



EL PROGRAMA COPERNICUS

DE OBSERVACIÓN DE LA TIERRA CUMPLE UN CUARTO DE SIGLO

Por JOSÉ ANTONIO RODRÍGUEZ ESTEBAN

Dpto. de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid
Copernicus Academy

Copernicus es el programa europeo de observación de nuestro planeta, también conocido como “Los ojos de Europa sobre la Tierra”. En 2023 cumplió 25 años desde el “*Manifiesto de Baveno*” de 1998, un compromiso a largo plazo para el desarrollo de servicios desde el espacio para la vigilancia medioambiental, convirtiéndose en este tiempo en uno de los buques insignia de la política espacial europea (junto a Galileo para los Sistemas de Posicionamiento y EGNOS como servicio europeo de navegación fiable). La **Comisión Europea** (EC, en inglés en adelante) es la gestora y la coordinadora del programa, y establece las prioridades y las decisiones operativas, mientras que la **Agencia Espacial Europea** (ESA) es responsable del desarrollo del segmento espacial.

INICIALMENTE SE DENOMINÓ GMES, siglas de Monitoreo Global para la Seguridad y el Medio Ambiente, recogiendo en esta denominación sus objetivos principales: la observación del planeta, el estudio de su medioambiente y la seguridad, en especial de los países pertenecientes a la Unión Europea. El nombre se cambió a Copernicus en 2012, momento en que entra en fase operacional. El programa GMES/Copernicus adquirió singular importancia al poner el énfasis en la obtención de datos para el diseño de políticas públicas, singularmente en la mitigación de los efectos del cambio climático.

La tecnología espacial, sus datos y servicios, es indispensables en la vida de las personas y centros de muy distinto tipo, y desempeña un papel estratégico esencial en Europa. El programa Copernicus tiene como objetivo recopilar datos desde sensores en el espacio, o **componente satelital**, con las familias de satélites denominados genéricamente Sentinel, pero también despliega mecanismos diversos, para obtener mediciones en tierra, aerotransportados y marítimos, el denominado **componente *in situ***, necesario para dar coherencia a sus mediciones espaciales, y todo esto enfocado en gran medida al **componente de servicios**, cuyo objetivo es el de facilitar datos elaborados, destinados a apoyar decisiones basada en evidencias, para hacer frente a una amplia gama de desafíos sociales. Estos servicios están dirigidos a seis campos: tierra, mar y atmósfera, para un monitoreo sostenido del planeta, siendo los otros tres dedicados a problemas esenciales: cambio climático, gestión de emergencias y seguridad. Con todos ellos es posible apoyar a una amplia gama de **aplicaciones**: como la protección del medioambiente, la gestión de áreas urbanas, la planificación regional y local, la agricultura, la silvicultura, la pesca, la salud, el transporte, los procesos del cambio climático, el desarrollo sostenible, la protección civil, el turismo y el transporte.

“COPERNICUS ES EL BUQUE INSIGNIA DE LA OBSERVACIÓN DE LA TIERRA DE LA ESA”

De su relevancia da cuenta su presupuesto: 4.300 millones de euros entre 2014-2020 y 5.800 millones de euros para 2021-2027, del conjunto de los 16.000 millones de euros del programa espacial (9.700 millones de euros para Galileo -28 satélites en órbita- y EGNOS -operativo en 426 aeropuertos/helipuertos de 32 países-).

La esencia del programa Copernicus

Copernicus es, pues, el buque insignia de la observación de la Tierra de la ESA. Se comprende bien la misión del otro programa estrella como **Galileo**, sus mejoras en la navegación y su importancia estratégica frente al GPS, al disponer los usuarios de sus datos en vehículos y teléfonos móviles. Sin embargo, revisar el funcionamiento y las posibilidades de Copernicus, como ha señalado, Stéphane Ourevitch, requiere un esfuerzo didáctico.

En una primera aproximación, el proyecto Copernicus hay que entenderlo como un auténtico **ecosistema**, resaltando además que **sus datos se ofrecen completos, libres y abiertos** (un regalo, se ha dicho también, de la Unión Europea al mundo). Parte de las dificultades para comprender este ecosistema vienen por la imaginación que requiere asociar el puñado largo de parámetros geofísicos tomados por los satélites para entender el sistema terrestre y derivar los resultados a muy diversos campos de actividad.

Copernicus recopila datos fundamentales para la monitorización del planeta con sus 6 familias de **Satélites Dedicados**, los Sentinelas,

conocidos como Sentinel: desde el primer lanzamiento en 2014 son ya una decena en la actualidad, que se espera lleguen a 20 satélites en órbita antes de 2030. A los Sentinel se suman la **Misiones Contribuyentes** (satélites comerciales y públicos existentes que sobreponen los treinta, entre los que estaría el satélite español PAZ, los SPOT y Pleyades franceses o los Cosmo-SkyMed italianos...). Los datos satelitales son el ADN de Copernicus, pero hay que tener en cuenta que también dispone, como se ha comentado, de un **componente *in situ***, es decir, de medidores en tierra, aerotransportados y marítimos, necesarios para dar coherencia a sus mediciones y extender sus aplicaciones. Si el componente espacial es competencia de la EC con el apoyo de la ESA, cuenta con la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) para el componente *in situ*.

