

Hacia la implantación de una infraestructura de datos de imágenes de satélite en el Instituto Geográfico Nacional con Open Data Cube y QGIS

REVISTA **MAPPING**
Vol. 29, 203, 6-17
noviembre-diciembre 2021
ISSN: 1131-9100

First steps towards an infrastructure for satellite imagery in IGN Spain using Open Data Cube and QGIS

Damián Ortega Terol, Bruno Pérez Martín

Resumen

Desde la puesta en órbita del primero de los satélites Sentinel 1 en abril de 2014, el programa europeo de observación de la Tierra Copernicus se ha convertido en el programa más ambicioso de este tipo en la historia. El gran volumen de datos satelitales y su heterogeneidad permite estudios multitemporales enfocados en diversas aplicaciones, pero a su vez trae consigo una serie de problemas asociados vinculados principalmente a los dominios del paradigma *big data*. Con el objetivo de poner las imágenes a disposición del mayor número de usuarios posible, se han desarrollado diferentes iniciativas tanto a nivel público como privado. Entre estas soluciones destaca el proyecto *Open Data Cube* (ODC), que gracias a su carácter *open source* ha permitido su implantación operativa en varios países y regiones a lo largo y ancho del planeta; existen otras en desarrollo vinculadas en su mayoría a la monitorización de determinados indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Para poder alimentar una infraestructura de este tipo es necesario transformar los datos de satélite brutos en los denominados *Analysis Ready Data* (ARD) mediante su procesamiento sistemático. En este artículo se pretende realizar una revisión del estado de la cuestión de las implementaciones de infraestructuras destinadas a la recopilación, pre-procesado y diseminación de imágenes Sentinel, así como de la problemática en la generación de ARD en la península ibérica. Adicionalmente, serán descritos los resultados iniciales de los trabajos realizados: (i) desarrollo de un complemento para QGIS que permite entre otras funcionalidades, la puesta a disposición de imágenes Sentinel 1 y 2 a usuarios en cualquier lugar del mundo y la generación de determinados ARD para algunos productos, (ii) implementación de un piloto de *datacube* en zonas de interés de España empleando la tecnología ODC y (iii) documentación pormenorizada del entorno geotecnológico utilizado basado en soluciones FOSS4G (*Free and Open Source Software for Geospatial*).

Abstract

Since the launch of Sentinel 1 in April 2014, the European programme for Earth Observation Copernicus has become the most ambitious of its kind in history. The humongous amount of generated satellite data and its heterogeneity allows for multitemporal studies focused on a wide range of applications. However, it also poses a set of issues related mostly with the big data domain. With the aim of increasing the accessibility of imagery to the widest range of users, several initiatives have been developed both at the public and private spheres. Among these solutions we highlight the Open Data Cube (ODC) project, which has been implemented operationally in many countries and regions all over the world due to its open source nature. Most of the datacubes using ODC technology have been conceived for the monitoring of the Sustainable Development Goals. In order to feed this type of infrastructure it is necessary to transform the raw satellite data into the so-called Analysis Ready Data (ARD) by systematically processing them. In this article, a review of the state-of-the-art implementations of ODC for the systematic collection, pre-processing and dissemination of Sentinel imagery is intended, as well as its application to the Iberian Peninsula. In addition, the initial results of the tasks performed will be presented: i) the development of a QGIS plugin allowing, among other uses, the acquisition of Sentinel 1 and 2 imagery in any place of the world and the generation of ARD for certain products, ii) the implementation of an ODC pilot in areas of interest in Spain, and iii) a thorough documentation of the geo-technological environment used, based on FOSS4G (Free and Open Source Software for Geospatial).

Palabras clave: Open Data Cube, Copernicus, FOSS4G, complemento QGIS

Keyword: Open Data Cube, Copernicus, FOSS4G, QGIS plugin.

Instituto Geográfico Nacional.
Servicio Regional en Castilla-La Mancha
damian.ortega@correo.gob.es, bpmartin@mitma.es

Recepción 16/12/2019
Aprobación 20/12/2019

1. INTRODUCCIÓN

En la última década, los datos de teledetección procedentes de diferentes programas espaciales puestos a disposición de los usuarios de manera libre y abierta han crecido de forma importante y sin precedentes. Este tipo de datos poseen un gran valor debido al carácter global y consistente de la información que proporcionan. A su vez, la información extraída de este tipo de datos, junto con las herramientas que se desarrollen para su explotación, proporcionan un conocimiento fundamental para la toma de decisiones y la implementación de políticas de diverso tipo en cualquier país. Sin embargo, existen una serie de dificultades que impiden un efectivo empleo de imágenes de satélite en la realidad, los cuales obedecen a cuatro factores (Giuliani et al., 2017):

- a) El cada vez mayor número de imágenes y productos generados por satélites de observación de la Tierra. Esto comenzó en el año 2008 con la puesta a disposición del público general del archivo Landsat del USGS y definitivamente con la aparición del programa europeo Copernicus y la llegada de un volumen masivo de imágenes Sentinel a partir de 2014.
- b) Falta de conocimientos, de infraestructura o de ancho de banda para acceder de manera efectiva a los datos, procesarlos y emplearlos de una manera adecuada.
- c) El tipo específico de dato estructurado que supone el obtenido por teledetección, presentando unos retos determinados a la hora de integrarlos y analizarlos.
- d) El importante coste y esfuerzo asociados almacenamiento y procesamiento de los datos, el cual constituye un factor que limita la adopción de los datos.

De esta manera, se hizo evidente que los datos de observación de la Tierra debían ser considerados dentro de los dominios del *Big Data*, considerándolos como datos de gran tamaño, heterogéneos y complejos de explotar (Baumann et al., 2016). En los últimos años, y centrando este artículo únicamente en datos Copernicus Sentinel y Landsat, han surgido diferentes estrategias orientadas a la puesta a disposición de usuarios de diferente tipo de datos de observación de la Tierra y herramientas para extraer de ellos información útil para la obtención de información sobre el medio y la toma de decisiones:

- a) En el ámbito europeo, la Agencia Espacial Europea (ESA) actúa como organismo coordinador del componente espacio de Copernicus. Con el objetivo de complementar su segmento terreno

(el denominado *Core Ground Segment*) los Estados Participantes han desarrollado una serie de iniciativas encuadradas dentro del denominado Segmento Terreno Colaborativo (*Collaborative Ground Segment*, CollGS). Dentro de este marco, las actividades propuestas dentro de estos CollGS han sido variadas: el establecimiento de espejos de datos Sentinel y misiones contribuyentes sobre zonas de interés definidas por cada país; empleo de estaciones de recepción de datos para determinadas aplicaciones en tiempo real; desarrollo de herramientas de procesamiento de datos y aplicaciones, y desarrollo de actividades de calibración/validación complementarias, constituyendo en definitiva un punto de acceso único nacional a los datos Sentinel y los diferentes servicios Copernicus.

