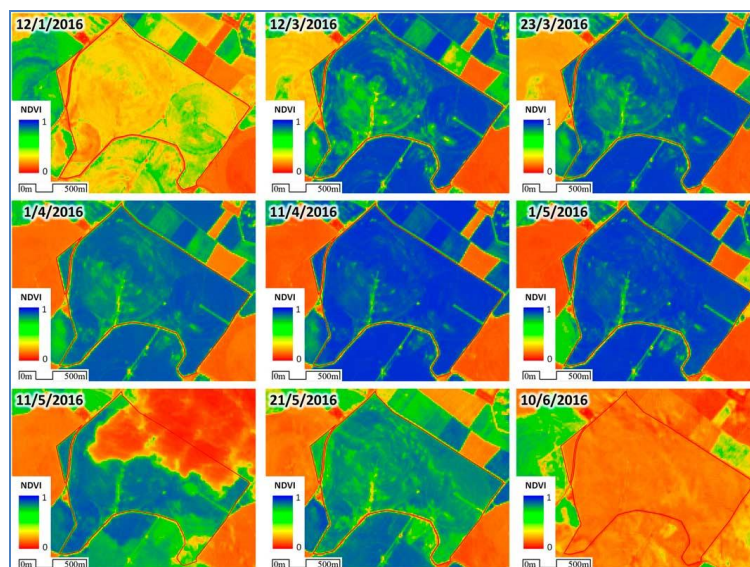


Figura 7 Evolución de NDVI a lo largo de una campaña a partir de Sentinel 2. Fuente: Instituto de Desarrollo Regional, Castilla la Mancha, España

En este caso, a partir del cálculo de determinados índices de vegetación derivados de las imágenes de satélite se pretende generar mapas que se correlacionen con el rendimiento real.

Disponer de mapas de vigor cada pocos días le daría al agricultor la oportunidad de seguir el desarrollo del cultivo, tomar decisiones sobre su gestión (riego, fertilización y protección) y disponer de una retroalimentación de las operaciones realizadas y las predicciones de rendimiento.

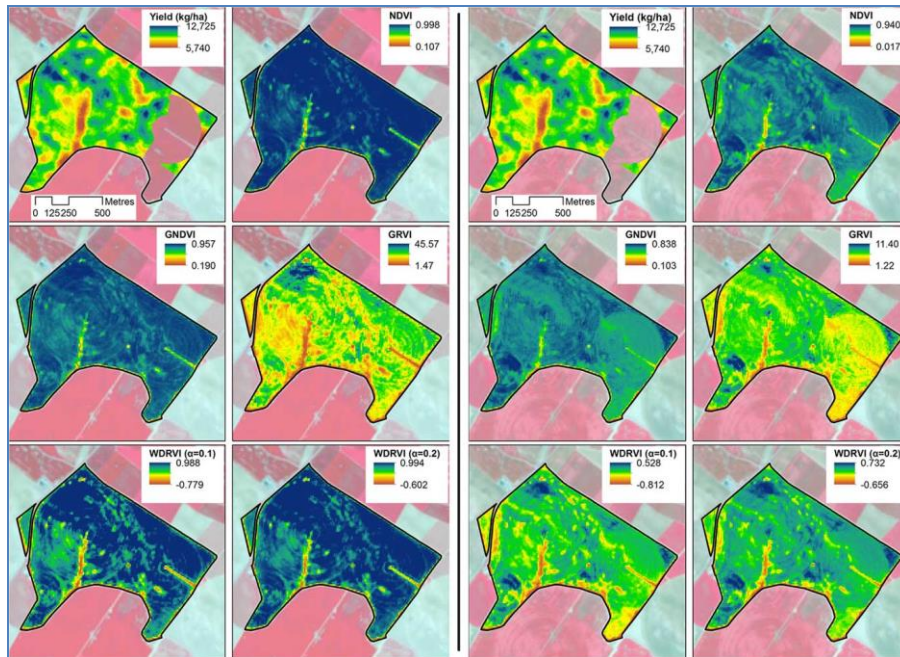


Figura 8 Comparación del rendimiento de un cultivo de cebada y distintos índices de vegetación (NDVI, WDRVI, GRVI y GNDVI) en dos fechas diferentes. Fuente: Instituto de Desarrollo Regional, Castilla la Mancha, España

- **Supervisión de bosques y vegetación:** Los incendios forestales son una gran amenaza para el medio ambiente, y esta amenaza se ve agravada por diferentes factores climáticos y socioeconómicos. La disponibilidad de mapas detallados y actualizados periódicamente, hace que las tareas de prevención y la extinción sean más efectivas, especialmente en tiempos de peligro bajo y medio donde los dispositivos no están totalmente operacionales. Esta cartografía es una herramienta fundamental para ser utilizada en la toma de decisiones presente en la planificación de tratamientos silvícolas preventivos, la distribución de medios de extinción, la construcción de infraestructuras, etc.

En este sentido, la obtención de una cartografía de la probabilidad de ignición, entendiendo como tal la probabilidad de que una pavesa o brasa al caer sobre el combustible ligero muerto pueda inflamarlo, es muy importante. A tal efecto, es preciso disponer de un mapa de modelos de combustible, que pueden ser obtenidos partir del uso combinado de imágenes Sentinel-2 y datos LiDAR. Las imágenes multispectrales satelitales se utilizan para el cálculo de una clasificación supervisada de la vegetación actual mientras que la información LiDAR es utilizada para caracterizar geométricamente las masas arbóreas. Aplicando algoritmos de decisión a partir de la información anterior, se obtienen los modelos de combustión.

- Otras aplicaciones incluyen la **ordenación del territorio**, la **supervisión agroambiental** y la **supervisión de recursos naturales** tales como el carbono terrestre.

En definitiva, los productos de alto nivel generados por los usuarios a partir de los datos de Sentinel-2 proporcionan una amplia gama de parámetros que caracterizan la vegetación, el presupuesto energético y el ciclo del agua. Los datos adquiridos permiten la supervisión sistemática y el cartografiado de variaciones en las propiedades geofísicas globales resultantes de la presión humana y la variabilidad estacional.

- b) **Gestión de emergencias:** La respuesta a emergencias supone un reto a la hora de gestionar los recursos, tanto en los momentos inmediatamente posteriores al suceso, como en el proceso de recuperación y valoración de los daños. La cartografía de emergencias se define según el *International Working Group on Satellite-based Emergency Mapping* como “la creación de mapas, productos de geoinformación y análisis espaciales dedicados a dar una visión de la situación de la emergencia e información de crisis inmediata para la respuesta mediante la extracción de información geográfica de referencia (pre-evento) y de crisis (post-evento) de imágenes de satélite o aéreas.

En Europa, el **Servicio Copernicus de gestión de emergencias (EMS)** proporciona información geoespacial global precisa y oportuna, derivada de la teledetección por satélite, a todas las organizaciones y entidades involucradas en la gestión de desastres naturales, situaciones de emergencia provocadas por el hombre y crisis humanitarias. Estos datos se complementan en su caso con datos de otras fuentes de datos. Es en ese contexto donde se ha probado la utilidad y aplicabilidad de los productos Sentinel-1 y Sentinel-2, usando para su **validación de información de referencia** obtenida de imágenes de mayor resolución espacial.

Sus características más importantes son:

- Ofrece información geoespacial de apoyo en todas las fases de la gestión de emergencias (prevención, preparación, reducción del riesgo de desastres, intervención y recuperación).
- Sólo puede ser activado por usuarios autorizados (AU/NFP).
- El servicio se basa en la adquisición, procesamiento y análisis de las imágenes de satélite y de otras fuentes de datos vectoriales y raster.

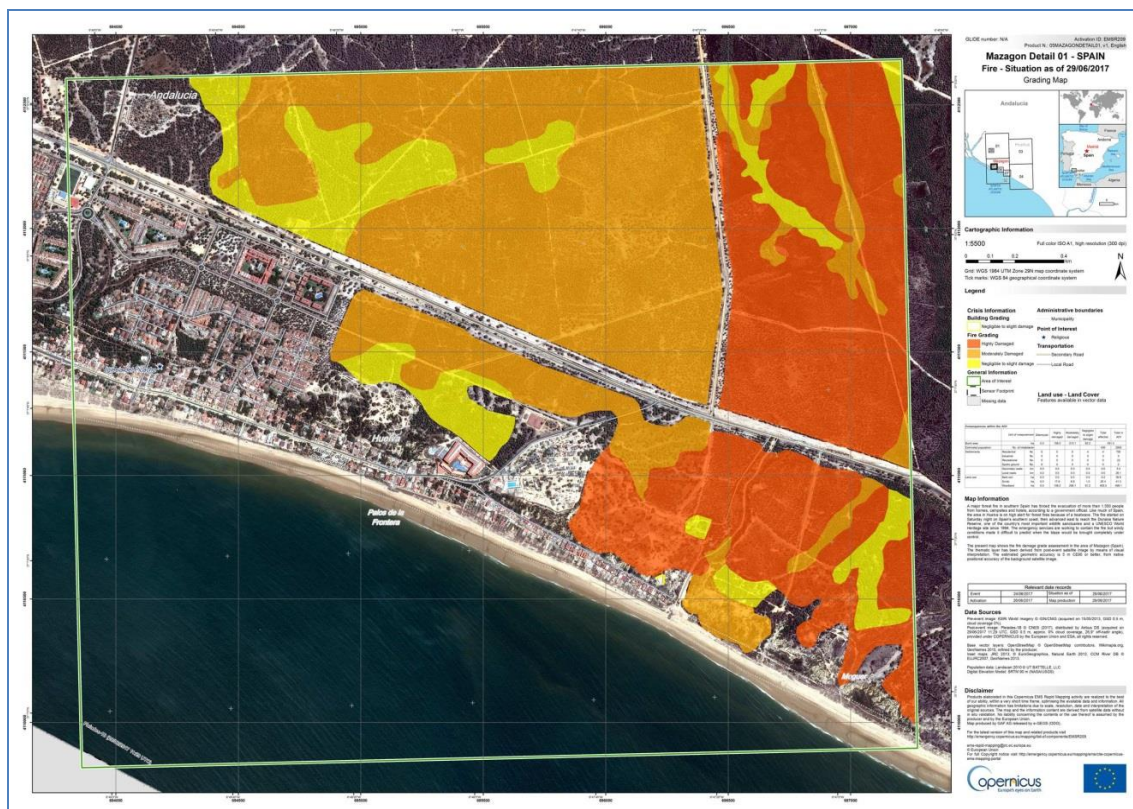


Figura 9 Mapas de valoración de daños del incendio que se inició el 24 de junio 2017 en Moguer (Huelva). Rapid Mapping. Fuente: Copernicus EMS

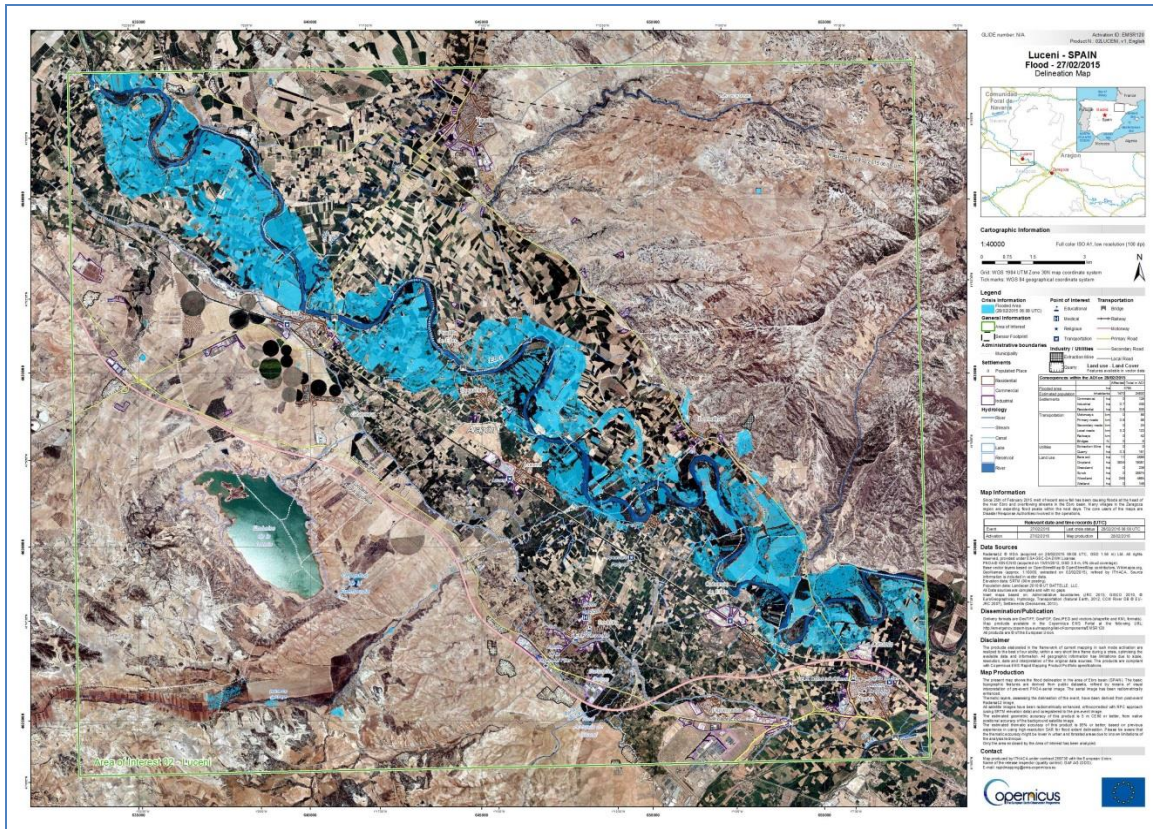


Figura 10 Mapa de delineación de la inundación del río Ebro el 27 febrero 2015. Rapid Mapping. Fuente: Copernicus EMS

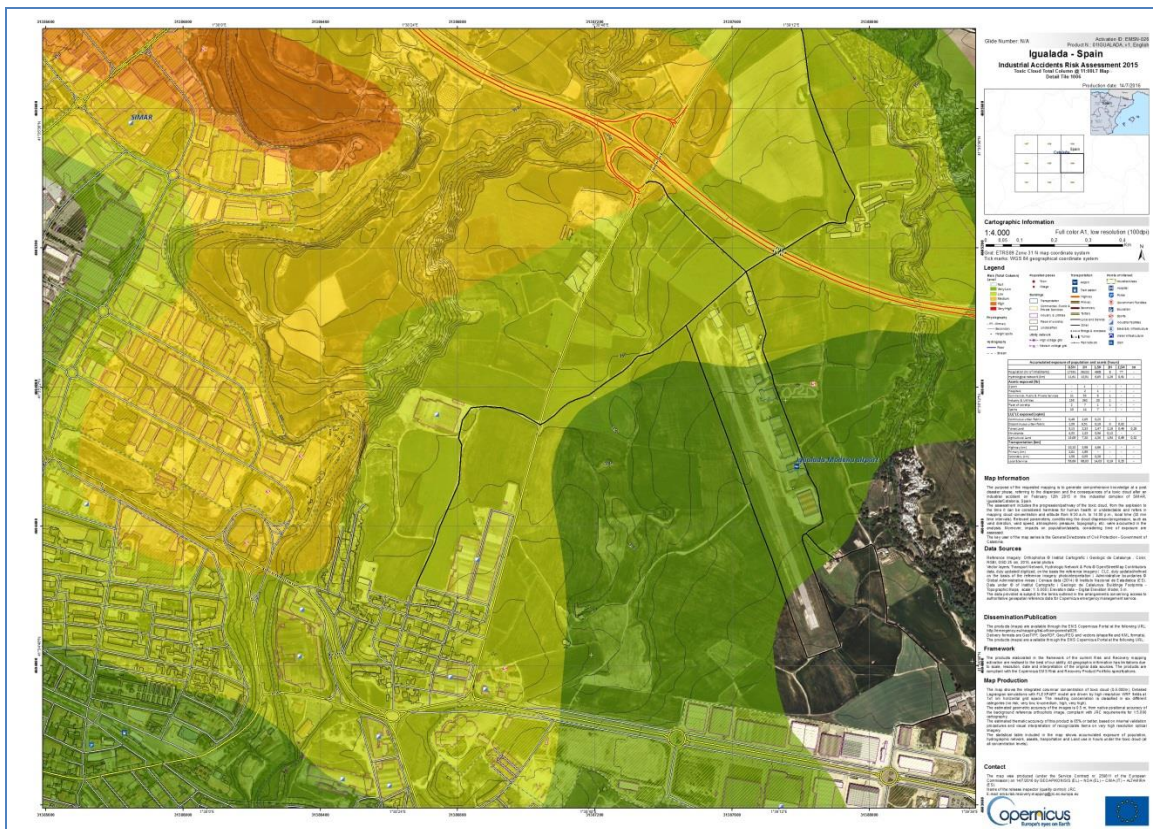


Figura 11 Mapa de la nube tóxica producida por el accidente industrial del 12 de febrero de 2015 en Igualada (Barcelona). Risk and Recovery Mapping. Fuente: EMS

<http://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR209>

- c) **Cambio climático (CCCS):** La alta frecuencia de revisita de la misión Sentinel-2 contribuye a apoyar los intentos de mitigar la deforestación al proporcionar mayores oportunidades para adquirir datos de imágenes libres de nubes. Esto resulta de particular beneficio e interés en latitudes tropicales, donde la cobertura nubosa pesada ha retrasado previamente la posible adquisición de un catálogo completo de datos. Además de los mismos parámetros que se utilizan en otros programas GMES / Copernicus que contribuyen a la supervisión y modelado de cambios inducidos por el clima, como FAPAR, LAI, LC, LCC y NDVI, los datos de alta resolución de Sentinel-2 pueden apoyar la detección de cambios de inundaciones en los países afectados.