Los datos tomados por los satélites, tras su recopilación y en bruto, son complejos de tratar y por ello los corrige a distintos niveles, los analiza y sistematiza para que sean utilizables en diversos ámbitos. El objetivo último es ayudarnos a **comprender mejor nuestro planeta y gestionar de manera sostenible su medio ambiente**. Pero gracias las facilidades que ofrece para el uso de estos datos, como más adelante veremos, se ha convertido en una herramienta de desarrollo en sí misma y en un auténtico **motor de la economía digital**.

En resumen, los objetivos de Copernicus son monitorear y pronosticar el estado del medioambiente con el fin de apoyar estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático y, al mismo tiempo, realizar una gestión eficiente en situaciones de emergencia para contribuir a la seguridad de los ciudadanos de la UE, extendiéndose a los estados y organizaciones que así lo soliciten. La información aportada por Copernicus mejora la seguridad de las personas proporcionando información única sobre desastres naturales (incendios forestales, te-

rremotos, volcán, inundaciones y en breve olas de calor), ayudando a prevenir la pérdida de vidas, bienes o daños al medio ambiente.

La complejidad de la que hablábamos, viene también de los objetivos perseguidos y de las diversas estructuras necesarias para conseguirlos y diseminarlos. Valgan como ejemplo algunas de estas estructuras en puntos distintos del amplio arco que abarca. Entre 2000 y 2015 se puso en funcionamiento por la ESA un precedente, Eduspace, el programa de formación y difusión de la Teledetección con el que se animaba a los profesores en distintos niveles educativos a utilizar los datos de la observación de la Tierra. Proporcionaba, en varios idiomas, explicaciones teóricas sencillas y herramientas para su tratamiento e interpretación, como el programa de tratamiento de imágenes y vectores LEOWork. Desde 2016 el servicio RUS de Coperincus, recientemente concluido, continuó esta tarea en universidades, administraciones y empresas. Varios MOC han sido también creados, junto al sofisticado programa, SNAP, para investigación y gestión de los datos de Copernicus, también de uso libre. Esto se complementa por el recientemente actualizado Copernicus BROWSE (Copernicus Data Space Ecosystem), que permite no solo obtener imágenes de los satélites Sentinel (desde que fueron lanzados y hasta unas horas después de su obtención), sino tratar los datos de forma intuitiva para entender los cambios territoriales: todo ello ha convertido el programa Copernicus en el mayor proveedor de datos espaciales del mundo, alcanzando los 16 terabytes diarios.

Se potenció la creación de plataformas privadas como Servicios de Acceso a los Datos y a la Información, los denominados DIAS, basadas en la nube y que facilitan un acceso centralizado a Copernicus con herramientas de procesamiento de alto nivel. En 2017 se crean las redes Copernicus Relays (empresas) y Copernicus

Academy (Universidades) con el fin de difundir y aplicar todo este potencial en ambos mundos. En este arco de acciones, Copernicus ha desarrollado programas incubadora para impulsar negocios basados en datos de observación de la Tierra (Copernicus start-up programme) y periódicamente convoca hackatones y reuniones de especialistas para tratar en abierto (webinar) las diversas cuestiones que es posible abordar con los datos satelitales.

El hecho de contar con la convicción de la Comisión Europea, con la fuerza de aunar los centros oficiales de todos los países miembros y sus empresas privadas, con el poder de la educación y la formación, y de compartir toda esta información, permiten entender por qué se considera a Copernicus **el programa de observación de la Tierra más ambicioso jamás creado**.

Un poco de perspectiva

Es importante entender que hay una tradición, que Copernicus es un paso más. En este sentido, los dos primeros satélites de observación, lanzados por la ESA en 1991 y 1995, fueron los ERS-1 y ERS-2. En 2002 la ESA pondría en órbita el satélite ENVISAT, el mayor satélite para estudios medioambientales jamás construido. Los ERS portaban un radar de apertura sintética, con los que tomaba imágenes de la tierra y del mar, día y noche independientemente de la cobertura nubosa. Portaban también un difusómetro con el que medía la dirección y la velocidad del viento sobre los océanos y un altímetro para medir la altura de las olas. A ERS-2 se le añadieron algunos instrumentos más, como un escáner pasivo tradicional con 7 canales en las gamas visible e infrarrojo cercano (para obtener mapas globales de la vegetación con una resolución espacial de 1 km de píxel), y de infrarrojo térmico, con el objetivo de cartografiar la temperatura de la superficie de mares y

océanos. Fueron un gran éxito científico obteniendo importantes datos de la topografía de tierras y océanos.