- b) Dentro del sector privado determinados proveedores de servicios se han constituido como agentes fundamentales en el mundo de la teledetección, mediante la provisión de infraestructuras de almacenamiento y procesamiento de datos de diferentes programas espaciales, no sólo de Copernicus, que permiten la ejecución sobre ellos de procesos que configuran un entorno en la nube. Entre ellos destacan los consorcios europeos agrupados dentro de los *Data and Information Access Services* (DIAS), así como grandes empresas e iniciativas como *Google Earth Engine* (GEE), *Earth en Amazon Web Services* (AWS) o *Planet*; pero también empresas pequeñas y medianas como la eslovena *Sinergise*.
- c) Un vibrante ecosistema de librerías destinadas a la consulta de diferentes catálogos de imágenes Sentinel y Landsat y su descarga, tales como *sentinelsat*, *sentinel-download*, *sat-download*, *aws-download* o *sentinelhub*; y de herramientas para el procesamiento de imágenes Sentinel, entre las que destaca *SNAP* (*Sentinel Application Platform*). La integración de estas librerías en entornos SIG también se ha producido, existen *plugins* de QGIS ya consolidados de gran utilidad, como el *Semi-Automatic Classification Plugin* (Congedo, 2016).

La acumulación de recursos orientados al descubrimiento, acceso y procesamientos de datos disponibles en una zona de interés genera a menudo confusión entre los usuarios, de un mismo conjunto de datos que se encuentra en diferentes puntos de acceso, y en ocasiones con diferentes niveles de procesamiento, lo que puede complicar un uso correcto de la ingente cantidad de información puesta a disposición por los operadores de los programas espaciales.

1.1. La generación de datos preparados para el análisis

Todas las iniciativas mencionadas en el apartado anterior presentan una complejidad derivada de la necesidad de poder almacenar los datos satelitales de tal manera que puedan ser intercomparables en el tiempo y entre plataformas-sensores. Esto implica partir de unos datos satelitales procesados a un nivel determinado que pueden o no reflejar el valor físico de la variable observada por los sensores y que suelen estar referidos a diferentes mallas. El proceso que transforma las imágenes puestas a disposición de los proveedores de imágenes, ya sean públicos o privados, a imágenes preprocesadas de una manera sistemática sobre una zona geográfica concreta tiene como resultado la generación de los denominados *Analysis Ready Data* (ARD). Estos ARD, según el *Committee on Earth Observation Systems* (CEOS), son datos satelitales que han sido procesados siguiendo un mínimo conjunto de requisitos y organizados de tal manera que permiten análisis intermedios con un mínimo esfuerzo del usuario y con interoperabilidad tanto en el tiempo como con otros conjuntos de datos. Considerando los datos Copernicus Sentinel 1 y 2 y Landsat, algunas de las diferentes iniciativas contempladas en el apartado anterior generan y ponen a disposición de los usuarios diferentes tipos de ARD, o bien proporcionan herramientas para la generación de los productos bajo demanda.

En el caso de Sentinel 2, la ESA sirve productos en *Level 1C* (corregidos geoméricamente, pero sin corrección atmosférica) y *Level 2A* (añadiendo la corrección atmosférica). Para la corrección geométrica se emplea un modelo digital de 10 metros de resolución y para la corrección atmosférica se emplea el módulo *Sen2Cor*, disponible libremente. Los productos en *Level 2A* se generan de manera sistemática en Europa desde marzo de 2018 y en el resto del mundo desde diciembre del mismo año. Algunos CollGS e infraestructuras privadas incorporan mejoras en el proceso de corrección geométrica o atmosférica mediante el uso de modelos digitales más precisos o diferentes librerías para las correcciones

atmosféricas como *Atmospheric and Radiometric Correction of Satellite Imagery* (ARCSI) o *Maccs-Atcor Joint Algorithm* (MAJA). En el caso de imágenes Landsat, los proveedores suelen incorporar el histórico de Landsat desde los años 80 del siglo pasado, con corrección atmosférica, permitiendo de esta manera realizar análisis multitemporales con datos desde hace más de 35 años.

En el caso de Sentinel 1 y sobre los productos más empleados en aplicaciones sobre masas terrestres, la ESA genera y sirve productos en *Level 1 Ground Sample Detected* (GRD) y *Single-Look Complex* (SLC). Los productos GRD son los más empleados en aplicaciones de detección de cambios y sobre los que se centrará el artículo. Corresponden a datos SAR observados, procesados con *multi-look* y proyectados según un modelo de elipsoide global; cada pixel de la imagen representa únicamente la amplitud detectada descartándose los datos de fase. A estos datos brutos, le siguen una serie de procesos destinados a convertir estos datos en ARD, con ligeras variantes según el organismo que los procese. No obstante, todos los flujos de trabajo incluyen aplicar órbitas precisas a las trayectorias de los satélites, extraer el ruido térmico de la imagen, compensar por la curvatura de la Tierra, calibrar los datos para obtener datos de retrodispersión, aplicar filtros de *speckle*, y reproyectar la imagen al sistema de referencia y proyección objetivo ((Truckenbrodt et al., 2019), (Filipponi, 2019)). La figura 1 muestra el flujo habitual en la generación de ARD para los conjuntos de datos habituales en la monitorización del territorio: Sentinel 2, Sentinel 1 y Landsat 5-7-8.

El principal problema en la generación de los ARD radica en la ausencia de estandarización en el flujo de operaciones, por lo que cada organización genera sus ARD aplicando diferentes criterios. Existen no obstante iniciativas encaminadas al establecimiento de criterios básicos o *frameworks* que permitan una cierta homogeneización e interoperabilidad entre ARD generados por diferentes instituciones, todo ello con el objetivo de permitir análisis globales. El más importante es el marco *CEOS Analysis Ready Data for Land* o CARD4L (*CEOS ANALYSIS READY DATA*, S. F.). Este marco de trabajo

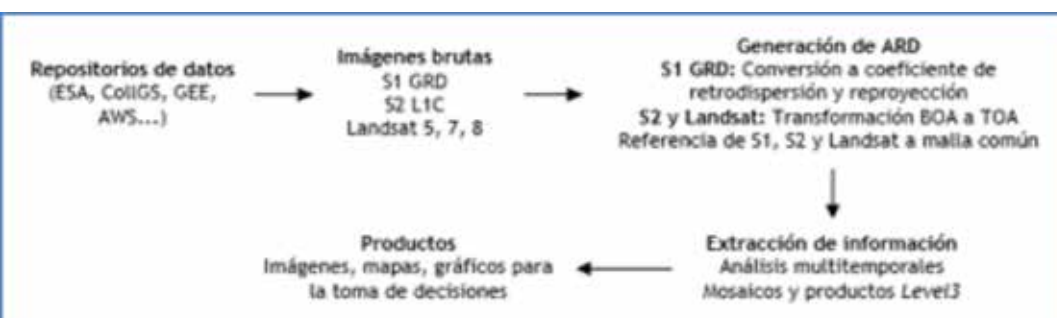


Figura 1. Flujo de trabajo habitual en la generación de ARD. Elaboración propia

pretende reflejar los atributos de los productos derivados de las medidas realizadas por satélites útiles para la mayoría de los usuarios de aplicaciones terrestres, y construir el nivel mínimo requerido para soportar

análisis de series temporales y la interoperabilidad de datos. Otra iniciativa en este sentido es el *Framework for Operational Radiometric Correction for Environmental monitoring* (FORCE), de la Universidad de Humboldt en Berlín, constituido como un sistema de procesamiento para la generación de ARD para datos ópticos ampliable a otras fuentes, como radar y variables medioambientales (FRANTZ, 2019).