2.5 Productos Sentinel 2

En este apartado se describen los productos Sentinel 2 generados a partir de 5 niveles de procesamiento (ver *Sentinel-2 Products Specification Document* de Gatti & Galoppo, 2018). Se introducen los siguientes niveles de procesamiento:

- Los productos de **Nivel 0** son los datos brutos comprimidos que contienen toda la información requerida para generar todos los niveles de procesamiento del producto de nivel 1 y superiores.
- Los productos de **Nivel-1A** son los datos brutos sin comprimir, con bandas espectrales groseramente coregistradas y datos complementarios adjuntos.
- Los productos de **Nivel-1B** son imágenes en valores de radiancia corregidos radiométricamente. El modelo geométrico físico se refina utilizando los puntos de control de Tierra disponibles y se añade al producto, pero no se aplica en este nivel de procesamiento. Con unas dimensiones de 25 km x 23 km aproximadamente, ocupa un volumen de almacenamiento de 23 MB.
- Los productos de **Nivel-1C**, en base a un proceso basado en el uso de un modelo digital del terreno, proporcionan ortoimágenes en el CRS de datum WGS84 en la proyección UTM, en el huso correspondiente a la ubicación geográfica, con niveles digitales correspondientes a valores de reflectancia aparente en el techo la atmósfera (TOA, *Top-Of-Atmosphere reflectances*) en tanto por uno y con registro multiespectral subpíxel. Se incluyen en el producto las máscaras de nubes y tierra/agua. Poseen unas dimensiones de 100 km x 100 km y ocupan un volumen de almacenamiento medio de 600 MB.
- Los productos de **Nivel-2A**, es una evolución del Nivel 1C en el que se aplican correcciones atmosféricas para proporcionar las ortoimágenes con niveles digitales expresados en valores de reflectancia reales a nivel de superficie (BOA, *Bottom-Of-Atmosphere reflectances*). En el producto incluye un mapa de clasificación que contempla las siguientes clases: nubes, sombras de nubes, vegetación, suelos/desiertos, agua, nieve, etc. Este producto posee unas dimensiones de 100 km x 100 km y ocupa un volumen de almacenamiento medio de 800 MB.

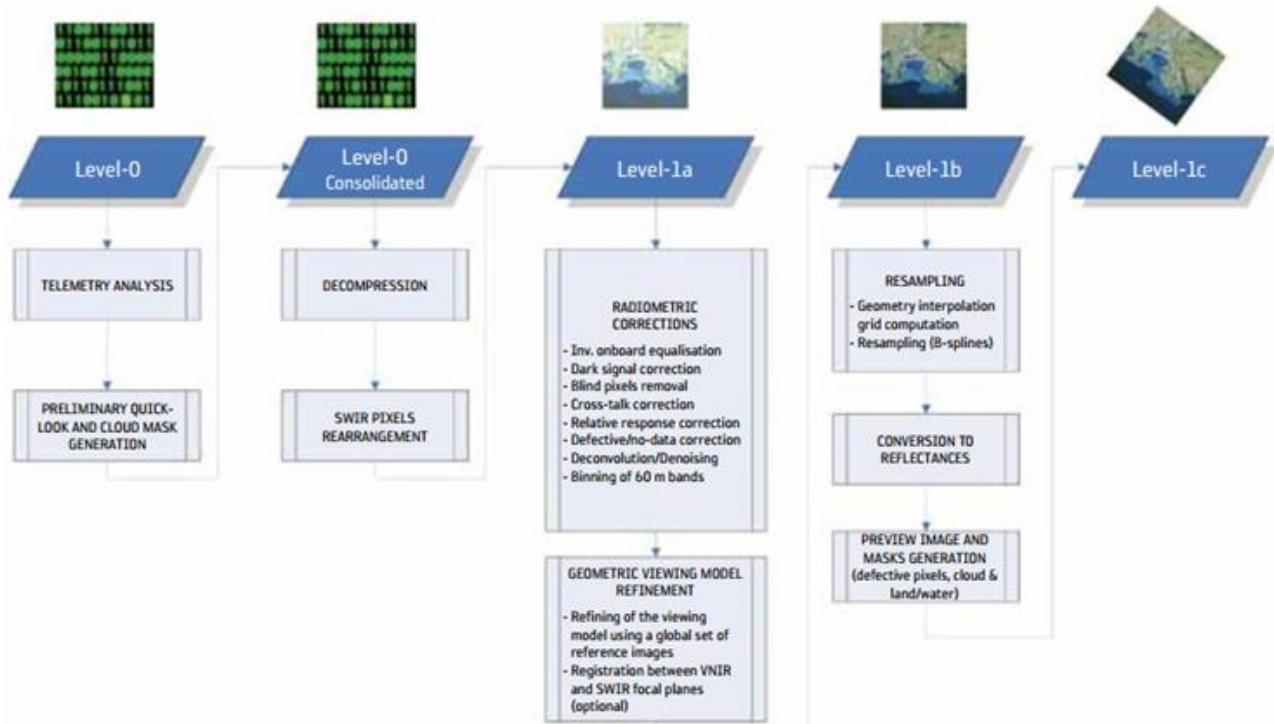


Figura 12 Niveles de procesamiento desde el nivel 0 hasta el nivel 1C

Entre las consideraciones generales relativas al procesamiento y difusión de los datos Sentinel-2 destacan:

- La adquisición, procesamiento, archivo y difusión de datos del Nivel-0 a Nivel-2A son realizados por el segmento de tierra Sentinel-2. El procesamiento desde el Nivel-0 hasta el Nivel-1C (Figura 12) se realiza mediante la funcionalidad de Procesamiento de Datos del Instrumento (IDP) del *Payload Data Ground Segment* (PDGS), <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/ground-segment/core-ground-segment/pdgs>.
- Los datos de Nivel-0, Nivel-1A y Nivel-1B no se facilitan a los usuarios finales.
- Los productos Nivel-1C y Nivel-2A se ponen a disposición de los usuarios finales a través del Centro de acceso abierto Copernicus ([SciHub](https://scihub.copernicus.eu/)).
- Los productos del núcleo de Sentinel-2 son los niveles 1B, 1C y 2A.
- Cualquier usuario puede realizar el procesamiento de Nivel-2A utilizando la [caja de herramientas de Sentinel-2](#).

2.5.1 Unidades de referencia y de división espacial

En este apartado se describen algunas convenciones utilizadas en Sentinel. En este documento se ha decidido mantener la denominación original utilizada en los productos Sentinel. De este modo, en este marco, se denomina *datatake* a la franja de adquisición continua de imágenes de Sentinel-2 en un modo MSI determinado y que forma la base de los productos que se estudiarán posteriormente. La longitud máxima de un *datatake* de imágenes es de 15.000 km (por ejemplo, observación continua desde el norte de Rusia hasta el sur de África). Si un *datatake* es adquirido en dos estaciones terrestres receptoras separadas, el *datatake* puede subdividirse en *datastrips*.

A continuación, se establecen las unidades en las que se dividen los productos Sentinel-2 y que guardan relación directa con los distintos niveles de procesamiento de cada producto.

Los productos son una compilación de unidades elementales de tamaño fijo, dentro una única órbita. Existen unidades mínimas indivisibles en cada producto que contiene todas las bandas espectrales posibles. El tamaño de esta unidad depende del nivel del producto.

- **Para productos de Nivel-0, Nivel-1A y Nivel-1B:** las unidades de división se denominan **gránulos**, que hacen referencia a una subimagen de un número determinado de líneas a lo largo del recorrido del satélite. Tienen un tamaño de 25 km en disposición transversal al recorrido y 23 km en disposición longitudinal.

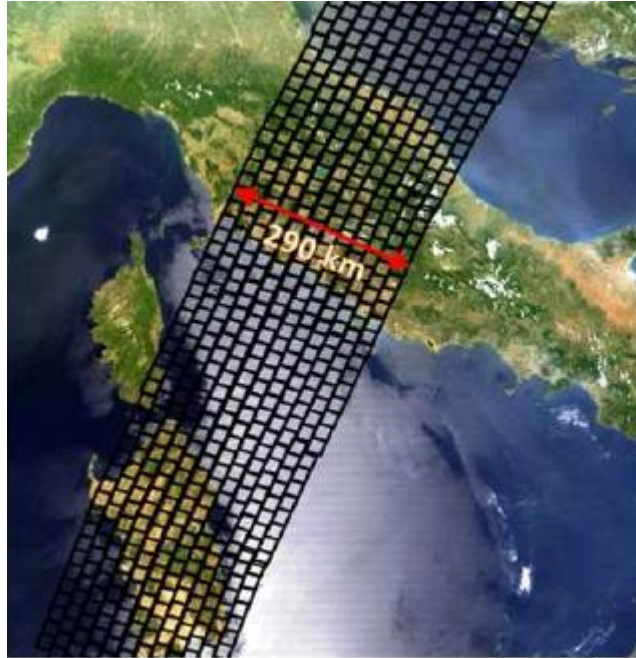


Figura 13 División en gránulos

Para productos ortorectificados de Nivel-1C y Nivel-2A: las unidades de división se denominan *tiles*. Una tile tiene una extensión geográfica de 100 km x 100 km en el sistema de referencia geodésico WGS84 y en la proyección cartográfica UTM, en el huso correspondiente a la ubicación geográfica. Se puede descargar la malla de tiles a nivel mundial en formato kml (Figura 14) en el siguiente enlace de la ESA:

<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/data-products>.

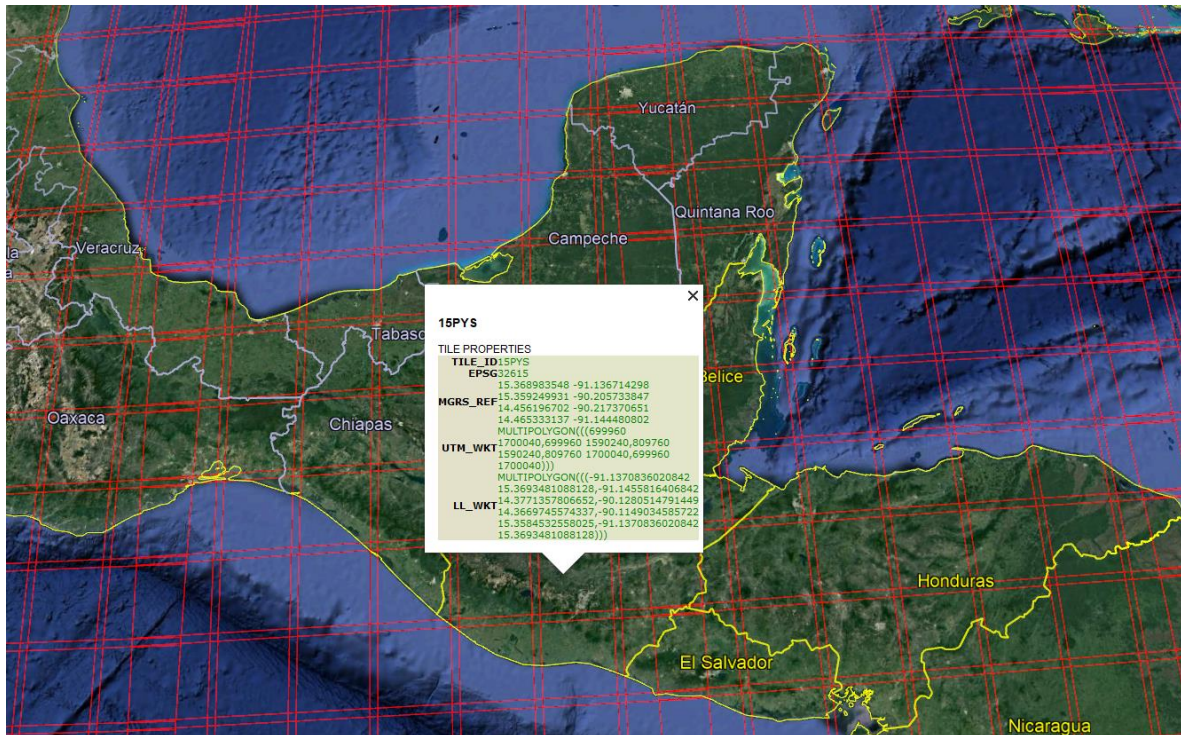


Figura 14 Cobertura con la cuadrícula correspondiente a Guatemala y países adyacentes

En cada producto se incluye los siguientes elementos de información:

- Datos de imagen en gránulos o tiles que cubren el área de interés del producto (ROI).
- Vista previa de los datos, que proporciona una overview del producto para la posterior búsqueda de imágenes y la selección por parte del usuario.
- Datos auxiliares de la telemetría satelital.
- Información auxiliar de los datos que describe los parámetros utilizados en el procesamiento.
- Datos indicadores de calidad, que describen el producto en relación a sus propiedades radiométricas, geométricas y características de la imagen.

La estructura de metadatos describe el contenido del producto (Gatti and Galoppo, 2018).

2.5.2 Nivel-1C

El Nivel-1C de Sentinel-2 es una ortoimagen, es decir, la imagen adquirida se ha ortorectificado utilizando un modelo digital del terreno para corregir el efecto de la topografía terrestre. Las mediciones radiométricas de píxeles se proporcionan en valores de reflectancia en el techo de la atmósfera (TOA), expresadas en tanto por unidad, valores entre 0 y 1, con una resolución radiométrica de 12 bits.

Las ortoimágenes de Nivel-1C poseen un GSD constante de 10 m, 20 m y 60 m, de acuerdo con la resolución nativa de las diferentes bandas espectrales. La extensión geográfica que abarcan es de 100 km x100 km y ocupan un volumen de almacenamiento medio de 600 MB, ya que dependiendo de la huella del Datatake la imagen adquirida cubrirá el tile en su totalidad o no.

El Nivel-1C se obtiene tras aplicar los siguientes procesos partiendo del producto del Nivel-1B:

- a) Correcciones geométricas. Todos los productos son procesados geoméricamente de forma rutinaria. Estas correcciones incluyen dos pasos:
 - Registro multitemporal subpíxel entre imágenes.

- Ortorectificación usando un DEM de 90 m (PlanetDEM 90).
- b) Procesamiento radiométrico: Conversión de radiancias a reflectancias, suministrándose la información para aquellos usuarios que precisasen recuperar las radiancias por inversión de la transformación.
- c) Generación de máscaras (píxeles defectuosos, nubes y tierra / agua).

El producto de Nivel-1C contiene la información mostrada en la Tabla 2.

Dato	Información
Metadatos	A nivel de producto y tiles
Datos de imagen	Una imagen en reflectancias TOA por cada banda espectral (JPEG2000)
Datos indicadores de calidad	Derivados del Nivel-1B y Nivel-1C: calidad radiométrica, calidad geométrica, calidad del contenido de las imágenes, información de la verificación de los controles de calidad.
Datos auxiliares	Referencias GIPP, DEM y GRI utilizadas. Parámetros meteorológicos ECMWF: <i>Total Column Ozone</i> (TCO3), <i>Total Column Water Vapour</i> (TCWV) y <i>Mean Sea Level Atmospheric Pressure</i> (MSLP)

Tabla 2 Contenido del producto nivel 1C

El procesamiento del Nivel-1C incluye correcciones radiométricas y geométricas de ortorectificación y registro espacial en un sistema de referencia global con precisión subpíxel, llevados a cabo a partir de algoritmos de remuestreo y de obtención de máscaras de nubes y tierra / agua.

2.5.3 Nivel-2A

Desde mediados de marzo de 2018, el Nivel-2A se convirtió en un producto operacional, comenzando con la cobertura de la región euromediterránea, con un aumento gradual a la cobertura mundial sistemática en diciembre de 2018. Además, el Nivel-2A también puede ser generado por el usuario a partir del producto Nivel-1C utilizando la caja de herramientas de Sentinel-2 o la versión independiente del procesador Sen2Cor.

El Nivel-2A de Sentinel-2, *L2A Product Definition Document* (Louis and Devignot, 2018), es una ortoimagen expresada en valores de reflectancias a nivel de la superficie (BOA), en tanto por unidad, con valores entre 0 y 1, con una resolución radiométrica de 12 bits. Los píxeles defectuosos, sin datos y saturados se excluyen de los pasos de procesamiento del Nivel-2A. La reflectancia de la superficie se realiza a la resolución de los productos nativos en función de la resolución de la banda (10, 20 y 60 m). Los algoritmos empleados en el proceso de generación del Nivel-2A requieren información derivada de bandas con diferentes resoluciones. Algunos canales son remuestreados a 60 m según las necesidades de los algoritmos.

Estas imágenes se encuentran corregidas atendiendo a los parámetros relativos a la atmósfera (visibilidad, vapor de agua, presencia de nubes o cirros y contenido de aerosoles y ozono), a la geometría de la iluminación-observación (ángulo cenital solar, ángulo acimutal solar y topografía del terreno) y, previa activación en las opciones del archivo de cabecera del algoritmo, del comportamiento reflectivo que tienen las distintas cubiertas (*Bidirectional Reflectance Distribution Function*, BRDF). El modelo atmosférico que utiliza Sen2Cor se basa en el modelo ATCOR (*Atmospheric and Topographic CORrection*), el cual se fundamenta en interpretar los parámetros citados con anterioridad mediante tablas de transformación (*Look Up Tables*, LUT) que, a su vez, dependen del cálculo de funciones de transferencia radiativa para: diferentes sensores, geometrías solares, topografía del terreno y parámetros atmosféricos (Mueller-Wilm, 2016)

El proceso de generación del Nivel-2A a partir del Nivel-1C se divide en dos fases:

1. Clasificación de escenas: que tiene como objetivo proporcionar un mapa de clasificación de píxeles (nubes, sombras de nubes, vegetación, suelos / desiertos, agua, nieve, etc.).
2. Aplicación de la corrección atmosférica: que tiene como objetivo transformar los productos de ortoimágenes de nivel 1 en el techo de la atmósfera (TOA) en valores de reflectancia en la superficie (BOA).

El producto del Nivel-2A incluye información obtenida en el procesamiento que puede ser de mucha utilidad:

- Un mapa de espesor óptico de aerosoles (AOT, *Aerosol Optical Thickness*).
- Un mapa de contenido de vapor de agua (WV, *Water Vapour*).
- Un mapa de clasificación de escena (SCM, *Scene Classification Map*) junto con indicadores de calidad para las probabilidades de nubes y nieve a 60 m de resolución.