Estos instrumentos fueron heredados por ENVISAT, que terminó portando 10 sensores en una misma plataforma. De esta forma obtenía mediciones de la atmósfera, los océanos, el suelo y el hielo al mismo tiempo, y con ello Europa se aseguraba un entendimiento global y sistemático de los más importantes parámetros geofísicos terrestre. Esto permitía pensar en políticas adecuadas para enfrentar el cambio climático y los desastres naturales, con una cada vez mayor repercusión social. Las ventajas de tener todo en un solo satélite eran enormes, al estar los datos referidos a una misma órbita, permitiendo una más eficiente integración. Pero había inconvenientes, pues sus 8,2 tonelada eran más difíciles y costosas de poner en el espacio y si fallaba algo se perdía todo, como sucedió en 2012 con el sistema de comunicaciones. Aunque esta línea de la ESA se ha continuado también en los denominados **Earth Explorers** (Aeolus, CryoSat, SMOS, Swarm), sirvió para diseñar las características de los Sentinel: recogiendo y mejorando su probada instrumentación.

El proyecto GMES fue rediseñándose y ya, bajo su denominación de Copernicus, alcanzó un acuerdo con la Comisión Europea que en 2013 adopta un Reglamento por el que se introduce un sello distintivo al programa: la política de datos completos, libres y abiertos ya comentada. En su ejecución colaboran los Estados miembros, la Agencia Espacial Europea (ESA), la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT), el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo (ECMWF), las agencias de la UE y la empresa Mercator Ocean. Copernicus es, pues, una iniciativa genuinamente europea con un carácter altamente multidisciplinar, que aúna a comunidades de todo el espectro

científico, desde la física atmosférica a la información geográfica y medioambiental.

La adopción del nombre de Copernicus se hace en alusión a la pionera revolución científica desencadenada por Nicolás Copérnico en el Renacimiento con su teoría heliocéntrica, pero también por sus otras aportaciones a la economía, a la medida del radio terrestre, etc., que tuvieron grandes beneficios sociales posteriores: esta misma revolución es la que persigue el programa espacial Copernicus.

Es importante recalcar que se van introduciendo nuevos objetivos pensando no solo en las actividades científicas de la ESA, sino también de los usuarios, poniéndose un énfasis especial en su uso por las administraciones públicas y la ciudadanía en general. Para hacer este objetivo posible, los datos son procesados, analizados y convertidos en productos y servicios, aumentando considerablemente su valor y su uso.

La deuda norteamericana

Ciertamente, es necesario también remarcarlo, el camino venía desbrozado de Estados Unidos con diversas propuestas críticas para que la gran cantidad de informaciones útiles que tomaban los satélites no se quedara en los centros altamente especializados de un número reducido de países. A mediados de los años noventa, la NASA tomó la iniciativa y propició reuniones con científicos sociales con el objetivo de extender este gran caudal de datos a los aspectos más directamente relacionados con las actividades humanas (véase la publicación de 1998 del National Research Council, *People and Pixels*). La Administración americana, además, bajo el mandato de Clinton-Al Gore, avanzaron en la liberación datos espaciales tan relevantes como la serie de imágenes tomadas por Landsat, el primer satélite para estudios ambientales desde 1972, parte de la señal de

“EL COMPONENTE ESPACIAL DE COPERNICUS ESTÁ FORMADO POR SEIS FAMILIAS DE SATÉLITES, LOS SENTINEL, NUMERADOS POR EL MOMENTO DEL 1 AL 6”

los GPS o las imágenes desde el espacio tomadas por los primeros programas espías (CORONA). Google Earth (construido inicialmente en 2004 con esos datos liberados por la NASA tras el impulso de las esferas digitales) mostraría sin género de dudas el valor social de compartir datos espaciales. Estos, entre otros precedentes, fueron marcando el camino del proyecto Copernicus.

La familia de satélites Sentinel

El componente espacial de Copernicus está formado por seis familias de satélites, los Sentinel, numerados por el momento del 1 al 6. Los tres primeros están enfocados al estudio de tierras y océanos, mientras que los tres últimos, aún por completar, lo están principalmente a estudio atmosféricos.

Sentinel-1

El 3 de abril de 2014 se produce el despliegue del componente espacial Copernicus con el lanzamiento del satélite radar Sentinel-1A, que contará en 2016 con su gemelo Sentinel-1B, reduciendo así la revista a cada lugar a menos de 5 días. Es un satélite radar, es decir, un satélite activo, en banda C de 5,5 cm, y que, por lo tanto, no depende de las condiciones de iluminación y climáticas. Es el heredero la exitosa tecnología de los comentados ERS-1 (1991), del ERS-2 (1995) y ENVISAT (2002).