1.2. Los cubos de datos o *datacubes* en la teledetección. Open Data Cube

Una vez descargados los datos y tras su procesamiento a ARD, es necesario disponer de una plataforma capaz de aprovechar el potencial de estos datos preprocesados. Frente a la complejidad de poder almacenar y procesar un conjunto de datos cada vez más variado y abundante, y con la filosofía de centralizar el proceso de descarga y preprocesado de datos para ponerlos a disposición de diferentes usuarios y aplicaciones, se han desarrollado en los últimos años diferentes iniciativas relativas a cubos de datos o *datacubes* (DC).

El primer paso sería definir el concepto de *datacube*. Según el «*manifiesto Data Cube*» se define un DC como una matriz multidimensional de gran tamaño, implicando unas dimensiones que exceden de manera significativa los recursos de memoria de los servidores de *hardware* comúnmente empleados. Los valores de los datos son todos del mismo tipo y se localizan en elementos de las mallas definidas por los ejes del DC multidimensional. Las coordenadas medidas a lo largo de estos ejes permiten localizar valores de datos concretos de manera unívoca (Baumann, 2017).

La implementación de *datacubes* en el ámbito de la teledetección, referidos como *Earth Observation Data Cubes* (EODC) permite por lo tanto reforzar las conexiones entre los datos, las aplicaciones y los usuarios, facilitando la gestión, el acceso y el uso de ARD (Frantz, 2019). Sin embargo, requiere instalar y configurar un conjunto de *software* capaz de preprocesar, ingestar, almacenar, analizar y visualizar datos de teledetección. Bajo esta categoría encontramos diferentes iniciativas como RasDaMan/Earth Server (Baumann et al., 2016) o a la que dedicaremos este artículo: *Open Data Cube* (ODC). La implementación de una de estas soluciones en un país tiene como principal ventaja frente a iniciativas privadas, como GEE o los DIAS, el que estas últimas conllevan inevitablemente el compromiso con plataformas, lo que implica principalmente la sostenibilidad de la propia plataforma en el tiempo, la limitación en la escala temporal y espacial de los análisis y el hecho de que a menudo los datos para el análisis no han sido preprocesados como ARD (Giuliani et al., 2019).

En el ámbito público, la primera aproximación que abordó el problema motivado por la necesidad de una mejor gestión de los datos satelitales partió en Australia a través de dos iniciativas. La primera de ellas fue una serie de trabajos para liberar todo el potencial del catálogo de imágenes históricas Landsat (Purss et al., 2015). La segunda, el proyecto que derivó en la creación del *Australian Geoscience Data Cube* (AGDC), concebido originalmente por *Geoscience Australia*, pero en la actualidad operado y mantenido por diversas instituciones australianas entre las que se incluye el centro de referencia de supercomputación en Australia. El proyecto se integra actualmente en la iniciativa *Digital Earth Australia*, que pretende con cierto éxito el uso de datos geográficos e imágenes satelitales para detectar cambios físicos en el país a una escala sin precedentes. Incluye datos de reflectancias BOA derivados de datos Landsat y contiene proyectos consolidados que extraen información de estas series temporales. Sentinel 2 también está contemplado dentro del ecosistema de *Digital Earth Australia*.

El núcleo del código del AGDC se liberó en 2017 como parte de una colaboración internacional junto con otros organismos entre los que se cuentan CEOS y el USGS, y pasó a denominarse *Open Data Cube* (ODC), lo que abrió la puerta a implementaciones en otros países. De entre las diferentes implementaciones de EODC presentes en el mundo, el ODC es la solución más adoptada. Hay en la actualidad DC operativos en Australia, Suiza, Austria, Colombia, Taiwán, Armenia y en 5 países africanos (Kenia, Tanzania, Sierra Leona, Ghana y Senegal) a través del *African Regional Data Cube* (ARDC). Además hay otros en fase de desarrollo muy avanzada superando la decena, entre ellos el *Brazil Data Cube* (BDC) (Picoli et al., 2020), y más de 30 países que han expresado su interés. Para aumentar el éxito de esta iniciativa, el proyecto ha pasado a formar parte de la fundación *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo). En las siguientes líneas se desarrollan algunas de las implementaciones más importantes que emplean la tecnología ODC.

En Suiza, el *Swiss Data Cube* (SDC) fue lanzado como instancia de ODC en 2017 mediante una colaboración entre *UN Environment/GRID-Geneva* y la universidad de Ginebra con el objetivo de proporcionar a los gobiernos federales e instituciones científicas suizas herramientas que permitan la monitorización medioambiental a través de datos satelitales (Giuliani et al., 2017). El SDC incluye datos Landsat desde el año 1984 así como Sentinel 1 y 2, además de modelos digitales y otra información geográfica.

En Austria, desde 2018 existe el *Austrian Data Cube* (ACube), fruto de un proyecto realizado entre el *Earth Observation Data Centre for Water Resource Monitoring* (EODC), la Universidad Politécnica de Viena y la Universi-

dad de Recursos Naturales y Ciencias de la Vida de Viena, lo que una vez más demuestra la necesidad de coordinar iniciativas de diferentes agentes implicados para la consecución de una infraestructura de utilidad para los usuarios públicos y privados de un país. El ACube tiene como principal objetivo la eliminación de barreras tecnológicas para el uso de datos Copernicus en Austria. El DC consiste en series temporales de imágenes Sentinel 1 y 2 corregidas geométrica y radiométricamente de acuerdo a especificaciones que satisfacen a toda la comunidad de usuarios austriaca. El sistema, además se ha diseñado para que los usuarios puedan acceder al DC mediante un servicio *Web Map Service* (WMS) (Navacchi et al., 2020).

En España existe también una implementación de EODC empleando ODC: el *Catalan Data Cube* (CDC), el cual es una instancia de ODC diseñada como de DC regional por el *Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestal* (CREAF) que permite automatizar algunos procesos de descarga y catalogación de imágenes Sentinel desde 2018 sobre Cataluña, disponer de un portal para la visualización de imágenes y series temporales generadas con el CDC y la provisión de diversos servicios sobre las imágenes como el de catálogo, visualización, descarga y procesado ((Maso et al., 2019), (Giuliani et al., 2019)).

1.3. Un piloto de *Data Cube* en el Instituto Geográfico Nacional

Siguiendo el aparente éxito que las iniciativas mencionadas anteriormente han tenido en los últimos años en diferentes países del mundo, y con el objetivo de analizar las diferentes posibilidades de poder canalizar los datos Sentinel 1 y 2, así como históricos de Landsat para análisis multitemporales, a los usuarios de las Administraciones Públicas españolas, se decidió realizar una implementación de un piloto de DC en el Instituto Geográfico Nacional. El objetivo por lo tanto ha sido el establecimiento de diferentes rutinas de descarga de datos, preprocesados y generación de ARD y la instalación de ODC en un servidor del Instituto Geográfico Nacional para entender el proceso de instalación, ingestión de datos y análisis y de esta manera poder dimensionar la conveniencia o no de su desarrollo a nivel nacional, ibérico o bajo demanda destinado en zonas concretas.

1. MATERIAL Y MÉTODO

En este apartado se describen los primeros pasos seguidos para la consecución del objetivo general planteado en este proyecto piloto. En primer lugar, se presentan el ámbito geográfico de los casos de estudio escogidos para desarrollar el prototipo, a partir de los

cuales se ha realizado una implementación completa de ODC partiendo del estudio de la documentación oficial de referencia del proyecto ODC. Un primer análisis de la instalación del entorno geotecnológico y del flujo de trabajo que culmina con la ingestión de datos satelitales con esta tecnología ha derivado en la enumeración de una serie de necesidades no cubiertas, cuya resolución se pretende abordar a partir del desarrollo de un complemento de QGIS que extienda el alcance del ecosistema ODC. A tal efecto, se han analizado distintas herramientas en el ámbito de la teledetección disponibles en entorno QGIS con el objetivo de establecer la especificación de requisitos generales y particulares que debe satisfacer dicho desarrollo. Las primeras herramientas del complemento QGIS ya están siendo implementadas a partir de las consideraciones que a continuación se exponen.