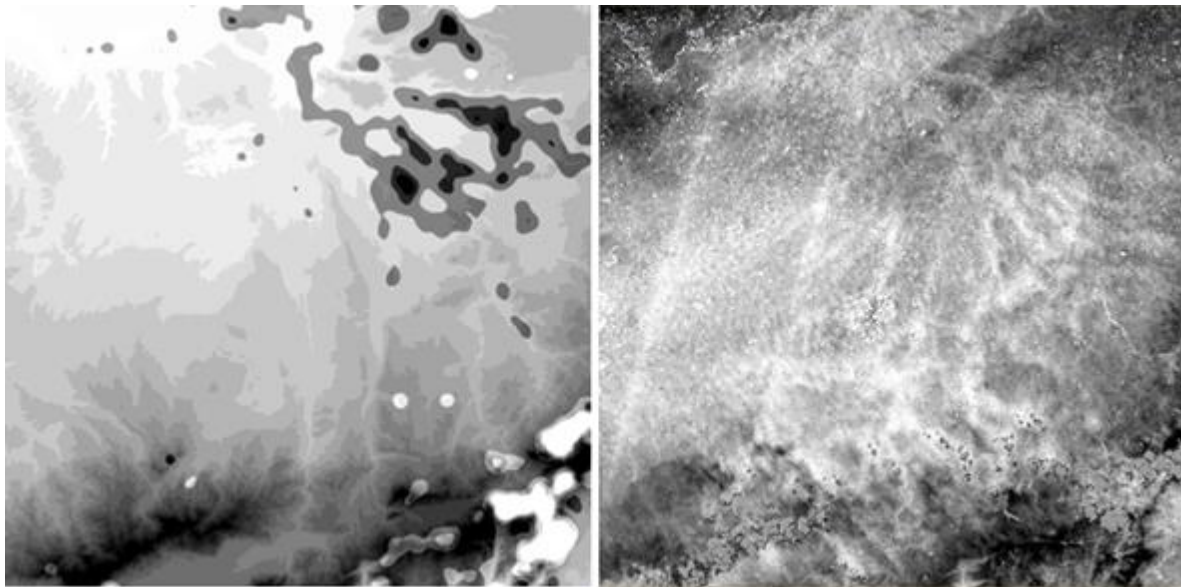


Figura 15 Ráster *Aerosol Optical Thickness* (izquierda); ráster *Water Vapour* (derecha)

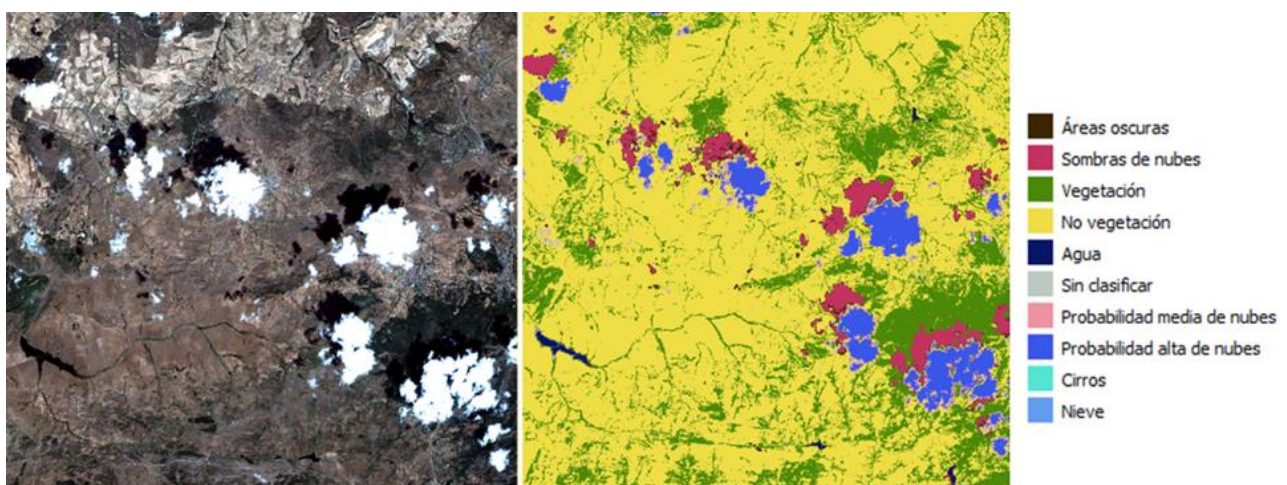


Figura 16 Imagen BOA (izquierda); imagen clasificada (derecha)

Los productos de imagen de salida de Nivel-2A se vuelven a remuestrear y generar con una resolución espacial según la resolución correspondiente a cada banda: 10 m, 20 m o 60 m.

El producto de resolución de 10 m contiene las bandas espectrales 2, 3, 4 y 8 y un mapa AOT remuestreado desde 20 m. El producto de 20 m contiene las bandas 2 - 7, las bandas 8A, 11 y 12 y un mapa AOT y WV. Finalmente, el producto de 60 m contiene todos los componentes del producto de 20 m y además las bandas 1 y 9 de 60 m. Se omitirá la banda 10 m de cirros ya que no contiene información de la superficie.

2.5.4 Distribución de productos

A partir del 6 de diciembre de 2016 se distribuye en un nuevo formato para todos los productos de Nivel-1C. Este formato se introdujo para superar la limitación de 256 caracteres en las rutas de acceso impuestas por las plataformas del sistema operativo Windows. Esto se ha logrado mediante la compactación de los nombres de archivo, incluida la denominación de carpetas y archivos internos. Los productos de Nivel-2A ya se empezaron a distribuir en este formato.

El formato actualizado del producto se describe en detalle en el Documento de especificación de productos (PSD, *ProductsSpecificationDocument* de Sentinel-2, versión 14.5).

La convención de nomenclatura compacta es la siguiente:

MMM_MSILNN_YYYYMMDDHHMMSS_Nxxyy_ROOO_Txxxxx_<Product Discriminator>.SAFE

Los productos contienen dos fechas:

- La primera fecha (**YYYYMMDDHHMMSS**) corresponde a la adquisición.
- La segunda fecha es el campo "**<Product Discriminator>**", que tiene una longitud de 15 caracteres y se utiliza para distinguir entre diferentes productos para usuarios finales.

Los otros componentes del nombre de archivo son:

- **MMM**: es el ID de misión y satélite (S2A / S2B).
- **MSILNN**: denota el nivel del producto nivel (1C/2A).
- **YYYYMMDDHHMMSS**: la hora de inicio de la detección del Datatake.
- **Nxxyy**: el número de línea de base de procesamiento.
- **ROOO**: Número de órbita relativa (R001 - R143).
- **Txxxxx**: Código de identificación de la tile.
- **SAFE**: Formato de producto (Formato de archivo estándar para Europa)

A modo de ejemplo:

S2A_MSIL1C_20180206T111231_N0206_R137_T30TUL_20180206T132826.SAFE

Se identifica:

- Satélite: Sentinel 2A.
- Producto Nivel 1C.
- Fecha de adquisición: 2018/02/06 hora: 11h 12min 31seg.
- Procesado con Baseline N0206.
- Órbita: R137.
- Tile: T30TUL.
- Fecha de generación del producto: 2018/02/06 13h 28m 26seg.

El producto Nivel-1C tiene la siguiente estructura física de carpetas. Tomando por ejemplo la siguiente imagen:

S2A_MSIL1C_20180206T111231_N0206_R137_T30TUL_20180206T132826.SAFE

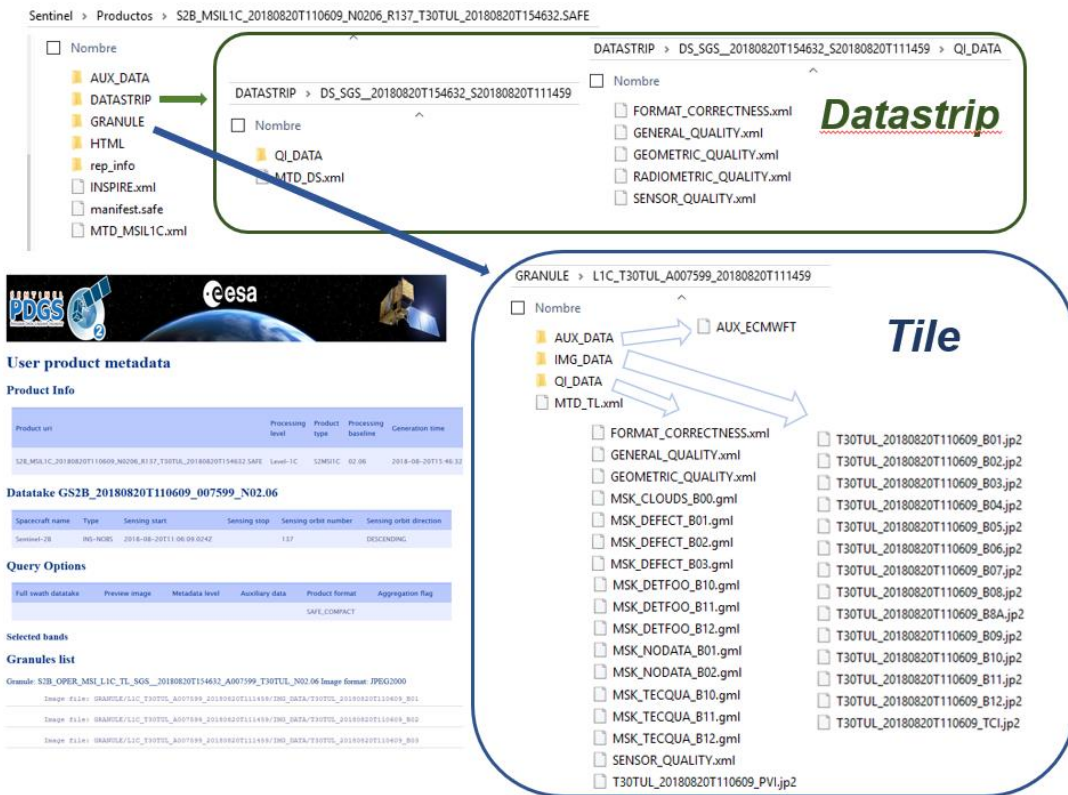


Figura 17 Estructura física del producto nivel 1C

El producto Nivel-2A tiene la siguiente estructura de carpetas. Por ejemplo, para el producto:

S2B_MSIL2A_20180906T105639_N0208_R094_T30TVL_20180906T155143.SAFE

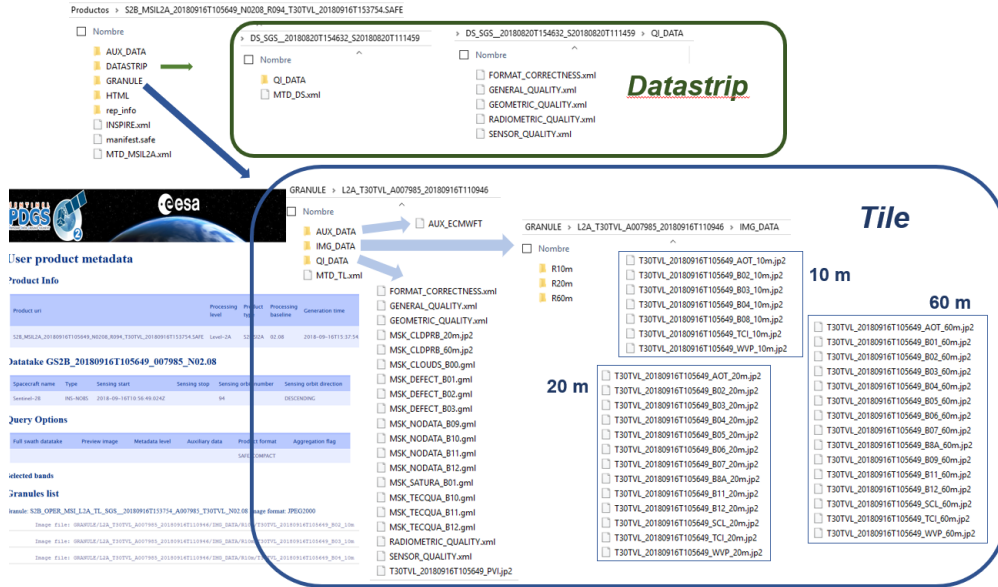


Figura 18 Estructura física del producto nivel 2A

Los productos Sentinel se distribuyen en formato SAFE standard (SAFE Archive Format for Europe) e incluye la siguiente información:

- Archivos de metadatos en formato XML. Los metadatos del producto se encuentran en la carpeta raíz. El fichero se denomina MTD_MSILNP.xml donde NN es el nivel de procesamiento. También se incluye el metadato del producto de acuerdo con las especificaciones INSPIRE y se denomina INSPIRE.XML. Se muestra un ejemplo de producto 1C (Figura 19) y 2A (Figura 20).

S2B_MSIL1C_20180820T110609_N0206_R137_T30TUL_20180820T154632.SAFE

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes" ?>
<nl:Level-1C_User_Product xmlns:nl="https://psd-14.sentinel2.eo.esa.int/PSD/User_Product_Level-1C.xsd" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:schemaLocation="https://psd-14.sentinel2.eo.esa.int/PSD/User_Product_Level-1C.xsd https://psd-14.sentinel2.eo.esa.int/PSD/User_Product_Level-1C.xsd">
  <nl:General_Info>
    <Product_Info>
      <PRODUCT_START_TIME>2018-08-20T11:06:09.024Z</PRODUCT_START_TIME>
      <PRODUCT_STOP_TIME>2018-08-20T11:06:09.024Z</PRODUCT_STOP_TIME>
      <PRODUCT_URI>S2B_MSIL1C_20180820T110609_N0206_R137_T30TUL_20180820T154632.SAFE</PRODUCT_URI>
      <PROCESSING_LEVEL>Level-1C</PROCESSING_LEVEL>
      <PRODUCT_TYPE>S2MSI1C</PRODUCT_TYPE>
      <PROCESSING_BASELINE>02_06</PROCESSING_BASELINE>
      <GENERATION_TIME>2018-08-20T15:46:32.000000Z</GENERATION_TIME>
      <PREVIEW_IMAGE_URL>Not applicable</PREVIEW_IMAGE_URL>
      <PREVIEW_GEO_INFO>Not applicable</PREVIEW_GEO_INFO>
      <Datatake_datatakeIdentifier="GS2B_20180820T110609_007599_N02_06">
        <SPACECRAFT_NAME>Sentinel-2B</SPACECRAFT_NAME>
        <DATATAKE_TYPE>INS-NOBS</DATATAKE_TYPE>
        <DATATAKE_SENSING_START>2018-08-20T11:06:09.024Z</DATATAKE_SENSING_START>
        <SENSING_ORBIT_NUMBER>137</SENSING_ORBIT_NUMBER>
        <SENSING_ORBIT_DIRECTION>DESCENDING</SENSING_ORBIT_DIRECTION>
      </Datatake>
      <Query_Options_completeSingleTile="true">
        <PRODUCT_FORMAT>SAFE_COMPACT</PRODUCT_FORMAT>
      </Query_Options>
    </Product_Info>
    <Product_Organisation>
      <Granule_List>
        <Granule_datastripIdentifier="S2B_OPER_MSI_11c_DS_SGS_20180820T11459_N02_06" granuleIdentifier="S2B_OPER_MSI_11c_DS_SGS_20180820T11459_N02_06">
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L1C_T30TUL_A007599_20180820T11459/IMG_DATA/T30TUL_20180820T110609_B01</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L1C_T30TUL_A007599_20180820T11459/IMG_DATA/T30TUL_20180820T110609_B02</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L1C_T30TUL_A007599_20180820T11459/IMG_DATA/T30TUL_20180820T110609_B03</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L1C_T30TUL_A007599_20180820T11459/IMG_DATA/T30TUL_20180820T110609_B04</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L1C_T30TUL_A007599_20180820T11459/IMG_DATA/T30TUL_20180820T110609_B05</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L1C_T30TUL_A007599_20180820T11459/IMG_DATA/T30TUL_20180820T110609_B06</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L1C_T30TUL_A007599_20180820T11459/IMG_DATA/T30TUL_20180820T110609_B07</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L1C_T30TUL_A007599_20180820T11459/IMG_DATA/T30TUL_20180820T110609_B08</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L1C_T30TUL_A007599_20180820T11459/IMG_DATA/T30TUL_20180820T110609_B09</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L1C_T30TUL_A007599_20180820T11459/IMG_DATA/T30TUL_20180820T110609_B10</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L1C_T30TUL_A007599_20180820T11459/IMG_DATA/T30TUL_20180820T110609_B11</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L1C_T30TUL_A007599_20180820T11459/IMG_DATA/T30TUL_20180820T110609_B12</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L1C_T30TUL_A007599_20180820T11459/IMG_DATA/T30TUL_20180820T110609_TCI</IMAGE_FILE>
        </Granule>
      </Granule_List>
    </Product_Organisation>
  </nl:Level-1C_User_Product>
</nl:General_Info>
</nl:Level-1C_User_Product>
```

Figura 19 Metadato producto 1C (MDT_MSIL1C.xml)

S2B_MSIL2A_20180916T105649_N0208_R094_T30TVL_20180916T153754.SAFE

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<nl:Level-2A_User_Product xmlns:nl="https://psd-14.sentinel2.eo.esa.int/PSD/User_Product_Level-2A.xsd" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
  <nl:General_Info>
    <Product_Info>
      <PRODUCT_START_TIME>2018-09-16T10:56:49.024Z</PRODUCT_START_TIME>
      <PRODUCT_STOP_TIME>2018-09-16T10:56:49.024Z</PRODUCT_STOP_TIME>
      <PRODUCT_URI>S2B_MSIL2A_20180916T105649_N0208_R094_T30TVL_20180916T153754_SAFE</PRODUCT_URI>
      <PROCESSING_LEVEL>Level-2A</PROCESSING_LEVEL>
      <PRODUCT_TYPE>S2MSI2A</PRODUCT_TYPE>
      <PROCESSING_BASELINE>02.08</PROCESSING_BASELINE>
      <GENERATION_TIME>2018-09-16T15:37:54.000000Z</GENERATION_TIME>
      <PREVIEW_IMAGE_URL>Not applicable</PREVIEW_IMAGE_URL>
      <PREVIEW_GEO_INFO>Not applicable</PREVIEW_GEO_INFO>
      <Dataake dataakeIdentifier="GS2B_20180916T105649_007985_N02.08">
        <SPACECRAFT_NAME>Sentinel-2B</SPACECRAFT_NAME>
        <DATATAKE_TYPE>INS-NOBS</DATATAKE_TYPE>
        <DATATAKE_SENSING_START>2018-09-16T10:56:49.024Z</DATATAKE_SENSING_START>
        <SENSING_ORBIT_NUMBER>94</SENSING_ORBIT_NUMBER>
        <SENSING_ORBIT_DIRECTION>DESCENDING</SENSING_ORBIT_DIRECTION>
      </Dataake>
    <Query_Options completeSingleTile="true">
      <PRODUCT_FORMAT>SAFE_COMPACT</PRODUCT_FORMAT>
    </Query_Options>
    <Product_Organisation>
      <Granule_List>
        <Granule datastripIdentifier="S2B_OPER_MSI_L2A_DS_SGS_20180916T153754_S20180916T110946_N02.08" granuleIdentifier="S2
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L2A_T30TVL_A007985_20180916T110946/IMG_DATA/R10m/T30TVL_20180916T105649_B02_10m</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L2A_T30TVL_A007985_20180916T110946/IMG_DATA/R10m/T30TVL_20180916T105649_B03_10m</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L2A_T30TVL_A007985_20180916T110946/IMG_DATA/R10m/T30TVL_20180916T105649_B04_10m</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L2A_T30TVL_A007985_20180916T110946/IMG_DATA/R10m/T30TVL_20180916T105649_B08_10m</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L2A_T30TVL_A007985_20180916T110946/IMG_DATA/R10m/T30TVL_20180916T105649_TCI_10m</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L2A_T30TVL_A007985_20180916T110946/IMG_DATA/R10m/T30TVL_20180916T105649_AOT_10m</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L2A_T30TVL_A007985_20180916T110946/IMG_DATA/R10m/T30TVL_20180916T105649_WVF_10m</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L2A_T30TVL_A007985_20180916T110946/IMG_DATA/R20m/T30TVL_20180916T105649_B02_20m</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L2A_T30TVL_A007985_20180916T110946/IMG_DATA/R20m/T30TVL_20180916T105649_B03_20m</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L2A_T30TVL_A007985_20180916T110946/IMG_DATA/R20m/T30TVL_20180916T105649_B04_20m</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L2A_T30TVL_A007985_20180916T110946/IMG_DATA/R20m/T30TVL_20180916T105649_B05_20m</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L2A_T30TVL_A007985_20180916T110946/IMG_DATA/R20m/T30TVL_20180916T105649_B06_20m</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L2A_T30TVL_A007985_20180916T110946/IMG_DATA/R20m/T30TVL_20180916T105649_B07_20m</IMAGE_FILE>
          <IMAGE_FILE>GRANULE/L2A_T30TVL_A007985_20180916T110946/IMG_DATA/R20m/T30TVL_20180916T105649_B8A_20m</IMAGE_FILE>
        </Granule_List>
      </Product_Organisation>
    </nl:General_Info>
  </nl:Level-2A_User_Product>
```