Es el único sistema radar que tiene sus datos en abierto de entre todos los operados por las agencias espaciales. Aunque su destreza se



Figura 1. Se ha realizado discriminando datos de decenas de imágenes adquiridas en órbita descendente por Sentinel-1 entre el 18 de abril de 2020 y el 17 de abril de 2021. Representa un mosaico de parte de Europa y permite observar los cambios estacionales de la vegetación durante el período de referencia, pues muestra en rojo las áreas donde la vegetación estuvo presente solo durante la primavera de 2020, en verde la que solo se desarrolló durante el verano de 2020 y en amarillo donde se mantuvo durante la primavera, el otoño de 2020 y el invierno de 2021. Las demás zonas tenían cierta cobertura vegetal todo el período de referencia. Pero si nos fijamos en las zonas urbanas, estas destacan por su color blanco, es decir por el fuerte rebote de la señal, delimitándolas así con gran precisión de las no urbanizadas. Unión Europea, Copernicus Sentinel-1.

basa en registrar con precisión la distancia y la desigual intensidad de rebote de las ondas que emite, aprovecha también su polarización y fase para obtener valiosos datos que se están siendo utilizados para muy diversos servicios, tanto en la tierra como en el mar. El desigual rebote de la onda en el agua permite detectar con precisión las manchas de petróleo en el mar, la presencia de embarcaciones y calcular su trayecto y velocidad (también con los camiones en las principales carreteras europeas), dibujar con precisión la extensión de las inundaciones (permitiendo a los servicios de rescate hacer planes sobre el acceso a zonas aisladas), calcular la altura de las olas y sus características, etc.

Con sus datos en tierra se están registrando los movimientos del terreno con una impresionante precisión de milímetros (lo que supone una gran ayuda en los procesos pre y pos volcánicos, o en movimientos de tierra en general) y, en relación a la vegetación, permite discriminar las plantaciones, su crecimiento, y registrar los procesos de deforestación: independientemente de la presencia de nubes constantes, como sucede en las regiones ecuatoriales, aportando así datos fundamentales para la alimentación de la humanidad, como sucede con las plantaciones de arroz. La facilidad con la que discrimina las zonas asfaltadas y construidas (*imperviousness surface*), le convierte en la mejor herramienta de la que disponemos

para conocer con precisión el desarrollo del urbanismo en el planeta. Un ejemplo de estas capacidades la podemos observar en la figura 1.

Sentinel-2

Puesto Sentinel-2A en órbita en 2015 y en 2017 Sentinel-2B, Sentinel-2 opera en las longitudes de onda del visible, el infrarrojo cercano y el infrarrojo de onda corta (VIS-IR-SWIR): recogidas en trece bandas con una resolución espacial de 10 m, 20 m y 60 m (para las bandas atmosféricas). Sentinel-2A, posibilitó mejorar las imágenes de los Landsat de la NASA, tanto en su distribución como en su resolución espacial (de los 30 m de Landsat a 10 m de S-2), radiométrica (con 12 bits),pectral (en número y distribución de las bandas, aunque sin incorporar las bandas térmicas de Landsat), y temporal (con una revisita con S-2A y S-2B cada 5 días, frente a los 16 de Landsat). Se buscó, en cualquier caso, compatibilidad tras la colaboración que en este aspecto realizaron NASA y ESA.

El primer gran uso de este satélite está relacionado con la vegetación por ese salto tan claro que se produce en una planta entre lo que emite en las longitudes de ondas del rojo y las del infrarrojo cercano (figura 2).

Son muchas las utilidades de Sentinel-2 en el estudio de la vegetación, en la caracterización de las cubiertas y los usos del suelo, en la evolución de las cosechas, en la salud de los bosques, etc. La Unión Europea ha querido, además, convertir este satélite en una herramienta indispensable para los agricultores, con programas informáticos diseñados para el control particular de sus parcelas, consiguiendo así usos más racionales del agua, de los fertilizantes y de los plaguicidas, que podrían alcanzar un ahorro del 20%. El tratamiento de múltiples imágenes permite, además, observar cómo se combinan los cultivos a lo largo de las estaciones.

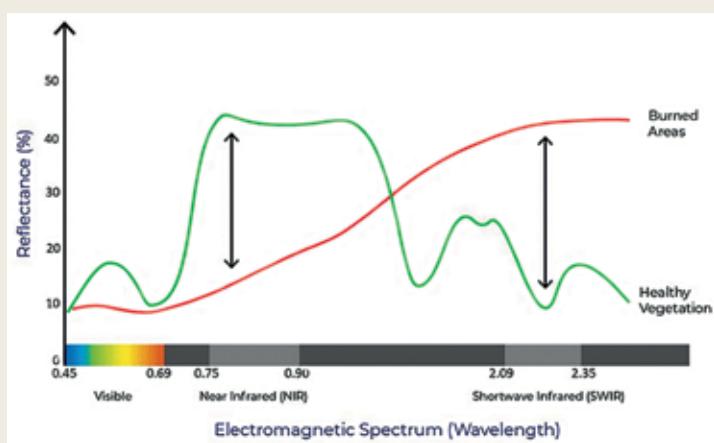


Figura 2. La línea de color verde muestra la firma espectral de como una planta sana refleja en las distintas longitudes de onda, mientras que la línea roja muestra como lo hace un área quemada. Las plantas sanas absorben casi toda la luz en las longitudes de onda del visible (para hacer la función clorofílica, emitiendo un poco en el verde, lo que explica que las vemos de este color), mientras que emiten con mucha intensidad en el infrarrojo (meseta de la curva, que nosotros no podemos ver, pero sí los sensores que porta el satélite). Estas curvas especales permiten distinguir los estados fenológicos de las plantas y caracterizar los distintos cultivos.