2.1. Casos de estudio

Para la implementación del proyecto piloto se han escogido dos casos de estudio relacionados con potenciales aplicaciones de la explotación de datos OT. El primero está relacionado con la gestión del recurso agua para uso regadío y se corresponde con la delimitación de la masa agua subterránea Mancha Oriental (080.129) perteneciente a la Demarcación Hidrográfica del Júcar, con una superficie de 7279 km². Se trata de una zona de cultivos cercana a la capital de Albacete que ha sido objeto de un buen número de campañas de calibración y validación de productos OT, especialmente en el ámbito de estudios sobre vegetación. El segundo caso de estudio está enfocado en el análisis de las posibilidades que las técnicas de teledetección disponibles podrían aportar para mejorar el seguimiento y la evaluación del estado de conservación de los sistemas naturales. A tal efecto, se ha seleccionado el Parque Nacional de Cabañeros, situado entre las provincias de Ciudad Real y Toledo, con una superficie de 40 856 ha. En uno y otro caso, se ha tenido en cuenta la posición relativa de las envolventes ocupadas por sus respectivos territorios respecto de los recorridos de las plataformas satelitales



Figura 2. Envolvente convexa de los dos casos de estudio seleccionados superpuestos sobre el recorrido de la misión Sentinel-2

Sentinel 1 y 2 y Landsat 8, con objeto de analizar las zonas de solape entre pasadas.

2.2. Estudio de la documentación de referencia e implementación del prototipo ODC

El punto de partida de la implementación del prototipo ha sido el estudio pormenorizado de la documentación de referencia de ODC. En particular, han sido consultados los recursos publicados en el sitio web del proyecto ODC (*Open Data Cube | Open Source*, s. f.) y en las decenas de repositorios de código fuente de su página de GitHub (*Github Open Data Cube*, s. f.). En este punto, conviene hacer mención especial al material del taller «*Bringing Open Data Cube into Practice*» desarrollado en el marco de los proyectos SDC y *Armenian Data Cube for Sustainable Development (ADC4SD)* (Chatenoux et al., 2019); tanto la documentación como el código fuente suministrados han sido de especial interés para la adopción y entendimiento de esta tecnología.

A continuación, se ha procedido a la instalación y configuración de los requerimientos especificados en la documentación. A tal efecto se ha configurado una máquina virtual con el SO Linux Ubuntu Server 18.04 LTS que cuenta con 8 CPU y 32 GB de RAM. El entorno geotecnológico está basado en los siguientes componentes detallando entre paréntesis el versionado de *software*: núcleo de ODC (1.7); librerías relacionadas con el uso de información geoespacial GDAL (2.4.2), gsutil (4.35) y sen2cor (2.5.5) y librerías geoespaciales para Python rasterio (1.0.24), Shapely (1.6.8), GeoPandas (0.5.1), netCDF4 (1.3.1) y rasterstats (0.13.1); base de datos PostgreSQL (10) y su *driver* para Python psycopg2 (2.8.3); paquetes basados en Python del ecosistema SciPy relacionados con cálculos matemáticos y programación científica: NumPy (1.17.1), SciPy (1.3.1) y matplotlib (3.1.1) y xray (0.12.3); paquete estadístico R (3.4.4); para la interfaz de usuario de ODC se instaló el *framework* Python Web django (1.11.13) y para el prototipado de ODC con Jupyter Notebook la librería correspondiente para Python jupyter (1.0.0). Todas las librerías Python fueron instaladas en un entorno virtual con el intérprete de Python versión 3.6.8.

Para facilitar la administración del entorno descrito han sido instaladas las siguientes herramientas adicionales: Lubuntu para dotar de un entorno gráfico a Ubuntu Server; entornos de desarrollo integrados (IDE) PyCharm y RStudio para la inspección y adaptación del código fuente de *scripts* escritos en lenguaje de programación Python y R,

respectivamente; pgAdmin para la administración de la base de datos PostgreSQL; editor de texto Notepadqq y Glogg para la inspección de ficheros de configuración y de los ficheros complejos resultado de la ejecución de los *scripts*.

El siguiente paso contempla el conjunto de operaciones necesarias para llevar a cabo la ingestión de escenas en el DC a partir de la configuración y ejecución de 3 *scripts* y puede dividirse en tres fases (Figura 3): (i) preparación del DC, (ii) obtención de escenas disponibles no ingestadas en el DC y (iii) la fase de descarga, preprocesamiento e ingestión propiamente dicha. La preparación del DC consiste en la obtención de un listado de *tiles* de las misiones satelitales cuyos recorridos intersectan con la definición de un área de interés almacenada en un fichero *shapefile*. Adicionalmente, son calculados el tamaño del *tile*, la resolución de almacenamiento y los límites a ingestar necesarios para la definición del producto. A partir del listado de *tiles* anterior son consultados los identificadores unívocos de escenas disponibles en el histórico de *Google Cloud Storage* (GCS) y por comparación con los ya almacenados con anterioridad en el DC, se obtiene un listado de escenas pendientes de ingestión. A partir de la definición del producto obte-

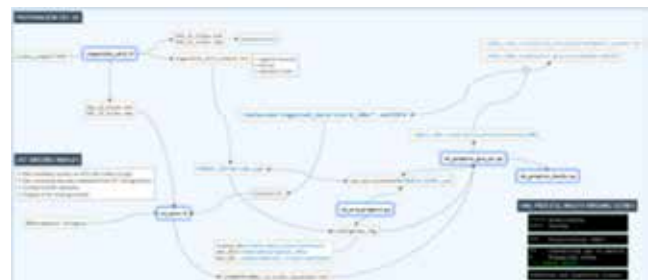


Figura 3. Flujogramareducido del proceso que culmina con la ingestión de escenas en el DC para el caso de la misión Sentinel 2. Se resaltan en azul los scripts utilizados. Fuente: Elaboración propia a partir del material del taller «*Bringing Open Data Cube into Practice*» (Chatenoux et al., 2019)



Figura 4. Entornos personalizados para el análisis y aplicaciones provistos en la instalación de ODC: (a) interfaz Web ODC y (b) Jupyter Notebook

nida en la primera fase y de la especificación de las rutas de los directorios de trabajo se procede a la descarga, descompresión, preprocesamiento, indexación e ingestión de cada una de las escenas del listado obtenido en la segunda fase.

Para poder depurar paso a paso la ejecución de los *scripts* y estudiar su código se han tomado como conjunto de datos de entrada los correspondientes a los dos casos de estudio propuestos en este prototipo, ingesting una serie de escenas para su posterior análisis y explotación en dos entornos que ha sido necesario configurar: Jupyter Notebook y la interfaz de usuario web de DC. La Figura 4 (a) muestra la personalización de la interfaz web de usuario del componente provisto en la instalación de ODC y en la Figura 4 (b) se muestra un ejemplo de un cuaderno Notebook adaptado al uso de datos de la misión Sentinel-2.