Figura 20 Metadatos del producto 2A (MTD_MSIL2A.xml)

El fichero de metadatos de la pasada se encuentra en la carpeta Datastrip y se denomina MTD_DS.xml. Y los metadatos de la imagen se encuentran en la carpeta donde se encuentra la tile y se denomina MTD_TL.xml. En la Figura 21 se puede visualizar los relativos a la imagen 2A de ejemplo. Posteriormente se verá que en la aplicación SNAP se pueden explorar y visualizar cómodamente todos los metadatos.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<nl:Level-2A Tile_ID xmlns:nl="https://psd-14.sentinel2.eo.esa.int/PSD/S2_PDI_Level-2A_Tile_Metadata.xsd"
  <nl:General_Info>
    <LIC_TILE_ID metadataLevel="Brief">S2B_OPER_MSI_L1C_TL_SGS_20180916T144835_A007985_T30TVL_N02.06</LIC_TILE_ID>
    <TILE_ID metadataLevel="Brief">S2B_OPER_MSI_L2A_TL_SGS_20180916T153754_A007985_T30TVL_N02.08</TILE_ID>
    <DATASTRIP_ID metadataLevel="Standard">S2B_OPER_MSI_L2A_DS_SGS_20180916T153754_S20180916T110946_N02
    <DOWNLINK_PRIORITY metadataLevel="Standard">NOMINAL</DOWNLINK_PRIORITY>
    <SENSING_TIME metadataLevel="Standard">2018-09-16T11:09:46.131Z</SENSING_TIME>
    <Archiving_Info metadataLevel="Expertise">
      <ARCHIVING_CENTRE>SGS</ARCHIVING_CENTRE>
      <ARCHIVING_TIME>2018-09-16T17:08:25.898Z</ARCHIVING_TIME>
    </Archiving_Info>
  </nl:General_Info>
  <nl:Geometric_Info>
    <Tile_Geocoding metadataLevel="Brief">
      <HORIZONTAL_CS_NAME>WGS84 / UTM zone 30N</HORIZONTAL_CS_NAME>
      <HORIZONTAL_CS_CODE>EPSG:32630</HORIZONTAL_CS_CODE>
      <Size resolution="10">
        <NROWS>10980</NROWS>
        <NCOLS>10980</NCOLS>
      </Size>
      <Size resolution="20">
        <NROWS>5490</NROWS>
        <NCOLS>5490</NCOLS>
      </Size>
      <Size resolution="60">
        <NROWS>1830</NROWS>
        <NCOLS>1830</NCOLS>
      </Size>
      <Geoposition resolution="10">
        <ULX>399960</ULX>
        <ULY>4600020</ULY>
        <XDIM>10</XDIM>
        <YDIM>10</YDIM>
      </Geoposition>
      <Geoposition resolution="20">
        <ULX>399960</ULX>
        <ULY>4600020</ULY>
        <XDIM>10</XDIM>
        <YDIM>10</YDIM>
      </Geoposition>
    </Tile_Geocoding>
  </nl:Geometric_Info>
</nl:Level-2A Tile_ID>
```

Figura 21 Metadatos del producto 2A (MTD_MSIL2A.xml)

- Archivos con los datos de imagen en la carpeta IMG_DATA, que se encuentra en la carpeta denominada GRANULE, Figura 17 y Figura 18. Se encuentra un archivo por banda espectral en formato JPEG2000.

- La denominación genérica (IDTILE_AAAAMMDDThhmmss_BXX.jp2) incluye la identificación de establecida. AAAAMMDDThhmmss hace referencia a la fecha y hora de adquisición del Datatake y finalmente el número de banda. Por ejemplo, para la banda 3 del producto 1C sería: T30TUL_20180820T110609_B03.

Se incluye una imagen en color verdadero (IDTILE_AAAAMMDDThhmmss_TCI.jp2), imagen RGB creada a partir de las bandas B02 (azul), B03 (verde) y B04 (roja), donde los valores de reflectancias se expresan de 1 y 255, reservándose 0 para 'No Data'. (El nivel digital 255 a una reflectancia de 0,2).

En los productos 2A existe una carpeta para cada resolución espacial establecida, denominadas R10m, R20m y R60m, donde, además de las bandas, se encuentran los resultados del procesamiento a nivel 2ª. La identificación de la banda es sustituida por AOT para la imagen de espesores ópticos, WVP para las imágenes relativas al contenido de vapor de agua y SCL para las imágenes resultado del proceso de clasificación.

En la identificación de cada fichero se añadiría la resolución espacial establecida: 10 m, 20 m y 60 m.

- Indicadores de calidad inherentes a las imágenes y derivados del procesamiento de carácter general. Se incluyen ficheros en formato XML en la carpeta QI_DATA con los parámetros de calidad general, calidad geométrica, calidad radiométrica, calidad del sensor, corrección del formato, etc. En la Figura 22 se muestran los diferentes controles de calidad y la nomenclatura establecida.

Granule Quality control Checks Information (OLQC OUTPUT)							
Check Name	Checklist Name	Description	L0	L1A	L1B	L1C	L2A
Missing_Lines	SENSOR_QUALITY	Number of missing lines	Y	Y	Y	Y	Y
Corrupted_ISP	SENSOR_QUALITY	Corrupted ISP	Y	Y	Y	Y	Y
Sensing_Time	SENSOR_QUALITY	Consistency of Sensing Time	Y	Y	Y	Y	Y
Granule_Dimensions	GEOMETRIC_QUALITY	Consistency of Granule size	N	Y	Y	Y	Y
Product_Footprint	GEOMETRIC_QUALITY	Consistency of Granule footprint wrt the expected geometry	N	Y	Y	Y	Y
Geometric_Header	GEOMETRIC_QUALITY	Consistency of the Incidence and SunAngles	N	Y	Y	Y	Y
Perc_Cloud_Coverage	GENERAL_QUALITY	Check the percentage of cloud coverage	N	Y	Y	Y	Y
List_Fake-Decompression	GENERAL_QUALITY	Check the list of fake decompressed source frames	N	Y	Y	Y	Y
Product_Syntax	FORMAT_CORRECTNESS	Check on Product components syntax & semantics correctness	Y	Y	Y	Y	Y

Figura 22 Controles de calidad según producto Sentinel

- En esta carpeta se incluyen archivos que expresan la calidad en forma máscaras en formato GML:
 - Máscaras que hacen referencia a la información radiométrica de las imágenes, como por ejemplo: píxeles defectuosos (MASK_DEFECT), saturados (MASK_SATURA), sin información (MASK_NODATA), etc.
 - Máscaras de nubes (MSK_CLOUDS), clasificadas en densas y cirros, como se muestra en la Figura 23.
- En el producto 2A se incluyen: máscaras de probabilidad de nubes (MSK_CLDPRB), máscaras de probabilidad de nieves (MSK_SNWPRB) y, de forma opcional, máscaras de vegetación densa (MSK_DDVPXL).
- Huellas de los detectores para cada banda (MSK_DETFOO).
- En la carpeta AUX_DATA se encuentran los parámetros meteorológicos y físicos (AUX_ECMWFT) y, de forma opcional con los procesamientos de la Toolbox, el DEM a la resolución de la imagen. Además, puede contener ficheros GIPP y otros datos auxiliares.

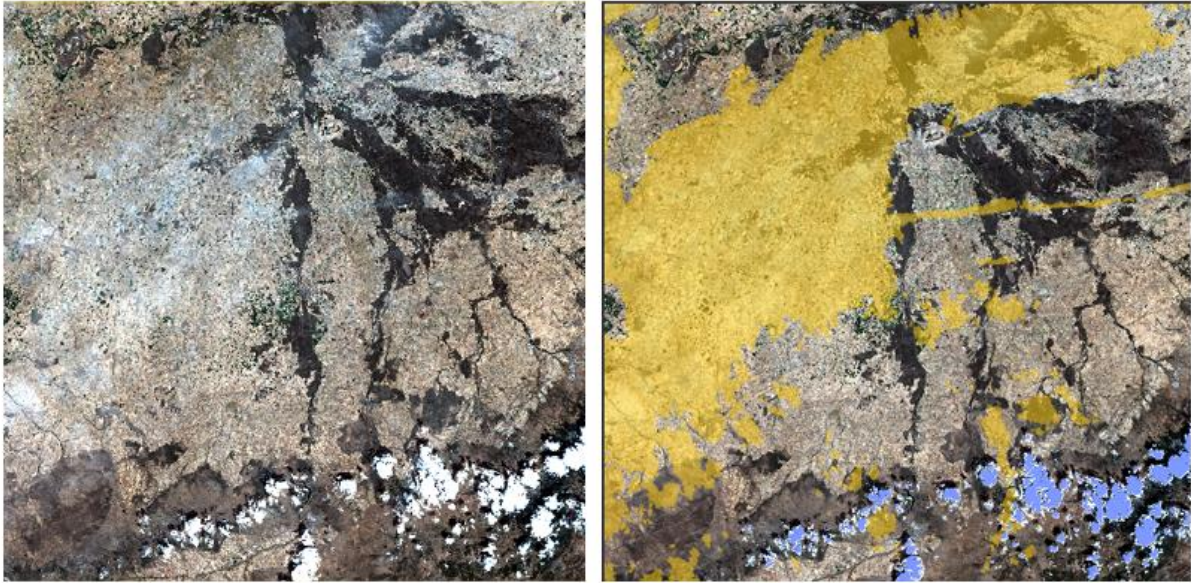


Figura 23 Máscaras de nubes (azul) y cirros (amarillo)

3 Sentinel 1

La misión Sentinel-1 es una iniciativa conjunta de la Comisión Europea (CE) y la Agencia Espacial Europea (ESA) que se constituye como el Observatorio Radar Europeo (*European Radar Observatory*) del programa Copernicus.

El Documento de Requisitos de la Misión Sentinel-1 (MRD, *Mission Requirements Document*, disponible en este [enlace](#)) describe en detalle todos los requisitos específicos de la misión.

3.1 Características generales

La misión se compone de una constelación de dos satélites, Sentinel-1A y Sentinel-1B, que comparten el mismo plano orbital, capturando imágenes radar de apertura sintética (SAR, *Synthetic Aperture Radar*) en banda C. Al operar en longitudes de onda ($\lambda = 5$ cm) no afectadas por la nubosidad o la falta de iluminación, puede adquirir datos durante el día o la noche bajo casi cualquier condición meteorológica.

Se pueden capturar datos en cuatro modos exclusivos de imágenes con diferente resolución (hasta 5 m) y cobertura (hasta 400 km). Proporciona capacidad de polarización, tiempos de revisita muy cortos y entrega rápida del producto. También se facilitan las mediciones precisas de posición y actitud de la plataforma satelital de cada observación.

Sentinel-1 está diseñado para trabajar en un modo pre-programado, capturando imágenes en alta resolución de todas las masas terrestres mundiales, zonas costeras y rutas de navegación en aguas europeas, obteniendo también datos globales en océanos a intervalos regulares. Todo ello garantiza la confiabilidad del servicio y un archivo de datos consistente a largo plazo creado para aplicaciones basadas en series de tiempo de larga duración. El tiempo de revisita mejorado, su amplia cobertura geográfica y la rápida distribución de datos son especialmente adecuados para aplicaciones operacionales en áreas prioritarias de supervisión marina y terrestre, así como para servicios de emergencia.

3.2 Satélites y sensor

Los satélites Sentinel-1 han sido creados por un consorcio industrial liderado por Thales Alenia Space Italy, como contratista principal, y con Astrium Alemania como responsable de la carga útil del instrumento C-SAR, que incorpora el subsistema electrónico central radar desarrollado por Astrium UK.

La órbita de la misión Sentinel-1 es de tipo heliosíncrona, casi polar y circular. La altitud media de la órbita sobre la superficie terrestre es de 693 km. La inclinación de la órbita es de $98,18^\circ$. Sentinel-1 porta un único instrumento SAR en banda C que opera en una frecuencia central de 5,405 GHz ($\lambda = 5$ cm).

El instrumento C-SAR admite el funcionamiento en doble polarización (HH+HV, VV+VH). Los datos de doble polarización son útiles, entre otras aplicaciones, para la clasificación de cobertura terrestre y las aplicaciones de zonas marinas heladas.

3.2.1 Modos de adquisición

En este apartado se describen los cuatro modos de adquisición, mostrados en la Figura 24, exclusivos en los que opera el instrumento SAR de Sentinel-1:

- *Stripmap (SM)*.
- *Interferometric Wide swath (IW)*.
- *Extra-Wide swath (EW)*.
- *Wave (WV)*.

En cada modo de adquisición es posible generar productos a Nivel-0 SAR, Nivel-1 SLC, Nivel-1 GRD y Nivel-2 OCN.

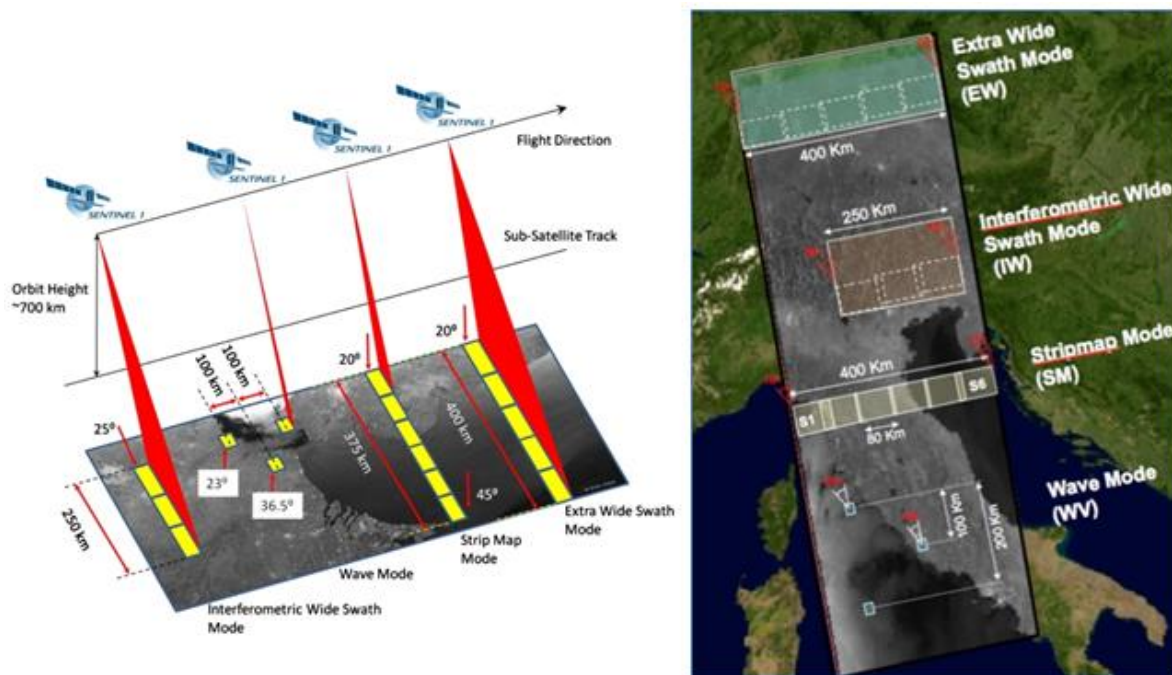


Figura 24 Modos de adquisición Sentinel 1

El haz de antena de radar de banda C Sentinel-1 ilumina el terreno hacia el lado derecho del satélite. Debido al movimiento del satélite y al ancho del haz de la antena a lo largo de la trayectoria (azimut), cada objeto observado sólo permanece dentro del haz de iluminación durante un corto período de tiempo. Como parte del procesamiento en tierra, las complejas señales de eco recibidas durante este tiempo se agregan de manera coherente. De esta forma, se sintetiza una antena larga, con la longitud de apertura sintética igual a la distancia recorrida por el satélite durante el tiempo de integración. En principio, la resolución geométrica en azimut que se puede obtener con SAR es aproximadamente la mitad de la longitud real de la antena.