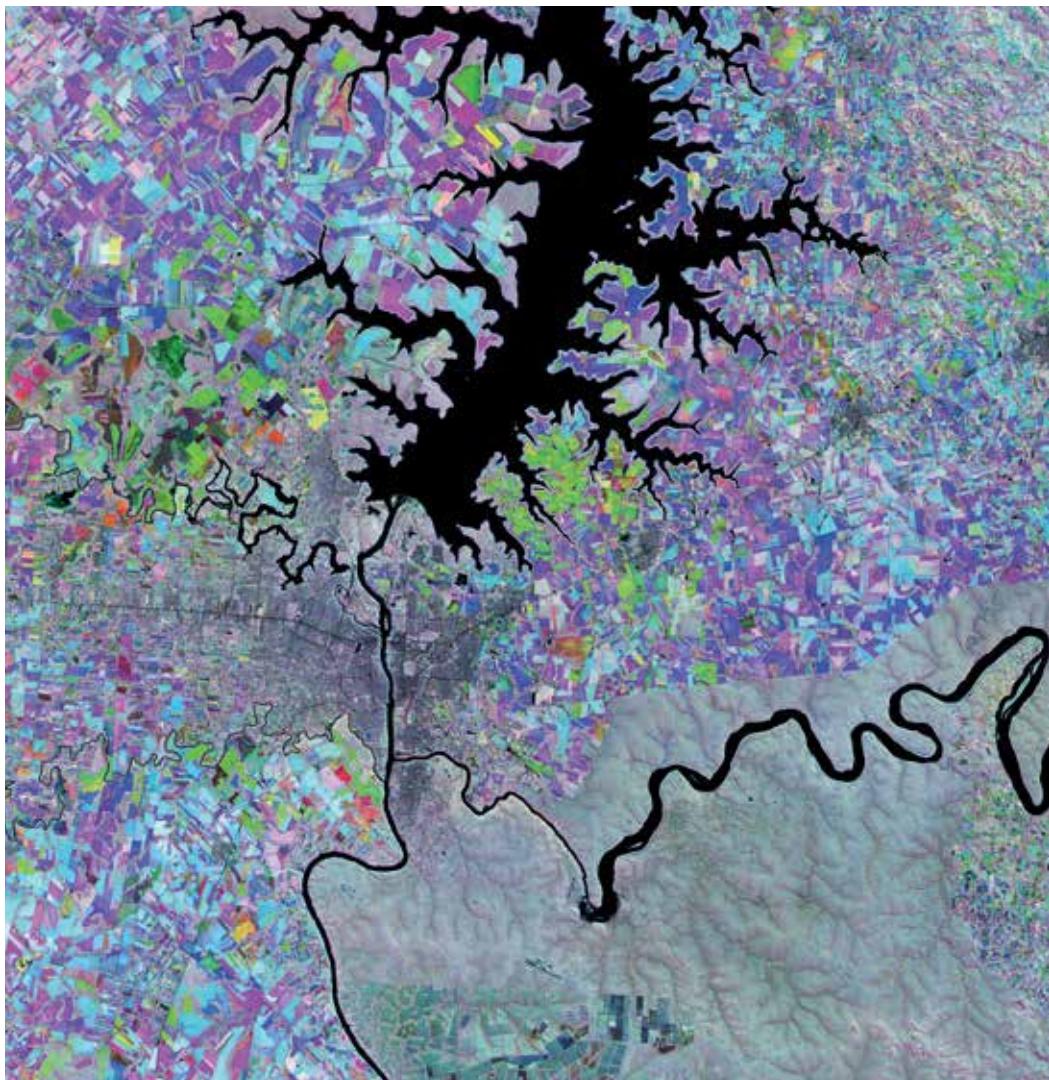


Figura 3. La imagen muestra, en este trifinio entre Paraguay, Brasil y Argentina en la confluencia del río Paraná con el Iguazú, un compuesto multitemporal, lo que significa que los canales con los que se forma una imagen en color los ocupan ahora tres imágenes adquiridas en momentos diferentes. Estas imágenes se tomaron en marzo, julio y noviembre de 2022 utilizando el canal infrarrojo de la misión: es decir, se ha utilizado la imagen tomada en el infrarrojo, en lugar del visible, en cada fecha para componer una imagen en color. Los campos cultivados se destacan en colores brillantes. Los tonos de azul, cian y violeta indican que los cultivos eran más exuberantes en noviembre, cuando se capturó la tercera de las imágenes, en comparación con las adquisiciones anteriores. Las áreas que han permanecido casi sin cambios durante las tres fechas, como los bosques y las áreas urbanas, aparecen en grises, mientras que los cuerpos de agua, que absorben la mayor parte de la luz, se identifican fácilmente en negro. Unión Europea, Copernicus Sentinel-2.