2.3. Descripción de necesidades no cubiertas

Una vez analizada la documentación de referencia del proyecto ODC y configurado e instalado su entorno geotecnológico, verificado a partir de una serie de análisis derivados de escenas previamente ingestadas, se establecen una serie de necesidades no cubiertas cuya resolución es de especial interés para el IGN y que a continuación se enumeran:

- Se pretende profundizar en el conocimiento de experiencias de generación de ARDs de la misión Sentinel-1 en el ecosistema ODC.
- Se han detectado en ciertas zonas discrepancias importantes entre los ND de productos Sentinel-2 nivel de procesamiento 2A descargados directamente de la plataforma GCS y los generados con la herramienta *sen2cor v.2.5.5*. De esta forma, es necesario realizar un estudio particularizado de productos S2 ARD disponibles.
- La metodología descrita contempla la descarga de datos satelitales desde la plataforma GCS. Con objeto de mantener cierta independencia tecnológica, sería de utilidad disponer de herramientas de descarga accediendo a otras plataformas en la nube.
- La fase de preparación del DC se inicia con la especificación de un área de interés a partir de la denominación literal de un país completo. La definición específica de AOIs a partir de herramientas gráficas ampliaría la funcionalidad prevista.
- Las labores de mantenimiento del catálogo de escenas ingestadas tras la indexación de productos en la base de datos PostgreSQL se verían facilitadas a partir de la implementación de una interfaz de usuario, permitiendo la consulta de información almacenada en el modelo de datos de forma sencilla.
- Existen ciertos parámetros de entrada necesarios

para la ejecución de los *scripts* descritos. En unos casos se facilitan en ficheros de configuración independientes y en otros son sustituidos directamente en su código fuente Python. Disponer de una interfaz de usuario para la recopilación de estos datos facilitaría su ejecución repetida.

- Alguno de los procedimientos de preparación del DC y análisis y aplicaciones realizados a través de la interfaz Web de ODC o con Jupyter Notebook, podrían extenderse a clientes SIG pesados, permitiendo la integración de otras capas de información geoespacial diseminadas por el IGN a través de su CdD y servicios Web.
- Por último, la integración de librerías geoespaciales de terceros programadas en Python, mejoraría considerablemente las posibilidades de futuros desarrollos.

2.4. Extensión del ecosistema ODC a través del desarrollo de *plugin* para QGIS

Tras un primer análisis de estas necesidades se propone enriquecer el ecosistema ODC a través del desarrollo de herramientas basadas en soluciones FOSS4G que permitan la explotación de imágenes espaciales adquiridas con sensores de última generación (Ortega Terol, 2018). A tal efecto, se ha iniciado la implementación de un complemento de QGIS que pretende extender y completar sus funcionalidades actualmente disponibles, aprovechando al mismo tiempo sus amplias capacidades para realizar análisis geoespaciales. El alto grado de actividad y madurez de este proyecto de *software* y su creciente uso en aplicaciones relacionadas con el mundo de la teledetección refrendadas en publicaciones científicas ((Sansare & Mhaske, 2020), (*A Sentinel-1 Flood map generation QGIS plugin - NASA/ADS*, s. f.), (Piedelobo et al., 2018), (Baghdadi, 2017b), (*QGIS and Applications in Agriculture and Forest | Wiley*, s. f.), (Baghdadi, 2017a), (*Qgis and applications in water and risks*, 2017)), así como su contrastada fiabilidad ((Khan & Mohiuddin, 2018), (Khan, 2018)), permitirá ampliar el uso potencial del desarrollo, aprovechando además su carácter multiplataforma y su soporte para la internacionalización.

2.5. Estudio del arte de herramientas QGIS en el ámbito de la teledetección

Se hace por tanto necesario realizar un estudio exhaustivo de la documentación y código fuente de herramientas nativas y de complementos existentes en QGIS. La primera aproximación consiste en el estudio de funcionalidades del ámbito de la teledetección ofrecidas en forma de complementos del núcleo y complementos de terceros existentes en el repositorio oficial de *plugins* de QGIS 3.x. Este tipo de herramientas está creciendo

significativamente en los últimos años y cuenta con una amplia documentación.

En primer lugar, se cita el complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (Congedo, 2016), veterano desarrollo que cuenta con más 750 000 descargas cuya funcionalidad principal está orientada a la clasificación supervisada de imágenes de satélite, proveyendo además un completo conjunto de herramientas para la descarga, preprocesamiento y postprocesamiento de escenas de diferentes plataformas satelitales. Dentro de este mismo grupo de complementos relacionados con la clasificación semiautomática se encuentra *dzetsaka*: *Classification tool* y *Neural Network MLPClassifier* que utilizan los clasificadores *Gaussian Mixture Model*, *Random Forest* y *SVM* y el *MLP (Multi-Layer Perception) Neural Network*, respectivamente.

En el grupo de complementos orientados a la consulta del catálogo de imágenes y productos derivados de distintas plataformas satelitales almacenados y distribuidos en plataformas *cloud* para su descarga directa en QGIS, con posibilidad de ejecución de diferentes tipos de procesamientos, se han desarrollado soluciones para las plataformas Google Earth Engine, Sentinel Hub, Planet Explorer y openEO a través de sus complementos Google Earth Engine y Google Earth Engine Data Catalog, SentinelHub, Planet_explorer y OpenEO, respectivamente. Por su parte, el complemento STAC Browser permite realizar búsquedas de metadatos de diferentes plataformas *cloud* a través de la especificación abierta *SpatioTemporal Asset Catalog* (STAC).

También se han desarrollado un nutrido grupo de complementos cuyo objetivo es facilitar la visualización y análisis de datos ráster a partir de la generación de perfiles espectrales/temporales, gráficas de dispersión, evolución temporal de parámetros biofísicos, etc. *RasterDataPlotting*, *ValueTool*, *RasterTimeseriesManager* y *RasterDataPlotting* son ejemplos de este tipo de *plugins*.

Por su parte, la ESA ha desarrollado una adaptación de su herramienta *sen2cor* (*Sen2Cor Adapter*), habilitando su funcionalidad en entorno QGIS a través de una interfaz gráfica.

Finalmente, también se han desarrollado distintas iniciativas que tienen por objeto instanciar implementaciones de *Data Cubes* dentro de QGIS. La primera relacionada con el proyecto oficial ODC es un complemento de procesamiento *Open Data Cube Query plugin* no incluido actualmente en el repositorio oficial de QGIS que actualmente no tiene soporte y cuyo desarrollo parece abandonado. Por su parte, en el contexto del proyecto iniciado por la ESA *Euro Data Cube* también se ha desarrollado un complemento *Euro Data Cube* que permite el acceso desde QGIS a ciertos servicios a partir de url

EDC-OGC, si bien este DC se basa en el conjunto de herramientas Python EDC *xcube Generator*.

2.6. Especificación de requerimientos generales para el desarrollo de complementos

Establecidas las necesidades de desarrollo y tras el estudio del estado de las funcionalidades existentes en QGIS presentado en los apartados anteriores, se establecen un conjunto de requerimientos generales para el desarrollo propuesto: (i) el complemento se concibe como un conjunto de herramientas escalable cuyo objetivo principal es facilitar las operaciones contempladas en tres fases del flujo de trabajo descrito en la Figura 3, (ii) debe cumplir los requisitos y recomendaciones para su publicación en el repositorio oficial de complementos de QGIS, (iii) se prestará especial atención a la documentación de funcionalidades y código fuente del proyecto; la documentación será generada con Sphinx utilizando el tema *Read the Docs* y será alojada en GitHub corporativo.