Para mejorar la resolución radiométrica se puede emplear el procesamiento *multi-look* de azimut, lo que implica una reducción en la resolución geométrica en azimut en un factor igual al número de looks. La resolución geométrica en distancia (*range resolution*) es una función del ancho de banda de la señal radar transmitida.

El hecho de que el sistema funcione de forma coherente de extremo a extremo significa que tanto la relación de amplitud como la de fase entre las señales complejas transmitidas y recibidas se mantienen a lo largo de los instrumentos y la cadena de procesamiento. Esto facilita la síntesis de apertura, así como la interferometría de radar de múltiples pasadas utilizando pares de imágenes tomadas sobre la misma área en diferentes momentos.

Las características de los diferentes modos de adquisición se explican a continuación:

- Modo de franja o StripMap (SM):** Este modo está previsto para dar continuidad a las misiones ERS y Envisat. En este modo, el instrumento proporciona cobertura interrumpida con una resolución ligeramente mejor de 5 m x 5 m en un ancho de swath de 80 km. Seis pulsos generan seis swaths superpuestos que cubren un rango de 375 km. Para cada swath la antena está configurada para generar un haz con un azimut fijo y un ángulo de incidencia diferente.
- Modo de franja de cobertura interferométrica o Interferometric Wide Swath (IW):** Es el modo de adquisición predeterminado y principal de Sentinel-1 sobre tierra con resoluciones geométrica y radiométrica adecuadas para la mayoría de las aplicaciones. Los datos se adquieren en tres sub-swaths usando la Técnica de Observación de la Tierra con Escaneo Progresivo (TOPSAR, *Terrain*

Observation with Progressive Scanning). En el modo IW, las ráfagas (bursts) se sincronizan de pasada a pasada para garantizar la alineación de pares interferométricos.

Permite combinar un gran ancho de *swath* (250 km) con una resolución geométrica moderada (5 m x 20 m).

- c) **Modo de franja extra ancha o *Extra-Wide swath* (EW):** De forma análoga al modo IW, el modo EW emplea la técnica TOPSAR para adquirir datos en un área más amplia utilizando para ello 5 sub-swaths en lugar de 3 del modo IW. El modo EW adquiere datos a lo largo de un swath de 400 km a una resolución espacial de 20 m x 40 m, proporcionando una cobertura de swath muy grande en detrimento de su resolución espacial.
- d) **Modo de onda o *Wave* (WV):** En este modo de adquisición los datos se capturan en pequeñas escenas de Stripmap llamadas viñetas (vignettes), de 20 km x 20 km, con una resolución espacial de 5 m x 5 m, situadas a intervalos regulares de 100 km a lo largo de la trayectoria de la órbita. Las vignettes se adquieren alternando.

WV es el modo operativo de Sentinel-1 en mar abierto. Este modo, junto con los modelos globales de onda oceánica, puede ayudar a determinar la dirección, la longitud de onda y la altura de las olas en los océanos abiertos.

Las características principales de cada modo de adquisición en Sentinel 1 se resumen en la Tabla 3:

Característica	SM	IW	EW	WV
Ancho swath	80 km	250 km	410 km	-
Cobertura en terreno de una <i>vignette</i>	-	-	-	20 x 20 km
Opciones de polarización	Dual HH+HV, VV+VH Single HH, VV	Dual HH+HV, VV+VH Single HH, VV	Dual HH+HV, VV+VH Single HH, VV	Single HH, VV
Resolución espacial	5 x 5 m	5 x 20 m	20 x 40 m	5 x 5 m

Tabla 3 Características principales de los modos de adquisición Sentinel 1

En relación con las **aplicaciones** de los productos derivados, los modos principales sin conflicto de Sentinel-1 son:

- Supervisión de la tierra: modo IW, con polarización VV+VH.
- Supervisión mar abierto: modo WV, con polarización VV.

El modo EW se usa principalmente para la supervisión de zonas amplias de costa en mares europeos seleccionados, áreas del Ártico y del océano Austral, en aplicaciones relacionadas con el tráfico marítimo, posibles derrames de petróleo y para la supervisión del hielo marino.

El modo SM solo se usa para islas pequeñas y bajo petición, para eventos extraordinarios como la gestión de emergencias.

Disponer del modo IW como el modo operativo principal sobre tierra, satisface la mayoría de los requisitos de servicio actuales, evita conflictos y preserva el rendimiento de visitas, simplifica la planificación de misiones, reduce los costos operativos y crea un archivo coherente a largo plazo.

En la Figura 25 se muestra el escenario de observación Sentinel-1 en términos de modo de adquisición, polarización y geometría de observación.

Sentinel-1 Constellation Observation Scenario: Mode - Polarisation - Observation Geometry

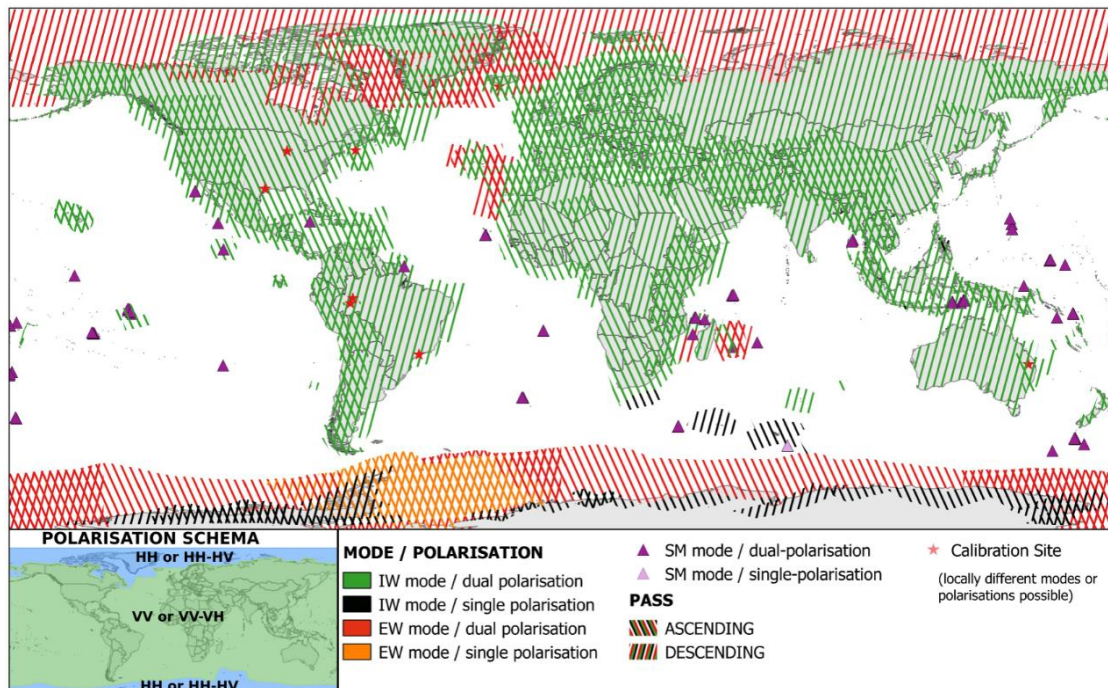


Figura 25 Escenario de observación Sentinel 1. Modo, polarización y geometría de observación

3.3 Escenarios de adquisición

Sentinel-1 implementa un escenario de observación de misión predefinido, haciendo uso del ciclo de trabajo SAR dentro de las limitaciones técnicas del sistema. Este escenario tiene como objetivo cumplir en primer lugar con los requisitos de observación de los servicios Copernicus y de los Estados miembros de la ESA/UE. Como objetivo secundario se establece satisfacer a otras comunidades de usuarios de SAR, garantizando la continuidad de otras misiones como ERS y Envisat, teniendo en consideración los requisitos de la comunidad científica, así como de los socios internacionales y las actividades de cooperación.

La elaboración de un plan de observación predefinido requiere resolver, a priori, posibles conflictos en la gestión de las demandas de las peticiones (por ejemplo, diferentes modos de adquisición SAR o esquemas de polarización requeridos sobre la misma área geográfica).

Durante la fase de explotación, el plan de observación Sentinel-1 ha evolucionado en su capacidad operativa. En consecuencia, las observaciones y el volumen de datos disponibles para los usuarios operacionales de Sentinel-1 han aumentado durante este período.

Dentro del plan de observación predefinido, la misión Sentinel-1 asegura observaciones que cumplen las siguientes categorías principales de servicios:

- Servicios de supervisión relacionados con océanos, mares y hielo marino. Estos servicios requieren datos quasi real-time o near real-time, generalmente en menos de 3 horas y, en algunos casos, en menos de 10 minutos. Los servicios que requieren datos dentro de la primera hora desde su detección precisan su recepción desde estaciones locales. La mayoría de estos tipos de servicios de supervisión requieren observaciones sistemáticas o muy frecuentes (por ejemplo, diarias).
- Servicios/aplicaciones sobre la tierra. Estos servicios o aplicaciones cubren una amplia gama de diferentes dominios temáticos. Por lo general, no requieren datos quasi real-time y pocos de ellos requieren datos dentro de las 3 horas (near real-time) desde su detección. Los datos relacionados se

registran a bordo y se descargan a la red central de estaciones terrestres. Estos productos están disponibles dentro de las 24 horas desde su detección.

La estrategia de observación de alto nivel Sentinel-1 está basada en:

- Uso óptimo del ciclo de trabajo SAR (25 min/órbita), teniendo en cuenta las diversas limitaciones, entre las que se encuentran, por ejemplo, la limitación del número de conmutadores de RF de banda X, tiempos de transición de modo, tiempo máximo de descarga por órbita y tiempo máximo de descarga consecutivos.
- Uso óptimo de las adquisiciones de polarización simple y doble, de acuerdo con la capacidad de descarga disponible.
- Modo WV operado continuamente sobre océanos abiertos, con menor prioridad en comparación con los modos de alta velocidad.
- Modos IW y EW operados en áreas geográficas predefinidas:
 - Sobre tierra y zonas costeras: el modo predefinido es IW.
 - Sobre mares y áreas polares, y áreas relevantes del océano, el modo predefinido es EW.

Sólo en casos excepcionales las solicitudes de observación de emergencia pueden alterar el escenario de observación predefinido, lo que podría requerir el uso del modo SM.

Sobre tierra se usa sistemáticamente el mismo esquema de polarización SAR en un área determinada, para garantizar series temporales de datos en las mismas condiciones para los servicios operativos de rutina y para permitir aplicaciones InSAR. Dependiendo del área, la selección de la polarización es vertical u horizontal, la elección se realiza de acuerdo con la aplicación principal. Como regla general, el esquema de polarización utiliza la siguiente lógica:

- Polarización HH-HV o HH para la supervisión de ambientes polares y zonas de hielo marino.
- Polarización VV-VH o VV para el resto de zonas de observación (con una excepción en la zona del Mar Báltico observada parcialmente en polarización HH-HV durante el invierno septentrional, en órbitas descendentes).

Sentinel-1 Constellation Observation Scenario: Revisit & Coverage Frequency

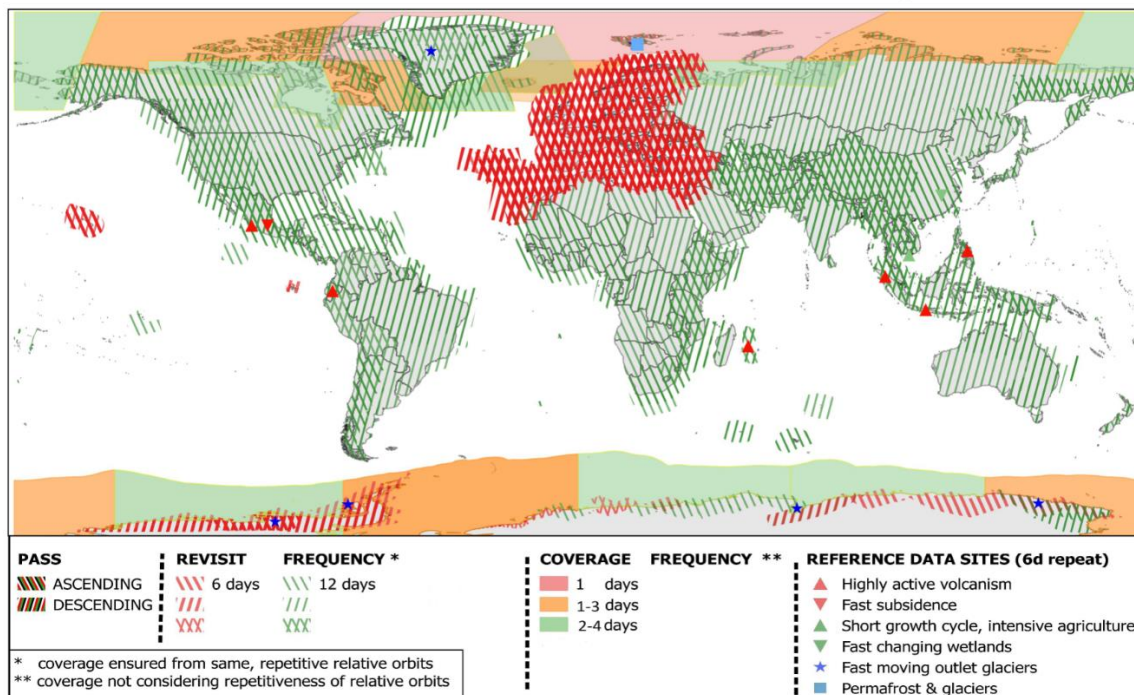


Figura 26 Escenario de observación Sentinel 1. Frecuencia de revisita y cobertura

El Plan de Operaciones de Alto Nivel de Sentinel (HLOP, *Sentinel High Level Operations Plan*) proporciona detalles específicos sobre el concepto y la estrategia de operaciones de alto nivel de las misiones de Sentinel.

Se puede consultar el [archivo](#) para ver una lista completa de los mapas de escenarios de observación de Sentinel-1A que se remontan al inicio de las operaciones Sentinel-1A (septiembre de 2014).