La imagen de la figura 3 muestra una composición en falso color en la llamada Triple Frontera, la región donde se encuentran Paraguay,

Brasil y Argentina. Se ha formado en falso color con las bandas del infrarrojo cercano de tres meses, lo que permite resaltar los cambios



Figura 4. La imagen de la derecha, obtenida con Sentinel 2, recoge la parte central de Madrid, mostrándose el casco antiguo delimitado por una línea punteada amarilla: aparece en tonos rojos intensos debido a la predominancia de cubiertas de teja, que presentan una alta reflectancia en los canales seleccionados. El mismo color ofrecen los pueblos integrados en su día por Madrid, fuera de la segunda línea punteada, en verde, como Tetuán, Pueblo Nuevo y Vallecas. Entre las líneas punteadas se muestra el segundo cinturón, correspondiente al Ensanche de Madrid. Sus barrios se reconocen visualmente, además, por su ordenación planificada en cuadrícula. Los tonos azulados se corresponden con materiales de techo diferentes, como los conglomerados y los basados en áridos. En el casco antiguo, estos tonos azulados muestran con claridad los nuevos materiales introducidos con la apertura de la Gran Vía entre 1910-1932 para comunicar la zona de Arguelles y Salamanca y descongestionar la zona central. La segunda imagen de la derecha es el mapa del Anteproyecto del Ensanche de 1861, y muestra esta diferenciación espacial entre el Casco Antiguo y Ensanche. Sentinel-2. Elaboración propia.

entre adquisiciones y monitorear el crecimiento de la vegetación (figura 3).

Es también un satélite muy útil para los estudios urbanos, pues permite discriminar muchos aspectos interesantes, desde sus espacios verdes hasta el tipo de sus edificaciones, como muestra la figura 4 para la ciudad de Madrid en composiciones de falso color donde se distinguen diversos aspectos relacionados con el crecimiento urbano de la ciudad. Combinando las bandas SWIR y las del rojo, se obtienen imágenes en falso color que resaltan intensamente los diferentes materiales del techo utilizados a lo largo del tiempo en las ciudades. Esta combinación de bandas resulta muy útil para diferenciar materiales como la teja, el cemento o los sintéticos impermeabilizantes, permitiendo diferenciar los distintos barrios que forman la ciudad en función de su época de

construcción. Este tipo de imágenes resultan muy intuitivas para los estudiantes, convirtiéndose en una valiosa herramienta didáctica y de divulgación.

Sentinel-3

Las principales aplicaciones Sentinel 3 están dirigidas al estudio de la temperatura superficial (figura 5), los cambios en el nivel del mar, la gestión de la calidad de las aguas, la monitorización de la extensión y espesor de las banquises, la monitorización de las coberturas del suelo, la salud de la vegetación y de los glaciares, la monitorización de los recursos hídricos y la detección de incendios forestales.

Puesto en órbita en 2016, está considerado el «caballo de batalla» de Copernicus por los múltiples instrumentos que lleva para el monito-