A partir de este enfoque general se establecen inicialmente el desarrollo de las siguientes herramientas: (i) herramienta para la búsqueda y gestión de descargas de datos satelitales de distintas plataformas adaptada a las necesidades del proyecto, (ii) herramienta para el procesamiento de datos Sentinel-1 y generación de los ARD necesarios para la ingestión, (iii) herramientas de mantenimiento de la base de datos PostgreSQL y (iv) herramientas que facilitan la preparación del DC y la generación de ficheros de configuración a través del desarrollo de diálogos documentados en línea.

2.7. Primeros pasos del desarrollo y enumeración de requisitos específicos

El paso previo para el preprocesamiento de datos Sentinel-1 consiste en su descarga, al no estar contemplada esta funcionalidad en ningún complemento del repositorio de *plugins* de QGIS. Aprovechando la necesidad de desarrollo de esta carencia, se pretende mejorar y adaptar los procedimientos de descarga de datos Sentinel-2. A tal efecto, se han iniciado los trabajos de implementación del código con el desarrollo de una herramienta de descarga de datos abiertos a partir del acceso a estas tres plataformas *cloud*: Copernicus Open Access Hub a través de la API Sentinelsat, Amazon Simple Storage Service (Amazon S3) y Google Cloud Platform a través de la librería Python *gsutil*. La herramienta contempla la definición de áreas de interés (AOI o ROI) para la posterior generación de procesos y estadísticas a través de los siguientes métodos: (i) zona de estudio preconfiguradas y adaptadas al entorno del proyecto (*tiles* S2 de la Península Ibérica, Baleares, Canarias y

Ceuta y Melilla); (ii) extensión de un área poligonal a partir de la selección de una capa vectorial cargada en la ToC de QGIS o a través de un polígono dibujado con una herramienta de mapa; (iii) especificación de la coordenadas de un *bounding box*; (iv) extensión de la vista actual del mapa y (v) especificación del identificador unívoco de la escena.

En cuanto a la especificación de los parámetros de búsqueda se ha implementado un diálogo con comportamiento que permite realizar búsquedas aplicando los siguientes filtros: nombre de la plataforma (Sentinel-1; Sentinel-2); tipo de productos (Sentinel-1 SLC, GRD y OCN y Sentinel-2 S2MSI1C y S2MSI2A); fecha inicio y final, cobertura nubosa para el caso de Sentinel-2 limitación de resultados. Como parámetros de salida se especifican las rutas de los directorios donde serán almacenados y tratados los productos descargados y ofrece la posibilidad de generación de un fichero *geojson* con las huellas y metadatos extendidos cargado en la vista mapa del proyecto de QGIS.

En la actualidad se está abordando el desarrollo de la metodología para la ingestión de datos ARD SAR Sentinel-1 en *Data Cube*, partiendo de los resultados de investigaciones previas realizadas en este ámbito ((Truckenbrodt et al., 2019), (Filipponi, 2019), (Ticehurst et al., 2019)). A tal efecto, se están realizando las oportunas pruebas con el *software Sentinel Application Platform (SNAP)* a través de su modelador gráfico (*Graph Builder*) y el desarrollo de *scripts* personalizados escritos en lenguaje Python accediendo a la API Java de SNAP (*snappy*) en un entorno virtual configurado con Anaconda.

3. RESULTADOS

El desarrollo del presente trabajo se concibe desde un enfoque de extensión de funcionalidades existentes e implementación de necesidades no cubiertas a partir de desarrollos basados en soluciones FOSS4G. Se hace por tanto necesario analizar las geotecnologías actuales para acometer la implantación de una infraestructura de datos de imágenes de satélite en el Instituto Geográfico Nacional. Una completa revisión del estado de la cuestión de distintas implementaciones de infraestructuras destinadas a la recopilación, preprocesado y diseminación de imágenes Sentinel basadas en tecnologías *Data Cube* ha sido presentada y constituye el primer resultado del prototipo propuesto.

Pero la instalación, configuración y administración de una instancia de ODC precisa todavía de unos altos conocimientos en tecnologías de la información y teledetección para comprender el entorno geotecnológico

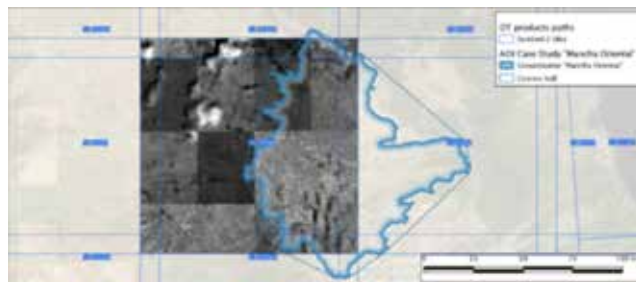


Figura 5. Detalle de ingestión de una escena correspondiente al tile 30SWJ de Sentinel-2 de fecha 3 de junio de 2019



Figura 6. Extensión del entorno geotecnológico del ecosistema ODC adoptado en este proyecto

necesario (Giuliani et al., 2020), como es el caso de recursos informáticos y de almacenamiento, fuentes de datos y algoritmos para la generación de ARD, uso de un elevado número de librerías geoespaciales, etc. A partir de dos casos de estudio propuestos, se ha conseguido desarrollar una implementación completa de ODC y todos sus componentes, que ha sido debidamente documentada en un manual de 150 páginas con redacción de *training manual*, aportada como otro resultado del prototipo. Todo este proceso concluyó con la ingestión de diferentes escenas en el DC (Figura 5).

Tras un primer análisis de la instalación del entorno geotecnológico y del flujo de trabajo necesario para la ingestión de datos satelitales con esta tecnología se detectaron una serie de necesidades no cubiertas, cuya resolución ha sido abordada a partir del desarrollo de un complemento de QGIS. Como paso previo al desarrollo fueron analizadas distintas herramientas y complementos de QGIS relacionados con el ámbito de la teledetección. Todo ello, derivó en una especificación completa de requisitos generales y particulares que ha de satisfacer el desarrollo propuesto. La adopción de un marco geotecnológico escalable y flexible basado en herramientas de *software* libre (Figura 6), válido para abordar el conjunto de requerimientos generales y específicos planteados, se presenta como otro resultado de este trabajo, facilitando la máquina virtual utilizada para llevar a cabo la implementación del prototipo.

Con este enfoque se están dando los primeros pasos del desarrollo y diseño del complemento de QGIS. Se ha completado la implementación de la primera herramien-

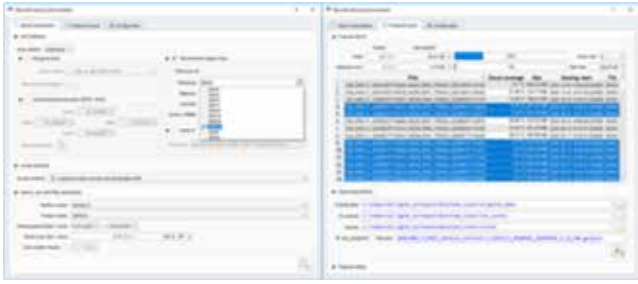


Figura 7. Interfaz gráfica de la herramienta de búsqueda y descarga de productos de las misiones Sentinel-1 y Sentinel-2

ta para la consulta y gestión de descargas de productos Sentinel-1 y Sentinel-2 (Figura 7) y se está acometiendo el desarrollo de la generación productos ARD Sentinel-1, dejando para una fase posterior el desarrollo de la herramienta para el mantenimiento del catálogo de escenas ingestadas y el desarrollo de una interfaz *user friendly* para la preparación del DC y generación de ficheros de configuración.