Las Figura 25 y la Figura 26 describen el escenario general de observación de la constelación Sentinel-1, a partir de abril de 2019, en términos de: modo SAR, polarización, geometría de observación, revisita y frecuencia de cobertura. En estas figuras no se muestra el modo WV, ya que es operado continuamente por defecto en océanos abiertos.

3.3.1 Planificación

La información detallada de la planificación de futuras observaciones Sentinel-1 en términos de adquisición (modo SAR, fecha, horas de inicio - detención, polarización, etc.) está disponible en la página [Segmentos de Adquisición](#) en forma de ficheros kml.

Se puede consultar también el [archivo](#) de planificaciones anteriores para disponer de una lista completa de los archivos kml más antiguos, que se remontan a abril de 2015.

- Cada archivo kml cubre generalmente un período de 12 días. La hora de inicio y finalización de la información de planificación contenida en el kml se define en el nombre del archivo.
- Se proporcionarán archivos kml actualizados en caso de cambios en la planificación definida por un archivo kml previamente publicado. En algunos casos, especialmente cuando se necesitan cambios de última hora para atender las solicitudes del Servicio de Emergencias de Copernicus (*Copernicus Emergency Management Service*), el último archivo kml puede ser más corto que el anterior, cubriendo solo unos pocos días. En este caso, un archivo actualizado kml de duración estándar se publicaría 1 o 2 días después.
- Se proporcionarán regularmente nuevos archivos kml para cubrir los próximos ciclos de misión.

En cuanto a la información proporcionada por los archivos KML se destaca lo siguiente:

- El archivo kml muestra las huellas de los datos planificados en el mapa (Figura 27) utilizando la siguiente convención:
 - Los datos planificados capturados en modo de adquisición **IW** son resaltados en **rojo**.
 - Los datos planificados capturados en modo de adquisición o **EW** son resaltados en **verde**.
 - Los datos planificados capturados en modo de adquisición **SM** son resaltados en **negro**.

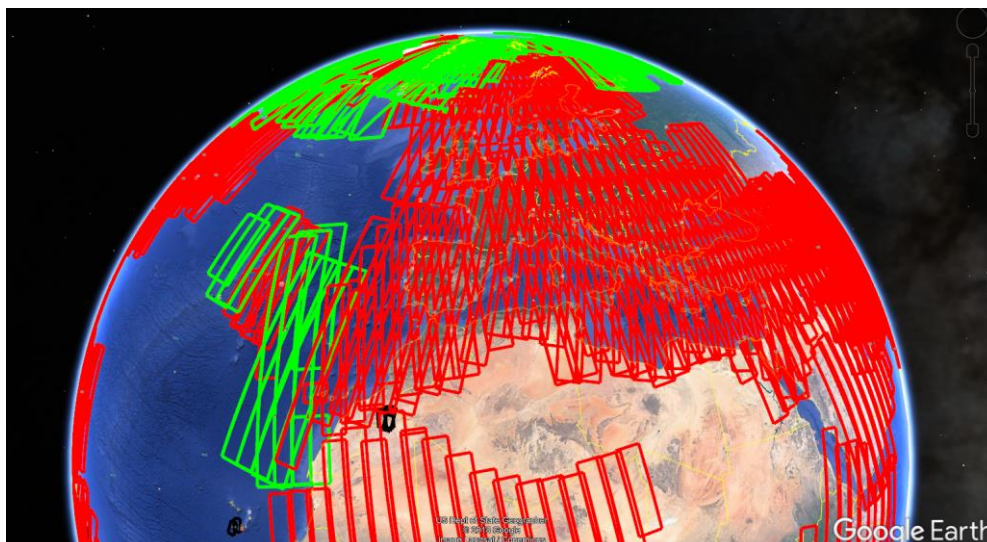


Figura 27 Huella de los datos planificados en el fichero kml

- Al pulsar sobre cada dato, se facilitan los siguientes detalles (Tabla 17 y Figura 28).

Parámetro	Descripción	Ejemplo
Satellite ID	Identificador del satélite. En este caso siempre Sentinel-1A	S1A
Datatake Id	Se corresponde con un único identificador del producto (valor hexadecimal). Este identificador es también utilizado en el nombre del fichero de cualquier producto generado	36153
Mode	Modo de adquisición del instrumento (IW, EW, SM)	IW
Swath	Swath (de 1 a 6 para el modo SM, no aplicable para los modos IW y EW)	N/A
Polarisation	Polarización del instrumento para la adquisición del Datatake. Posibles valores: - DV: VV-VH - DH: HH-HV - SV: VV - SH: HH	DV
ObservationTimeStart	Fecha de inicio y tiempo UTC del <i>Datatake</i> planificado	2019-10-29T11:53:15
ObservationTimeStop	Fecha de parada y tiempo UTC del <i>Datatake</i> planificado	2019-10-29T11:54:49
ObservationDuration	Duración del planificado <i>Datatake</i> en segundos	94
OrbitAbsolute	Número de órbita absoluta a la hora de inicio del <i>Datatake</i>	29673
OrbitRelative	Órbita relativa a la hora de inicio del <i>Datatake</i> (<i>track number</i>)	26

Tabla 4 Descripción de la información suministrada en los archivos kml de planificación

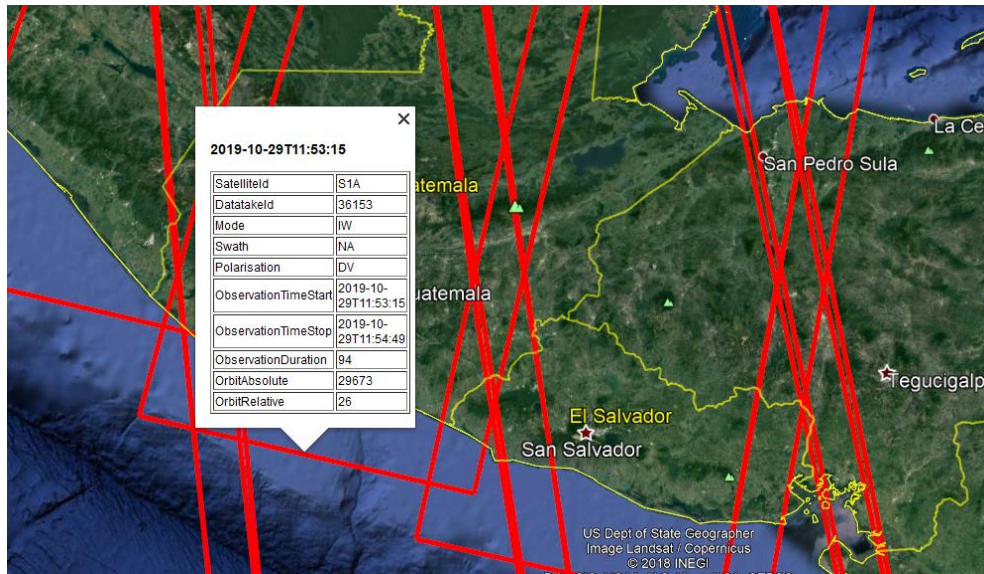


Figura 28 Detalles proporcionados al identificar cada elemento del fichero kml

3.3.2 Resolución temporal y cobertura geográfica

Este apartado describe la frecuencia de revisita y la cobertura proporcionada por los modos principales de Sentinel-1. La constelación Sentinel-1 ofrece una mejora en el tiempo de revisita respecto a las misiones ERS-1/2 y ENVISAT ASAR y una continuidad en la cobertura de ENVISAT ASAR, aportando una mayor resolución espacial y una cobertura de doble polarización potencialmente global sobre masas terrestres.

Sentinel-1A y Sentinel-1B comparten el mismo plano orbital, casi polar, sincrónico con el Sol, con una diferencia de fase orbital de 180° , con un ciclo de repetición de 12 días y 175 órbitas por ciclo.

Por tanto, un solo satélite Sentinel-1 es potencialmente capaz de cartografiar masas terrestres globales en el modo IW una vez cada 12 días, en una sola pasada (ascendente o descendente). La constelación combinada de los dos satélites ofrece por tanto un ciclo de repetición exacto de 6 días en el ecuador. Dado que el espaciado de la trayectoria de la órbita varía con la latitud, la tasa de revisita es significativamente mayor en las latitudes más altas que en el ecuador (Figura 121).

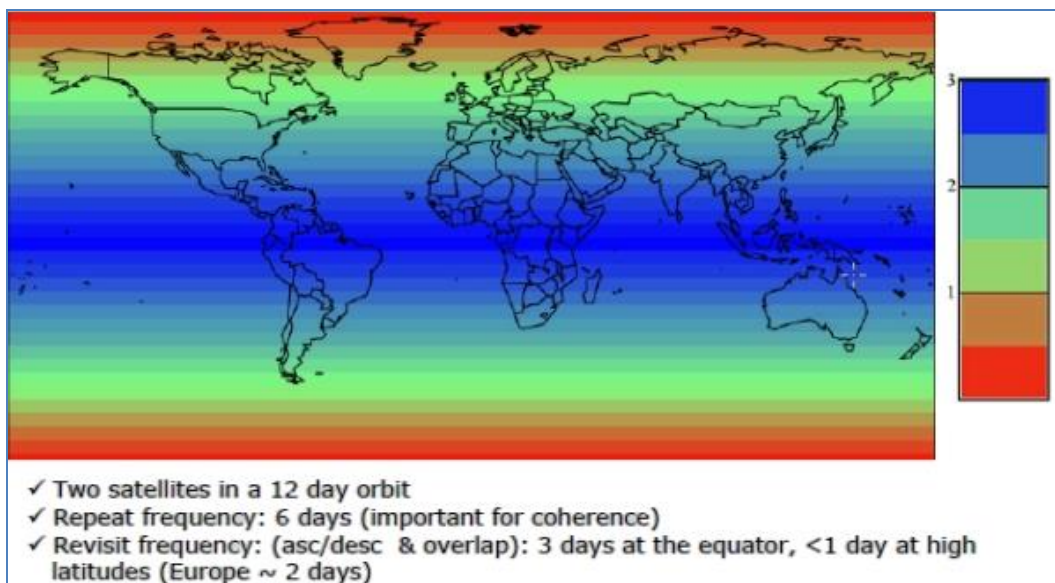


Figura 29 Frecuencia de revisita para S-1A y S-1B en días por revisita

3.4 Productos Sentinel 1

En este apartado se describen los tipos de productos y niveles de procesamientos Sentinel-1 generados por el Payload Data Ground Segment (PDGS) y distribuidos por la ESA, que incluyen:

- Datos brutos de **Nivel-0 SAR** (uso específico).
- Datos procesados de **Nivel-1 SLC - Single Look Complex** que comprenden imágenes complejas con amplitud y fase (distribución sistemática limitada a áreas específicas relevantes).
- Datos procesados de **Nivel-1 GRD - Ground Range Detected** únicamente con intensidad multi-looked (distribución sistemática).
- Datos procesados de **Nivel-2 OCN - Ocean** para parámetros geofísicos recabados del océano (distribución sistemática).

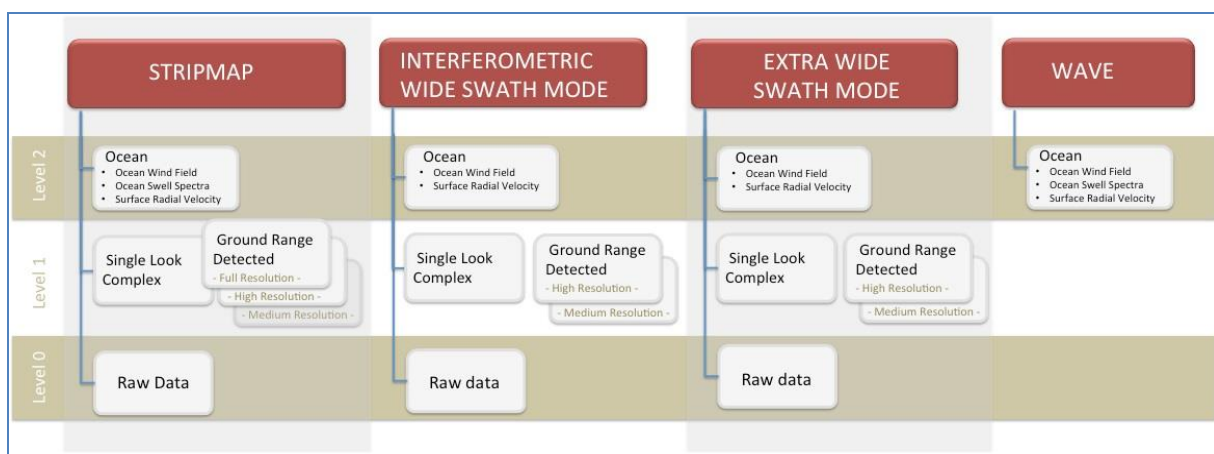


Figura 30 Productos Sentinel 1

Los productos están disponibles en polarización única (VV o HH) para el modo de adquisición WM y doble polarización (VV+VH o HH+HV) o polarización única (HH o VV) para el resto de los modos SM, IW y EW.

Estos productos están disponibles de forma sistemática y gratuita para todos los usuarios, incluidos el público en general, científicos y comerciales. Los datos se distribuyen 1 hora después de su recepción para el caso de la respuesta de emergencia en tiempo casi real (NRT, *Near Real Time*), dentro de las 3 horas para las áreas prioritarias NRT y en 24 horas para datos archivados sistemáticamente.

Todos los productos se distribuyen en formato de archivo estándar de Sentinel para Europa (SAFE, *Standard Archive Format for Europe*), con una denominación en función del modo de adquisición, tipo de producto y, en el caso de GRD de Nivel-1, también por su resolución.

En este documento nos referiremos a los productos GRD y SLC únicamente.

3.4.1 Single Look Complex (SLC)

Los productos Nivel-1 SLC son datos SAR georeferenciados utilizando información de la órbita y de la actitud del satélite.

Cada píxel de la imagen está representado por un valor de magnitud compleja (I y Q) y, por lo tanto, contiene información de amplitud y fase. Cada valor I y Q es de 16 bits por píxel. El procesamiento de todos los productos SLC produce como resultado una única vista (single look) en cada dimensión utilizando el ancho de banda completo de la señal disponible.

Los productos SLC se generan para todos los modos de adquisición:

- Productos Nivel-1 SLC StripMap (Nivel-1 SLC SM).
- Productos Nivel-1 SLC Interferometric Wide swath (Nivel-1 SLC IW).
- Productos Nivel-1 SLC Extra Wide swath (Nivel-1 SLC EW).
- Productos Nivel-1 SLC Wave (Nivel-1 SLC WV).

3.4.2 Ground Range Detected

Los productos Nivel-1 GRD consisten en datos SAR proyectados utilizando un modelo elipsoidal WGS84. Los píxeles incluyen el valor de amplitud, perdiéndose la información de la fase. El producto original tiene píxeles aproximadamente cuadrados. Tras la aplicación del procesamiento multi-look para la reducción del efecto de moteado o efecto “sal y pimienta” (speckle) se obtendrán píxeles cuadrados con pérdida de resolución.

Los productos de GRD están disponibles en tres resoluciones, que se caracterizan por el modo de adquisición: Stripmap (SM), Interferometric Wide swath (IW) o Extra-Wide swath (EW), y por el nivel de procesamiento multi-looking aplicado:

- Resolución completa (FR).
- Alta Resolución (HR).
- Resolución media (MR).



Figura 31 Tipos de resoluciones para productos Nivel-1 GRD

En la siguiente Tabla se proporciona un resumen de las resoluciones espaciales que dependen del modo de adquisición y del tipo de producto. Para el caso de productos Nivel-1 GRD se proporciona además una subclasificación por clase de resolución (completa, alta y media). Nótese que, en este último caso, la resolución completa (FR) solo está disponible en el modo de adquisición SM.

Modo Adquisición	Tipo producto	Clase Resolución	Resolución Distancia x azimut (m)
SM	SLC	-	1.7 x 4.3 a 3.6 x 4.9
		GRD	FR
	HR		23 x 23
	MR	84 x 84	
IW	SLC	-	2.7 x 22 a 3.5 x 22
		GRD	HR
	MR		88 x 87
EW	SLC	-	7.9 x 43 a 15 x 43
		GRD	HR
	MR		93 x 87
WV	SLC	-	2.0 x 4.8 y 3.1 x 4.8
	GRD	MR	52 x 51

Tabla 5 Modos de adquisición, productos y resoluciones de estos últimos en Sentinel 1

3.4.3 Distribución de productos

Todos los productos se procesan directamente desde el producto Nivel-0 SAR. Cada modo de adquisición puede generarse en los niveles de procesamiento Nivel-1 SLC, Nivel-1 GRD y Nivel-2 OCN.

Las operaciones del segmento Tierra Sentinel-1 implementan un escenario de producción predefinido de referencia. Este escenario prevé el procesamiento sistemático y la difusión en línea de todos los datos Sentinel-1 adquiridos en modos IW, EW y SM en productos GRD de Nivel-0 y Nivel-1.

Además, se complementa con el procesamiento también sistemático y la difusión en línea de:

- Para el modo WV, los productos de Nivel-0 SAR no se distribuyen.
- Productos Nivel-1 SLC para todos los datos adquiridos del modo WV (activo desde octubre de 2016 para Sentinel-1B y desde mayo de 2017 para Sentinel-1A).