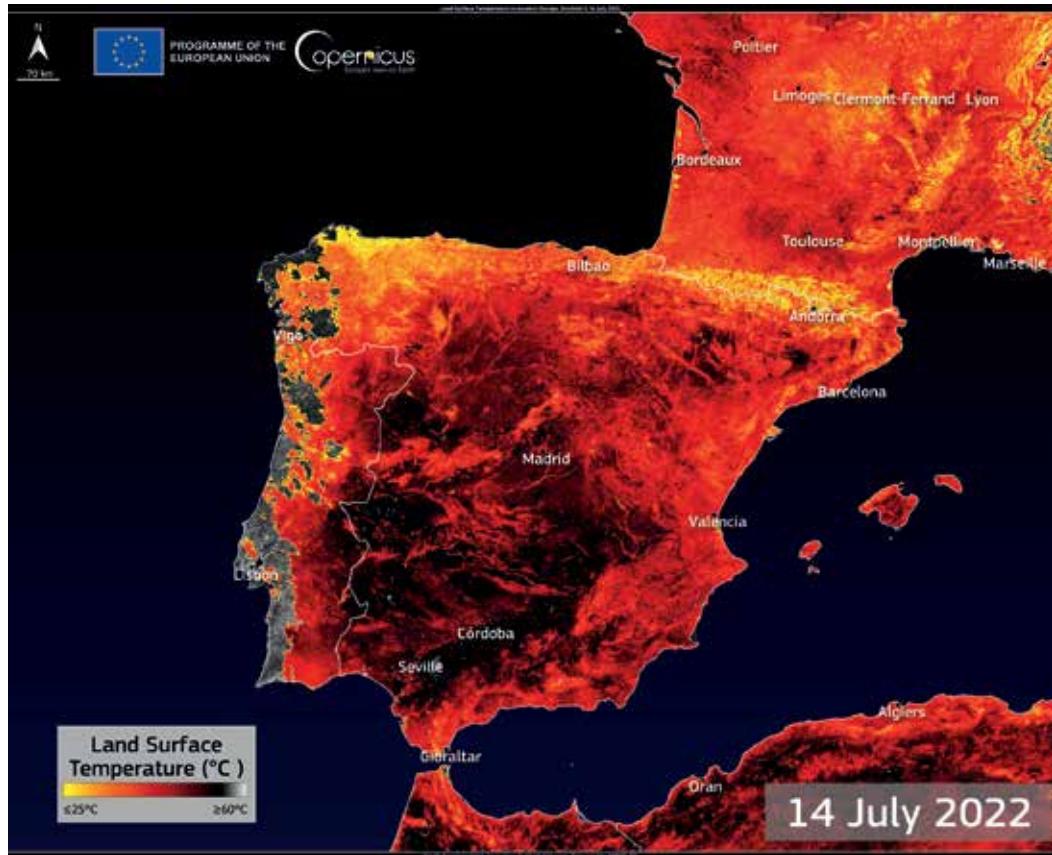


Figura 5. El sensor LST de Sentinel-3, es un radiómetro de temperatura de la superficie terrestre. Los colores más oscuros con temperaturas que superaron los 53° C (LST) en algunas partes de España, son temperaturas del suelo (y no las del aire con las que no deben ser confundidas, pues estas últimas se obtienen en estaciones meteorológicas a 1,5 metros de un suelo cubierto de hierba). Los satélites pueden medir la emisión de temperatura de la superficie del suelo y del mar de una forma continua (en lugar de las obtenidas de forma puntual por las estaciones), lo que permite conocer como fluctúan y evolucionan la temperatura en el planeta con una gran precisión. Unión Europea, Copernicus Sentinel-3.

reo de océanos y tierra (ópticos, de radar y altimetría de alta precisión para los servicios de monitoreo marítimo y terrestre, continuando con las tareas de ENVISAT). En este caso hay que destacar que su resolución es de entre 300 m y 1.250 m con un ancho de banda de 1.270 km (frente a las 290 de S-2 y 190 de Landsat), lo que permite captar en una sola imagen toda la Península Ibérica. La puesta en órbita en 2018 de Sentinel-3B proporcionar una cobertura global de datos ópticos multiespectrales con

una revisita de uno a dos días desde su órbita a 814,5 km permite formar imágenes de toda la Tierra cada dos días.

Los satélites atmosféricos: Sentinel-4, Sentinel-5P

Sentinel-4 tiene previsto su lanzamiento en 2024-2025 como una carga útil sobre un satélite de tercera generación de Meteosat, y su objetivo es proporcionar datos para el monitoreo de la composición atmosférica. Sentinel-5P, en

órbita desde 2017, se dedica al monitoreo global de la calidad del aire.

Sentinel-6 Poseidon-4

Su finalidad es derivar la altura del satélite sobre la Tierra. Puesto en órbita en 2020, posee un altímetro de radar de doble frecuencia (banda C y Ku), utilizando un innovador modo intercalado que ha mejorado el rendimiento en comparación con los diseños de altímetros satelitales anteriores. El pulso de eco devuelto por la superficie del mar proporciona, además, una forma de onda que se procesa para determinar la altura de la superficie del mar, la altura de la ola significativa y la velocidad del viento superficial.

Los seis servicios operativos temáticos de copernicus

Como se ha venido comentando, los seis servicios esenciales de Copernicus abarcan los tres componentes geofísicos principales del planeta (tierra, mar y aire) y los tres retos principales a los que nos enfrentamos (medio ambiente, cambio climático y Seguridad).