Aprovechando la funcionalidad desarrollada, se obtiene un primer dimensionamiento de almacenamiento necesario para escalar el prototipo desarrollado a la totalidad de la península ibérica en territorio español. La Tabla 1 muestra el tamaño y número de escenas necesarias para cubrir este ámbito con escenas de la misión Sentinel-2 producto S2MSI1C. A partir de los datos ingestados en el prototipo desarrollado se estima que el volumen de almacenamiento aumenta aproximadamente un 36 %, tras aplicar *sen2cor* para obtener el producto S2MSI2A y el paso a formato NetCDF.

Por su parte, serían necesarias 5477 escenas con un volumen de almacenamiento de 8,73 TB para cubrir el mismo ámbito geográfico con datos de la misión Sentinel-1, producto GRD en modo de polarización dual VV+VH.

A la hora de analizar la conveniencia de una implantación nacional de un *datacube* nacional en España siempre es interesante plantearse si una ampliación de

esta tecnología al ámbito peninsular tendría o no sentido. Dado que las teselas Sentinel 2, las huellas Landsat y de Sentinel 1 abarcan siempre zonas transfronterizas entre España y Portugal, la ampliación a la totalidad de la península supondría un esfuerzo adicional asumible o no en función del interés existente. La colaboración en el establecimiento de una iniciativa conjunta entre España y Portugal, mediante un adecuado dimensionamiento de recursos humanos y materiales, abriría nuevas posibilidades y campos de colaboración en materia de observación del territorio afrontando problemáticas comunes a los dos países y potenciando la implicación en el programa Copernicus.

3. CONCLUSIONES

El Instituto Geográfico Nacional está analizando diferentes alternativas para facilitar datos de Observación de la Tierra de distintas misiones satelitales a los usuarios de las Administraciones Públicas españolas. A este respecto, en los últimos años se han propuesto y desarrollado nuevas tecnologías, basadas en la computación en la nube y sistemas distribuidos para la gestión y el análisis de *Big EO Data* (Gomes et al., 2020), como es el caso de los cubos de datos o *data cubes*, cuyo estudio ha sido pormenorizadamente descrito en la introducción de esta investigación. Con el objetivo de entender la extensión y alcance de estas complejas tecnologías, el IGN ha acometido los trabajos de implantación de un prototipo de ODC en dos casos de estudio preseleccionados.

A tal efecto, se ha llevado a cabo la instalación y configuración completa de una implementación de ODC, partiendo de la documentación de referencia de este proyecto. Un completo manual de instalación traducido al español, así como la máquina virtual configurada se ofrecen como una primera contribución de este trabajo.

A partir del análisis de esta implementación, se han enumerado una serie de necesidades no cubiertas cuya resolución se plantea acometer a partir del desarrollo de un complemento para QGIS que extienda las funcionalidades del ecosistema ODC, utilizando distintas API y librerías geoespaciales de referencia en este ámbito.

El desarrollo de *plugin* de QGIS se concibe como un conjunto de herramientas escalable, cuyo ámbito no se circunscribe únicamente al entorno ODC, sino que pretenden dotar de funcionalidades transversales que faciliten y automaticen determinadas tareas de geoprocésamiento. Un primer análisis del estudio

Tabla 1. Dimensionamiento del almacenamiento necesario para la descarga de escenas Sentinel-2 producto completo S2MSI1C para el año 2019 en la totalidad de la península ibérica en territorio español

Cobertura nubosa (%)	Nº escenas	Tamaño (TB)	Cobertura nubosa (%)	Nº escenas	Tamaño (TB)
[0 – 100]	12431	6.25	[0 – 50]	8928	4.74
[0 – 90]	11319	5.95	[0 – 40]	8301	4.40
[0 – 80]	10613	5.61	[0 – 30]	7623	4.04
[0 – 70]	10050	5.33	[0 – 20]	6862	3.62
[0 – 60]	9426	5.05	[0 – 10]	5798	3.02

de los complementos de QGIS existentes en el ámbito de la teledetección ha derivado en una especificación concreta de requisitos generales y particulares, cuyo desarrollo se está implementando en la actualidad. En particular, se ha complementado el desarrollo de una herramienta para la consulta y gestión de descarga de productos de distintas misiones y en la actualidad se está desarrollando una herramienta para la generación de ARD Sentinel-1 y se ha propuesto el desarrollo otras dos herramientas para facilitar las tareas de preparación del DC y para la gestión del catálogo de escenas ingestadas.

Con todo, el marco geotecnológico desplegado basado en soluciones de *software* libre ha permitido abordar la implementación del prototipo propuesto en dos zonas de España. Escalar estas soluciones a la totalidad del territorio español constituye el reto fundamental de las líneas futuras de actuación, cuyo objetivo final podría ser la implantación de una infraestructura de datos de imágenes de satélite en el Instituto Geográfico Nacional.

REFERENCIAS

- A Sentinel-1 Flood map generation QGIS plugin—NASA/ADS.* (s. f.). Recuperado 7 de septiembre de 2020, de <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2016EGU-GA..1814693S/abstract>
- Baghdadi, N. (2017a). *Qgis and applications in territory development*. ISTE Ltd/John Wiley and Sons Inc.
- Baghdadi, N. (2017b). *Qgis and generic tools*. ISTE Ltd/John Wiley and Sons Inc.
- Baumann, P. (2017). *The Datacube Manifesto*. <https://earthserver.eu/tech/datacube-manifesto/>
- Baumann, P., Mazzetti, P., Ungar, J., Barbera, R., Barboni, D., Beccati, A., Bigagli, L., Boldrini, E., Bruno, R., Calanducci, A., Campalani, P., Clements, O., Dumitru, A., Grant, M., Herzig, P., Kakaletis, G., Laxton, J., Koltsida, P., Lipskoch, K., ... Wagner, S. (2016). Big Data Analytics for Earth Sciences: The EarthServer approach. *International Journal of Digital Earth*, 9(1), 3-29. <https://doi.org/10.1080/17538947.2014.1003106>
- CEOS Analysis Ready Data.* (s. f.). Recuperado 3 de septiembre de 2020, de <http://ceos.org/ard/>
- Chatenoux, B., Richard, J.-P., Poussin, C., Guigoz, Y., & Giuliani, G. (2019). *Bringing Open Data Cube into Practice—Workshop Material*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17703.91044>
- Congedo, L. (2016). *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. Release 6.0.1.1*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>
- Filipponi, F. (2019). Sentinel-1 GRD Preprocessing Workflow. *Proceedings*, 18(1), 11. <https://doi.org/10.3390/ECRS-3-06201>
- Frantz, D. (2019). FORCE—Landsat + Sentinel-2 Analysis Ready Data and Beyond. *Remote Sensing*, 11(9), 1124. <https://doi.org/10.3390/rs11091124>
- Github Open Data Cube.* (s. f.). GitHub. Recuperado 4 de septiembre de 2020, de <https://github.com/opendatacube>
- Giuliani, G., Chatenoux, B., Bono, A. D., Rodila, D., Richard, J.-P., Allenbach, K., Dao, H., & Peduzzi, P. (2017). Building an Earth Observations Data Cube: Lessons learned from the Swiss Data Cube (SDC) on generating Analysis Ready Data (ARD). *Big Earth Data*, 1(1-2), 100-117. <https://doi.org/10.1080/20964471.2017.1398903>
- Giuliani, G., Chatenoux, B., Piller, T., Moser, F., & Lacroix, P. (2020). Data Cube on Demand (DCoD): Generating an earth observation Data Cube anywhere in the world. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 87, 102035. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.102035>
- Giuliani, G., Masó, J., Mazzetti, P., Nativi, S., & Zabala, A. (2019). Paving the Way to Increased Interoperability of Earth Observations Data Cubes. *Data*, 4(3), 113. <https://doi.org/10.3390/data4030113>
- Gomes, V. C. F., Queiroz, G. R., & Ferreira, K. R. (2020). An Overview of Platforms for Big Earth Observation Data Management and Analysis. *Remote Sensing*, 12(8), 1253. <https://doi.org/10.3390/rs12081253>
- Khan, S. (2018). Empirical Evaluation of Open Source QGIS with Contemporary Proprietary GIS Systems—A Study. *JMDET - Journal of Multi Disciplinary Engineering Technologies*. https://www.academia.edu/38214128/Empirical_Evaluation_of_Open_Source_QGIS_with_Contemporary_Proprietary_GIS_Systems_A_Study
- Khan, S., & Mohiuddin, K. (2018). Evaluating the parameters of ArcGIS and QGIS for GIS Applications. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/330601009_Evaluating_the_parameters_of_ArcGIS_and_QGIS_for_GIS_Applications
- Maso, J., Zabala, A., Serral, I., & Pons, X. (2019). A Portal Offering Standard Visualization and Analysis on top of an Open Data Cube for Sub-National Regions: The Catalan Data Cube Example. *Data*, 4(3), 96. <https://doi.org/10.3390/data4030096>
- Navacchi, C., Bauer-Marschallinger, B., & Wagner, W. (2020). *Flood Monitoring using ACube—An Austrian Data Cube Solution*. 22, 21575.
- Open Data Cube | Open Source.* (s. f.). Open Data Cube. Recuperado 17 de abril de 2020, de <https://www>