- Productos Nivel-1 SLC para todos los datos adquiridos en modo IW en áreas regionales específicas. Las áreas geográficas donde los productos Nivel-1 SLC se generan sistemáticamente han ido creciendo desde la apertura del acceso a datos en línea el 03/10/2014.
- Productos Nivel-2 OCN para todos los datos adquiridos del modo WV (activo desde julio de 2015 para Sentinel-1A y desde octubre de 2016 para Sentinel-1B).
- Productos Nivel-2 OCN para todos los datos adquiridos en modo IW y EW en regiones específicas.

3.4.4 Nomenclatura de archivos Nivel-1 GRD

En este caso, para mayor claridad, se acompañan las descripciones con un ejemplo de un producto concreto:

S1A_IW_GRDH_1SDV_20180413T175451_20180413T175516_021452_024F10_6834.SAFE

El nombre de la carpeta del producto Sentinel-1 de nivel superior se compone de caracteres alfanuméricos en MAYÚSCULAS separados por un guion bajo (_).

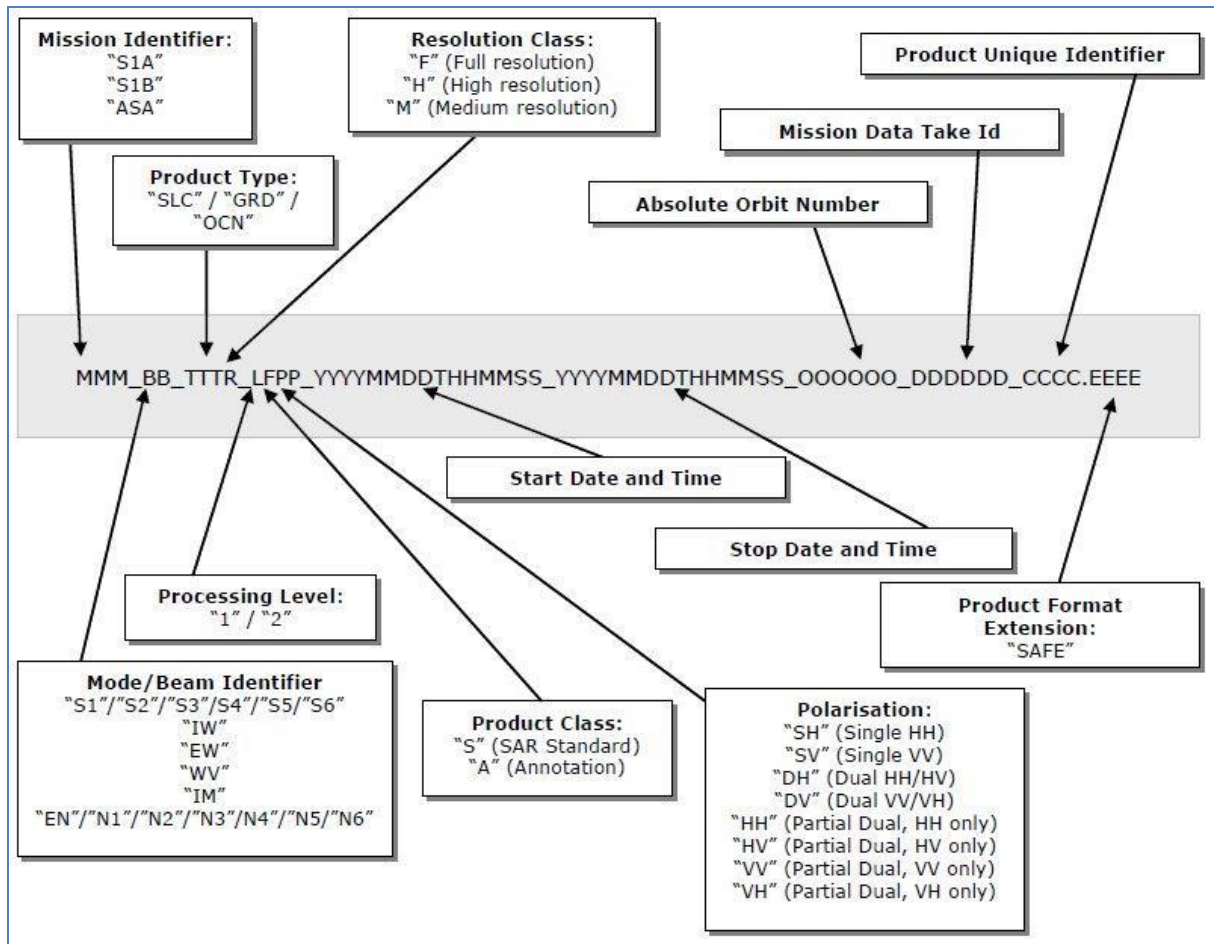


Figura 32 Nomenclatura de productos Nivel 1

- El identificador de la misión (MMM) indica el satélite y será S1A para Sentinel-1A o S1B para Sentinel-1B.
- El Modo / Haz (BB) identifica los haces S1-S6 para productos SM e IW, EW y WV para productos de sus respectivos modos de adquisición.
- El tipo de producto (TTT) puede ser SLC o GRD para el caso de productos Nivel-1.
- La clase de resolución (R) puede ser F (resolución completa), H (alta resolución), M (resolución media).
- El nivel de procesamiento (L) es en este caso 1.
- La clase de producto (F) puede ser estándar (S) o Anotación (A). Los productos de anotación son únicamente utilizados internamente por el PDGS y no se distribuyen.
- La polarización (PP) puede ser:
 - SH (polarización única de HH).
 - SV (polarización única VV).
 - DH (doble polarización HH+HV).
 - DV (doble polarización VV+VH).
 - HH (doble polarización parcial, solo HH).
 - HV (doble polarización parcial, solo HV).
 - VV (doble polarización parcial, solo VV).

- VH (doble polarización parcial, solo VH).
- La fecha y hora de inicio y finalización del producto se muestran con catorce dígitos que representan la fecha y la hora, separados por el carácter 'T'.
- El número de órbita absoluta en el momento de inicio del producto (OOOOOO) estará en el rango 000001-999999.
- El identificador del datatake de la misión (DDDDDD) estará en el rango 000001-FFFFFF.
- Identificador único del producto (CCCC) como cadena hexadecimal.
- La extensión de la carpeta siempre es "SAFE".

3.5 Aplicaciones

Sentinel-1 proporciona soporte a tres [servicios](#) prioritarios del programa Copernicus:

- [Copernicus Marine Environment Monitoring Service](#).
- [Copernicus Land Monitoring Service](#).
- [Copernicus Emergency Management Service](#).

Se puede encontrar más información sobre las áreas temáticas de Copernicus en la guía de [áreas temáticas](#).

Cada aplicación puede atenderse mejor con modos de adquisición y tipos de productos de Sentinel-1 específicos, como se muestra en la Tabla 6. El modo de IW es el modo de operación principal para la mayoría de las aplicaciones sobre Tierra.

Aplicación	Modo de adquisición			
	SM	IW	EW	WV
Zonas árticas y hielo marino		✓	✓	
Vigilancia de embarcaciones en mar abierto		✓	✓	
Vigilancia de la contaminación por hidrocarburos		✓	✓	
Vientos marinos		✓	✓	✓
Ámbito forestal		✓		
Agricultura		✓		
Cartografiado de deformaciones urbanas		✓		
Cartografiado de inundaciones	✓	✓		
Análisis de terremotos	✓	✓		
Vigilancia de deslizamientos y volcanes	✓	✓		

Tabla 6 Aplicaciones asignadas a distintos modos de adquisición

Nota: para varias islas volcánicas pequeñas en todo el mundo, desde mayo de 2015, se utiliza el modo SM para la cobertura regular. Esto se implementa en el caso de que una swath en modo SM cubra por completo la isla en una pasada, y no se lleven a cabo actividades de vigilancia marítima alrededor de la isla. El modo SM presenta swath más pequeño que el modo IW (80 km frente a 250 km), pero garantiza una resolución espacial más alta, de particular interés para la monitorización de volcanes.

3.5.1 Supervisión marina

a) Supervisión del hielo

Los servicios de cartografiado de zonas heladas a alta resolución proporcionan una clasificación del hielo y datos de los icebergs a los guardacostas nacionales, las armadas y a compañías navieras, para ayudar a garantizar una navegación segura durante todo el año en las zonas árticas y subárticas cubiertas de hielo. Para el hielo marino se puede determinar la información sobre la concentración de hielo, extensión, tipo,

espesor y velocidad de deriva. También permiten determinar la ubicación, el tamaño y la deriva de los icebergs. Los datos en doble polarización Sentinel-1 pueden mejorar significativamente la clasificación y discriminación del hielo, como se muestra en la Figura 33.

Mediante la detección de cambios en la extensión del hielo marino en el Ártico, se pueden evaluar los impactos ambientales en zonas costeras y en el transporte con datos Sentinel-1.

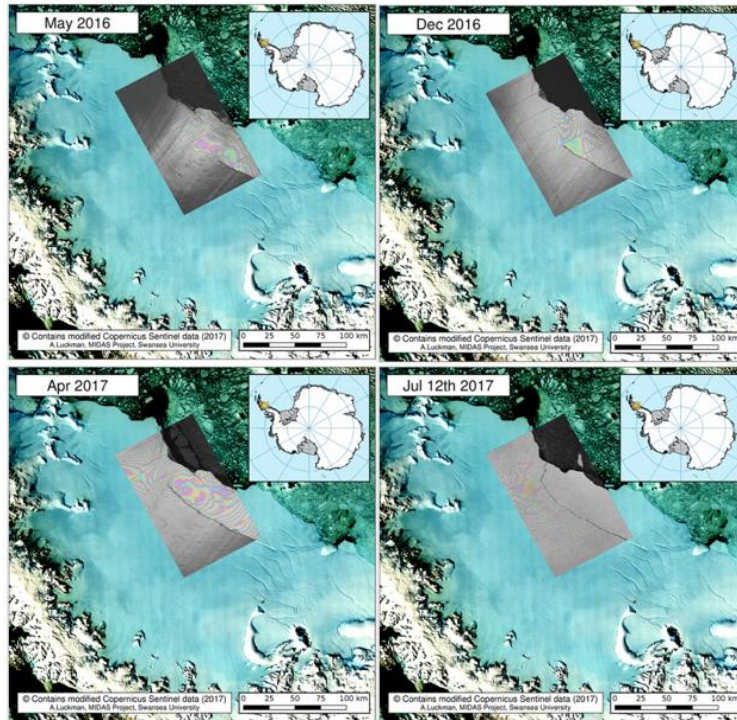


Figura 33 Monitorización de la plataforma de hielo Larsen C de la Antártida por la misión Copernicus Sentinel-1 entre mayo de 2016 y julio de 2017. Contiene datos modificados de Copernicus [2016-2017]

a) Vigilancia de embarcaciones en mar abierto

Sentinel-1 provee una amplia cobertura con tiempos de revisita mejorados y permite detectar embarcaciones más pequeñas que el instrumento ASAR de Envisat. La capacidad de la misión de observar en cualquier clima y de día o de noche, facilita una supervisión frecuente, haciéndolo ideal para la localización precisa de actividades de embarcaciones en el mar, lo que permite un uso más eficiente y rentable de otros activos de seguridad (Figura 34 y Figura 35). Los datos relevantes para la detección del buque son transmitidos por el satélite en tiempo real para su recepción por estaciones terrestres colaboradoras locales que prestan su apoyo a servicios europeos y nacionales.

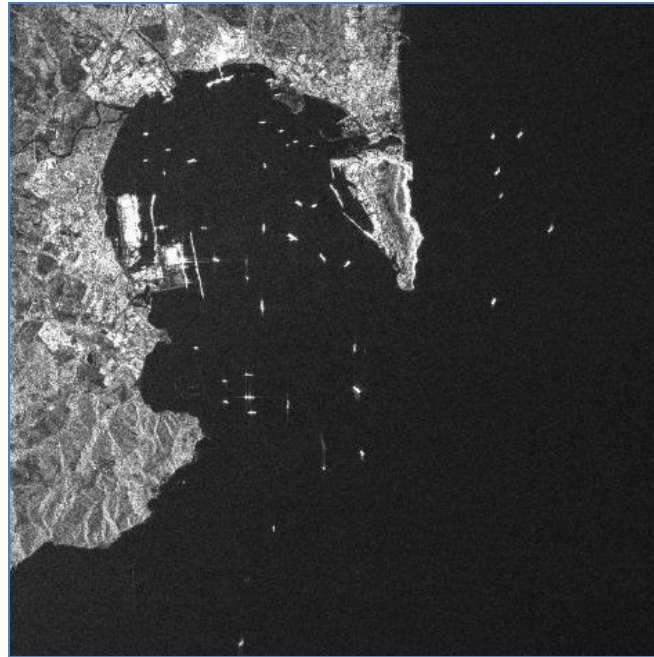


Figura 34 Embarcaciones detectadas entre Gibraltar y Algeciras en septiembre de 2017 con datos Sentinel-1

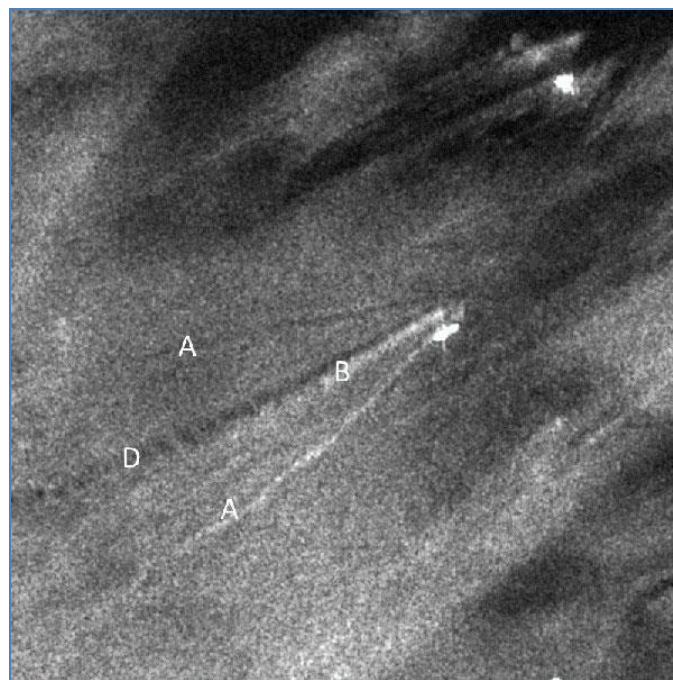


Figura 35 Patrón clásico de la estela de una embarcación en imágenes SAR (S-1A Modo SM, Copernicus Data [2015])

b) Vigilancia de la contaminación por hidrocarburos

La contaminación del océano debido a derrames de hidrocarburos es un importante peligro ambiental. Aunque los accidentes de los petroleros son bien conocidos, no son la causa principal de este tipo de eventos. Las descargas ilegales de barcos que vacían su sentina antes de entrar en puerto o las producidas por plataformas de perforación, accidentes en tuberías o fugas naturales, entre otros, reúnen a la mayoría de las fuentes de contaminación por hidrocarburos en el océano.

Las aplicaciones relacionadas con su detección a partir de la Observación de la Tierra basada en satélites es una herramienta adicional para proporcionar información estratégica para la planificación de operaciones de

respuesta al derrame, mediante la recopilación de evidencias de descargas ilegales, evaluando la extensión inicial y analizando su propagación e impacto. Las manchas de hidrocarburos son claramente visibles en las imágenes SAR, apareciendo zonas oscuras debidas a la ausencia de retrodispersión por reflexión especular.

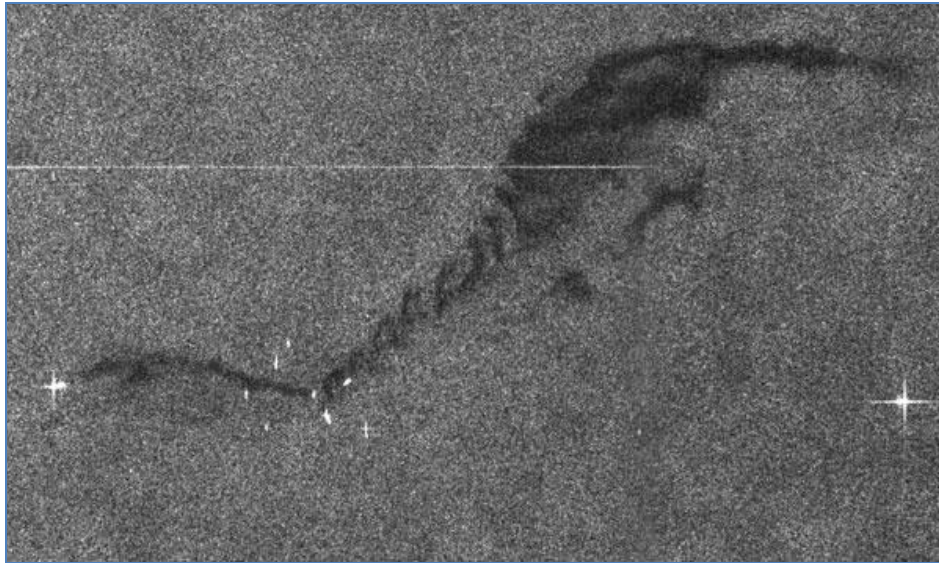


Figura 36 Derrame de petróleo observado en la costa belga cerca de Zeebrugge (Bélgica) el 10/08/2015 después de una colisión entre dos buques

Con objeto de determinar las fuentes y encausar a los infractores, las detecciones pueden además correlacionarse con las transmisiones de información del Sistema de Identificación Automática (AIS, *Automatic Identification System*) o de Identificación y Seguimiento a Largo Plazo (LRIT, *Long-Range Identification and Tracking*) de los buques. Los datos relevantes para la supervisión de derrames de petróleo son transmitidos por el satélite en tiempo real para su recepción por estaciones terrestres colaboradoras locales que prestan su apoyo a servicios europeos y nacionales.

Otra aplicación está relacionada con la detección de filtraciones de petróleo de origen natural desde el fondo del océano, que puede proporcionar pistas para futuras prospecciones de petróleo.

c) Vientos marinos

El SAR es sensible a los patrones de rugosidad de la superficie que varían espacialmente y que son causados por los vientos en la superficie del océano (Figura 37). Los productos oceánicos Sentinel-1, junto con los modelos de ola oceánica global, ayudan a determinar la dirección, longitud de onda y alturas de las olas en océanos abiertos, proporcionando soporte en la predicción del clima, el transporte de embarcaciones y las aplicaciones relacionadas con la energía de las olas.

Las estimaciones de los campos de viento también juegan un papel importante en la supervisión de derrames de hidrocarburos, permitiendo discriminar causas accidentales de los vertidos voluntarios reales.

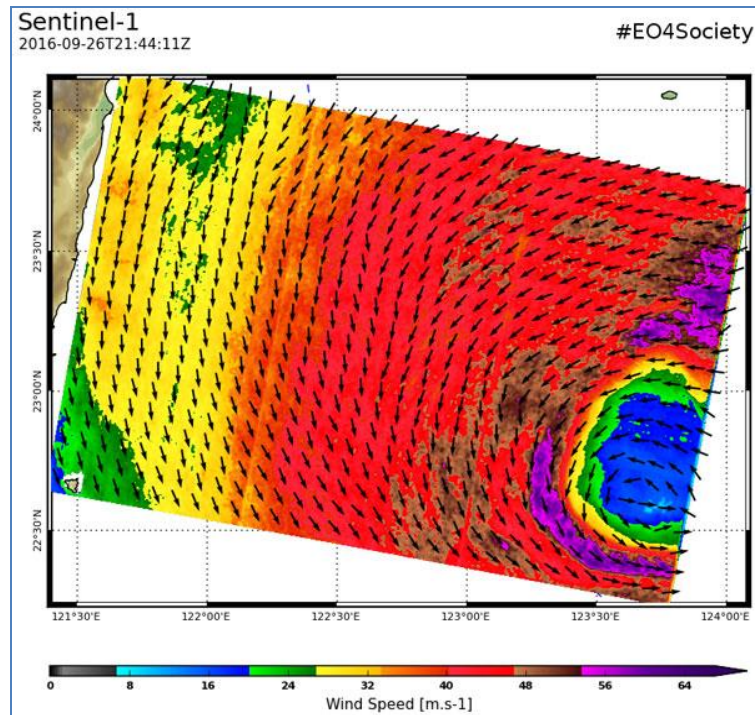


Figura 37 Velocidad del viento derivada de datos Sentinel-1 sobre el tifón Megi, procesada como parte del proyecto de estudio de ciencias del océano ESA/SEOM 4 #EO4Society

Además, Sentinel-1 proporciona datos de las interacciones entre las olas del océano y las corrientes, permitiendo la visualización de corrientes oceánicas a gran escala, masas de agua fría / caliente, corrientes de agua costeras y ondas internas.

3.5.2 Supervisión de la Tierra

a) Aplicaciones forestales

Sentinel-1 puede desempeñar un papel importante en la gestión forestal sostenible con la *clear-cut* and *partial-cut detection*, clasificación del tipo de bosque, estimación de biomasa y detección de perturbaciones.