opendatacube.org

- Ortega Terol, D. (2018). *Innovación en el desarrollo de herramientas basadas en software libre para la explotación de imágenes aéreas y espaciales adquiridas con sensores de última generación* [Universidad de Salamanca. Escuela Politécnica Superior de Ávila]. <https://gredos.usal.es/handle/10366/139722>
- Picoli, M., Simoes, R., Chaves, M., Santos, L., Ipia, A., Soares, A., Sanches, I., Ferreira, K., & Queiroz, G. (2020). CBERS DATA CUBE: A powerful technology for mapping and monitoring Brazilian biomes. In *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: Vol. V-3-2020* (p. 539). <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-3-2020-533-2020>
- Piedelobo, L., Ortega-Terol, D., Del Pozo, S., Hernández-López, D., Ballesteros, R., Moreno, M. A., Molina, J.-L., & González-Aguilera, D. (2018). HidroMap: A New Tool for Irrigation Monitoring and Management Using Free Satellite Imagery. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(6), 220. <https://doi.org/10.3390/ijgi7060220>
- Purss, M. B. J., Lewis, A., Oliver, S., Ip, A., Sixsmith, J., Evans, B., Edberg, R., Frankish, G., Hurst, L., & Chan, T. (2015). Unlocking the Australian Landsat Archive – From dark data to High Performance Data infrastructures. *GeoResJ*, 6, 135-140. <https://doi.org/10.1016/j.grj.2015.02.010>
- QGIS and Applications in Agriculture and Forest* | Wiley. (s. f.). Wiley.Com. Recuperado 9 de septiembre de 2020, de <https://www.wiley.com/en-us/QGIS+and+Applications+in+Agriculture+and+Forest-p-9781786301888>
- Qgis and applications in water and risks*. (2017). ISTE Ltd / John Wiley and Sons Inc.
- Sansare, D. A., & Mhaske, S. Y. (2020). Natural hazard assessment and mapping using remote sensing and QGIS tools for Mumbai city, India. *Natural Hazards*, 100(3), 1117-1136. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03852-5>
- Ticehurst, C., Zhou, Z.-S., Lehmann, E., Yuan, F., Thankappan, M., Rosenqvist, A., Lewis, B., & Paget, M. (2019). Building a SAR-Enabled Data Cube Capability in Australia Using SAR Analysis Ready Data. *Data*, 4(3), 100. <https://doi.org/10.3390/data4030100>
- Truckenbrodt, J., Freemantle, T., Williams, C., Jones, T., Small, D., Dubois, C., Thiel, C., Rossi, C., Syriou, A., & Giuliani, G. (2019). Towards Sentinel-1 SAR Analysis-Ready Data: A Best Practices Assessment on Preparing Backscatter Data for the Cube. *Data*, 4(3), 93. <https://doi.org/10.3390/data4030093>

Sobre los autores

Damián Ortega Terol

PhD en Geotecnologías Aplicadas a la Construcción, Energía e Industria (2018, Universidades de Salamanca y Vigo) con mención «cum laude» tras la finalización de su tesis doctoral titulada: «Innovación en el desarrollo de herramientas basadas en software libre para la explotación de imágenes aéreas y espaciales adquiridas con sensores de última generación». Completa su formación académica con las titulaciones del graduado en Ingeniería Geomática y Topografía (2013, Universidad de Salamanca), Máster Universitario en Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura (2011, Universidades de Salamanca y Valladolid), Ingeniero en Geodesia y Cartografía (2001, Universidad Politécnica de Valencia) e Ingeniero Técnico en Topografía (1998, Universidad Politécnica de Valencia). Posee una amplia experiencia en la programación de herramientas geomáticas basadas en software libre desarrollada en los diferentes puestos que ha ocupado: empresa pública Tragsatec (2001-2008), funcionario grupo A1 de la Escala de Técnicos Facultativos Superiores de los OOAA del Ministerio de Medio Ambiente (2008-2016) y en su reciente incorporación como funcionario de carrera en el Instituto Geográfico Nacional del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2016-actualidad).

Bruno Pérez Martín

Ingeniero en Geodesia y Cartografía por la Universidad Politécnica de Madrid, realizó el último año de estudios en la Katholieke Universiteit Leuven (Bélgica) cursando el MSc on Earth Observation, también realizando el proyecto fin de carrera. Tras un año como becario de investigación en la Universidade do Porto (Portugal) y un año en el sector privado en Bélgica en proyectos de fotogrametría y LiDAR, pasa a formar parte del equipo de teledetección en la empresa pública española Ingeniería y Servicios Aeroespaciales (INSA) y, posteriormente ISDEFE, desarrollando aplicaciones en proyectos de I+D+i relacionados con la observación de la Tierra dentro del Programa Marco FP7 y H2020. En 2014 accede al cuerpo de Ingenieros Geógrafos del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, desempeñando desde entonces sus funciones dentro del Servicio de Teledetección en el Instituto Geográfico Nacional. Su principal línea de actividad es la difusión del programa europeo Copernicus y la constelación Sentinel, facilitando el acceso y conocimiento por parte de los usuarios de las Administraciones Públicas españolas y usuarios hispanohablantes de las posibilidades que ofrece el programa y las imágenes Sentinel en diversos campos de aplicación.