Para aplicaciones relacionadas con el cambio climático, el estudio y la delimitación de incendios forestales tiene un elevado interés medioambiental, dado que estos pueden cambiar ciertos ecosistemas, y son una importante fuente de aerosoles y gases de efecto invernadero. Su detección automática empleando series MultiTemporales de Coherencia (MTC) calculadas a partir de imágenes radar Sentinel-1, permiten disponer de un historial de la presencia de carbono de un bosque, jugando un papel fundamental en la estimación de las emisiones de carbono.

En este ámbito de aplicación, se han obtenido buenos resultados en la delimitación de zonas quemadas mediante el análisis de imagen radar MTC, lo cual abre la posibilidad de su uso en evaluación de daños (Donezar Hoyos et al., 2017).

Finalmente, la cartografía de la cobertura terrestre se puede utilizar para apoyar la gestión forestal y la supervisión de extracción ilegal de madera en todo el mundo.

b) Agricultura

La supervisión de las condiciones de los cultivos, las propiedades del suelo y el cartografiado de actividades de labranza *tillage*, ayudan a evaluar el uso de la tierra, predicen las cosechas, supervisan los cambios estacionales y apoyan la implementación de políticas para el desarrollo sostenible. Sentinel-1 también se puede utilizar para cartografiar los cambios en la producción agrícola y la productividad de los pastizales

causados por la sequía, para monitorizar la disminución de la productividad de la tierra y para evaluar la degradación del suelo debido al cultivo excesivo, al pastoreo o la irrigación inadecuada.

Los mapas agrícolas permiten la provisión de estimaciones independientes y objetivas de la extensión del cultivo en un país determinado o en una temporada de crecimiento, que puede utilizarse para respaldar los esfuerzos para garantizar la seguridad alimentaria en las zonas vulnerables.

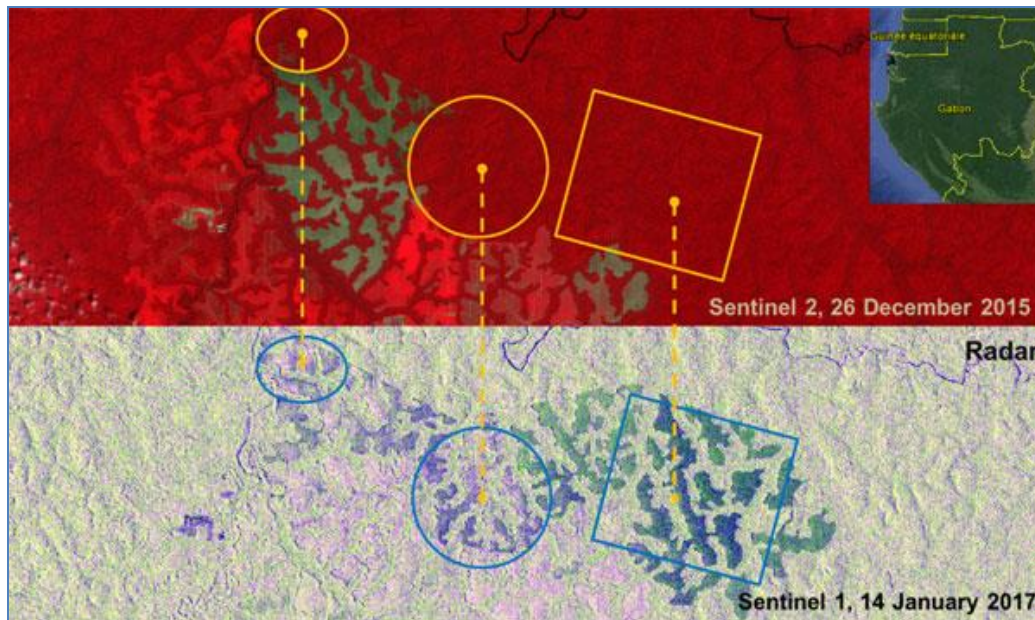


Figura 38 Cartografiado de la expansión de la plantación de caucho con Sentinel-2/Sentinel-1

La clasificación de cultivos es una de las aplicaciones agrícolas más importantes de teledetección. Aunque la teledetección radar se comenzó a desarrollar hace ya cuatro décadas, sus aplicaciones operacionales son aún mucho menores que las basadas en teledetección óptica. Con la puesta en marcha de misiones como Sentinel-1, se están desarrollando nuevas aplicaciones basadas en este tipo de observaciones, aprovechando las ventajas de que su señal no se ve afectada por la nubosidad, además de proporcionar información sobre características geométricas y dieléctricas de las cubiertas que puede ser útil para discriminar algunos cultivos que no se podrían distinguir sólo con imágenes ópticas.

En cuanto a las características técnicas de los productos a utilizar, se han realizado diversos estudios con diferentes bandas respecto a las longitudes de onda apropiadas a la hora de clasificar cultivos, y se ha demostrado que la banda C es muy útil para aplicaciones agrícolas. Respecto a la polarización, se concluye que la opción de polarización dual (VV-VH) puede ser una alternativa interesante para estas aplicaciones, destacando además el hecho de que el breve periodo de revisita favorece la disponibilidad de series multitemporales.

c) Control de deformaciones y deslizamientos de ladera

La interferometría diferencial radar (DInSAR) es una técnica para la monitorización de movimientos de la superficie con precisión milimétrica que utiliza imágenes SAR. Uno de los principales inconvenientes de dicha técnica ha sido la dificultad de obtener datos con una alta frecuencia temporal y a un precio reducido. Por ejemplo, durante las últimas dos décadas los satélites en banda C de la ESA, ERS-1/2 y ENVISAT, han proporcionado una gran cantidad de imágenes a precio reducido o gratuito, pero con una frecuencia temporal baja e irregular. Por otro lado, los satélites comerciales de la última década, tales como Radarsat-2 (banda C), Cosmo-SkyMed y TerraSAR-X (banda X), ofrecen datos bajo demanda con reducidos tiempos de revisita, pero a precios elevados y con cobertura reducida.

La puesta en órbita de los satélites Sentinel-1A y 1B ha supuesto un enorme impulso a los productos DInSAR, ya que las imágenes son de descarga gratuita, con una frecuencia de adquisición elevada (hasta una

imagen cada 6 días en el mejor de los casos) y una cobertura extensa de cada imagen (250 × 250 km). Estos satélites permiten la monitorización continua de los movimientos de superficie en áreas extensas, permitiendo conocer la distribución espacial de las tasas de hundimiento.

En zonas urbanas esta técnica se aplica al control de hundimientos de tierra, daños estructurales o construcciones subterráneas, con el propósito de mejorar la seguridad y reducir pérdidas económicas.

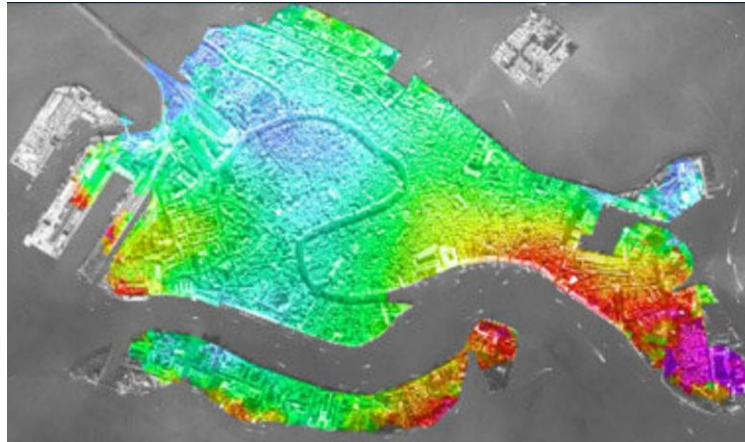


Figura 39 Subsidiencias en Venecia a partir de interferometría del satélite ERS-2. Fuente: ESA

3.5.3 Gestión de emergencias

a) Cartografiado de inundaciones

Más del 75% de los desastres naturales que ocurren en todo el mundo están relacionados con inundaciones. Las condiciones climáticas adversas durante los eventos de inundación hacen que el radar de apertura sintética sea un enfoque adecuado debido a su independencia con respecto al clima y la iluminación solar. Sentinel-1 proporciona una gran cantidad de datos con tiempos de revisita muy cortos, lo que mejora las capacidades de las actividades de respuesta a inundaciones.

Entre las aplicaciones en este ámbito se encuentra la evaluación del alcance de áreas inundadas mediante el cartografiado posterior al desastre (Figura 128). Además, los DEM de alta resolución generados a través de los modos interferométricos de Sentinel-1 se pueden utilizar para realizar análisis de escorrentía y de inundación en áreas que anteriormente carecían de ellos, alimentando los sistemas de alerta temprana.

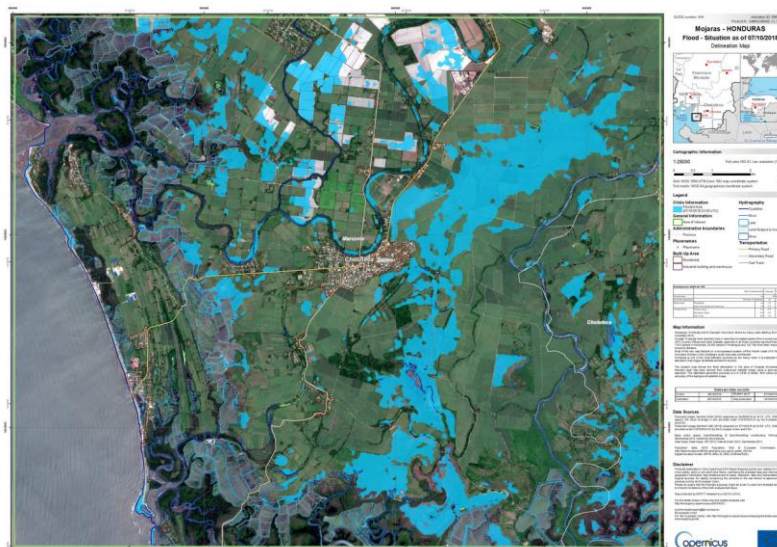


Figura 40 Cartografiado de áreas inundadas en Mojaras (Honduras) en 2018 a partir de la clasificación semiautomática de los datos de Sentinel-1. Mapa generado como parte del Servicio de gestión de emergencias de Copernicus (EMS)

b) Análisis de terremotos

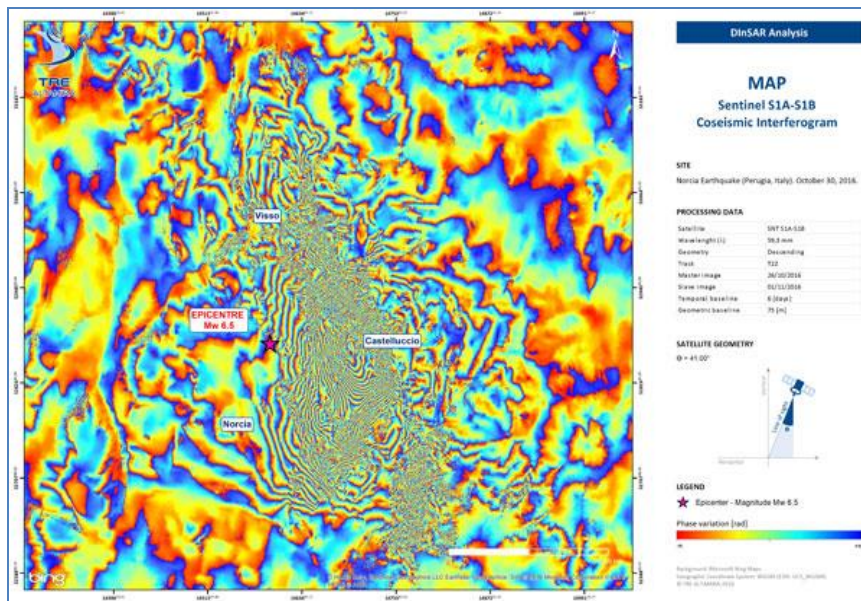


Figura 41 Interferograma coseísmico SAR en el terremoto del año 2016 en Italia central procesado por TRE ALTAMIRA. Cada ciclo de color (rojo-azul-amarillo) representa aproximadamente 3 cm de movimiento en la línea de visión del radar

InSAR proporciona la capacidad única de producir mapas de deformaciones de terremotos de media y alta resolución. A través de la supervisión constante de las áreas propensas a terremotos, se pueden descubrir las fallas activas y estudiar los riesgos potenciales. El modo de adquisición EW facilita el seguimiento de terremotos a gran escala.

c) Cartografiado de deslizamientos y terremotos

La técnica InSAR o DInSAR permite ubicar áreas propensas a deslizamientos de tierra y cartografiar la deformación de la superficie para proporcionar una alerta temprana ante posibles desastres y mejorar la supervisión de infraestructuras críticas. La contracción previa a la erupción y la contracción volcánica posterior a la misma pueden controlarse con técnicas interferométricas similares, constituyendo una técnica para complementar las redes in situ de los observatorios de volcanes. La supervisión InSAR puede ayudar a detectar los primeros signos de niveles crecientes de actividad volcánica, terremotos anteriores y otros precursores que pueden indicar erupciones.

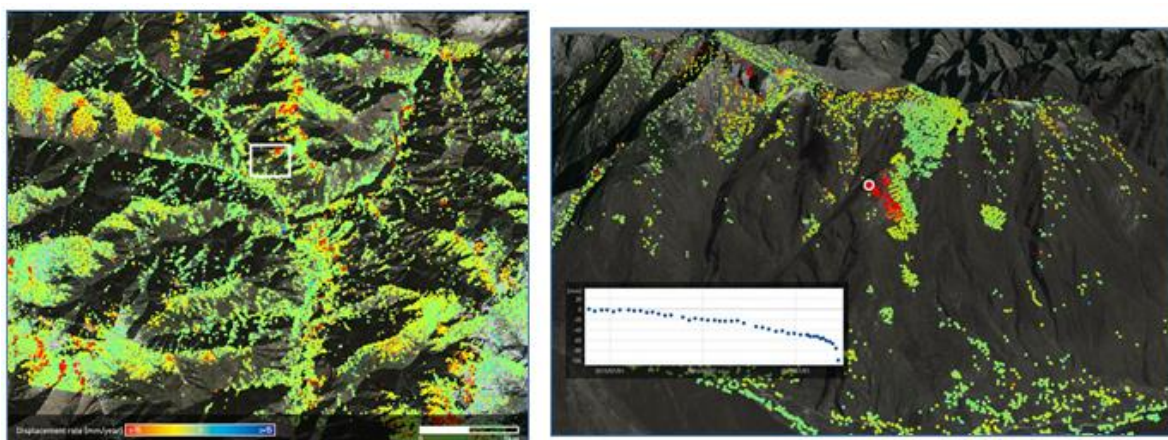


Figura 42 Mediciones DInSAR sobre el condado de Maoxian para el período de octubre de 2014 a junio de 2017 (arriba) y mediciones sobre el área de deslizamiento de tierra (abajo). La serie temporal de desplazamiento superpuesta revela un claro movimiento precursor meses antes del evento

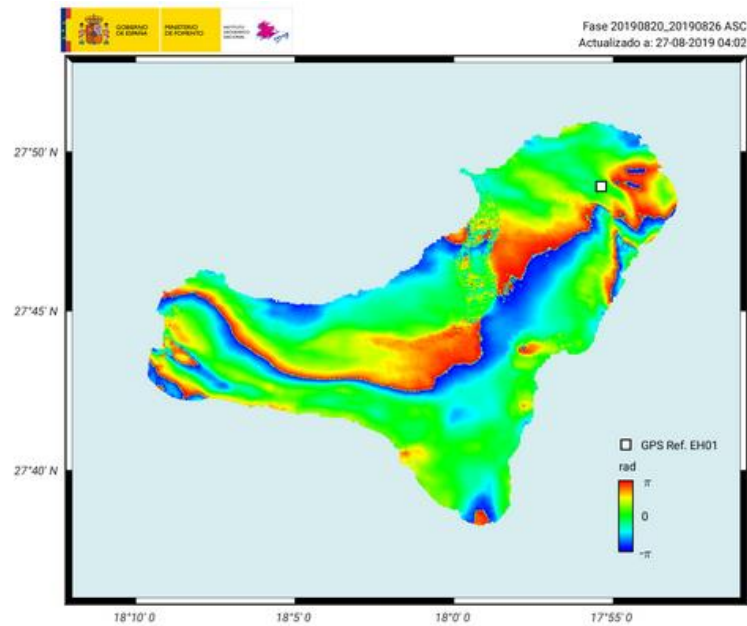


Figura 43 Interferograma enrollado de 6 días (frecuencia máxima) de dos imágenes Sentinel 1 sobre la isla de El Hierro. Fechas 20-08-2019 (master) y 26-08-2019 (slave). Cada ciclo de 2π en la imagen supone una deformación equivalente a la longitud de onda del radar (5.5 centímetros en el caso de Sentinel 1), en la dirección de la línea de visión del satélite

Referencias

- [1] <https://www.copernicus.eu>
- [2] <https://spacedata.copernicus.eu/>
- [3] <https://sentinel.esa.int>
- [4] *Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services* (ESA, 2012), documento accesible en la url: https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2_SP-1322_2.pdf.
- [5] *Sentinel-2 User Handbook* (ESA, 2015), documento accesible en la url: https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook.
- [6] ES-RS-ESA-SY-0007 *Mission Requirements Document for the European Radar Observatory Sentinel-1*
- [7] *L2A Product Definition Document* (Louis and Devignot, 2018)
- [8] Sentinel-2 Level-2A Prototype Processor: Architecture, Algorithms and First Results. Mueller-Wilm, 2016).
- [9] Sentinel-2 Products Specification Document.
- [10] Sentinel High Level Operations Plan (HLOP). https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/document-library/-/asset_publisher/1dO7RF5fJMbd/content/sentinel-high-level-operations-plan
- [11] Donezar Hoyos U, Larrañaga Urien A, Tamés Noriega A, Sánchez Gil C, Albizua Huarte L, Ciriza Labiano R, del Barrio Arellano F. 2017. Aplicación de imágenes Sentinel-1 y Sentinel-2 en la detección y delineación de información de crisis de desastres naturales. presented at the XVII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. Murcia. 325–328 pp.