Son los encargados de transformar esta riqueza de datos satelitales e in situ, en modelos e información de valor añadido, mediante su procesamiento y análisis. Los conjuntos de datos abarcan años y décadas, lo que permite la comparación y la extracción de anomalías, dando consistencia y eficiencia al monitoreo de los cambios geográficos y medioambientales. La obtención de patrones en los cambios es fundamental para crear mejores pronósticos en cada servicio. Las anomalías se recogen en diversos mapas para centrar la atención y extrae información estadística que permitir un mejor análisis de los cambios. Estas actividades de valor añadido se racionalizan a través de seis flujos temáticos de servicios de Copernicus:

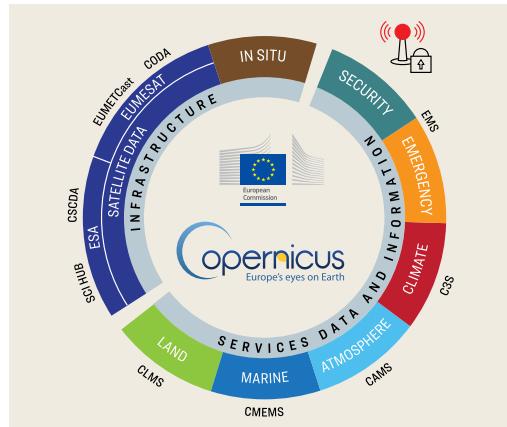


Figura 6. Centros, datos, y servicios de Copernicus. Todos ellos son de libre acceso, menos los relativos a la seguridad.



El Servicio de Territorio de Copernicus

(CLMS en inglés) proporciona acceso a los cinco componentes principales con información actualizada sobre el uso de la tierra y productos de cobertura del suelo, sus cambios temporales, etc., con aplicaciones muy diversas como la planificación espacial, la gestión forestal, del agua, agricultura y seguridad alimentaria, la gestión de emergencias, etc. Es uno de los más relevantes servicios de Copernicus. Aunque la mayor parte de estos servicios se centran en los países de EU (con los que se colabora estrechamente para elaborar y dar consistencia a los datos), también hay productos a escala mundial. El Servicio de Vigilancia del Terreno de Copernicus ha estado en funcionamiento desde 2012.

Lógicamente, cada interés temático encuentra en estos servicios los datos que necesita, pero para un geógrafo es el servicio que ofrece los datos más prometedores para entender la dinámica del territorio, principalmente europeo, pero en determinados temas también de todo el planeta. Es un clásico el proyecto CORINE Land Cover (CLC) y todas sus va-

riantes, pero realmente impresiona el Servicio Europeo de Movimientos Terrestres (y no deja de parecer increíble si no se está familiarizado con los dato inSAR de Sentinel 1 y se ha comprobado como la sensibilidad de la interferometría satelital InSAR a los desplazamientos de la tierra es extraordinaria: vídeo explicativo:

BASÁNDOSE EN LOS SERVICIOS DE COPERNICUS Y EN LOS DATOS RECOLGIDOS A TRAVÉS DE LOS SENTINEL Y OTRAS MISIONES CONTRIBUYENTES, MUCHOS SERVICIOS DE VALOR AÑADIDO PUEDE ADAPTARSE A NECESIDADES PÚBLICAS O COMERCIALES ESPECÍFICAS, POSIBILITANDO NUEVAS OPORTUNIDADES DE NEGOCIO

European Ground Motion Service). Este servicio de la CAMS ofrece datos de los movimientos del terreno en vertical y horizontal con precisiones milimétricas y centimétrica entre 2015-2021 y 2018-..., con miles de estos puntos por km² en entornos urbanos. Una de sus últimas aportaciones es la Producción primaria bruta 2023-presente (raster 300 m), global, 10-diario de la cantidad total de compuestos de carbono producidos por la fotosíntesis de las plantas en un ecosistema durante un período de tiempo determinado, con 10 observaciones diarias disponibles a escala mundial (300 m) desde 2023 hasta la actualidad. Para todos los productos que ofreces, puede verse el Dataset Catalog.



El Servicio de Monitorización del Medioambiente Marino Copernicus o (CMES) ofrece capacidades sin precedentes para observar, com-

prender y anticipar la dinámica del medio marino. Proporciona información periódica y sistemática sobre el estado del océano Azul (físico), Blanco (hielo marino) y Verde (bio-geoquímico) a escala mundial y regional. Está implementado por Mercator Ocean International (una organización sin ánimo de lucro seleccionada por la Comisión Europea en 2014 para implementar el Servicio de Vigilancia Marina Copernicus). Su objetivo central es servir a las políticas de la UE y a los compromisos jurídicos internacionales relacionados con la gobernanza del océano (EU4Ocean-Obs), impulsando por otra parte la Economía Azul a través de todos los sectores marítimos, a los que ofrece datos e información oceánica gratuita de vanguardia.



El Servicio de Vigilancia de la Atmósfera de Copernicus (CAMS) proporciona datos continuos; previsiones e información sobre la composición atmosférica, la calidad del aire y la radiación solar. Se centra en cinco áreas principales: 1) calidad del aire y composición de la atmósfera, con información diaria para gases de efecto invernadero (dióxido de carbono y metano), gases reactivos (monóxido de carbono, compuestos nitrogenados oxidados, dióxido de azufre, etc.) y aerosoles; 2) capa de ozono y radiación ultravioleta; 3) emisiones y flujos de superficie; 4) radiación solar; y 5) forzamiento climático.



Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S) proporciona datos y gráficos de alta calidad para ayudar a los sectores de la política, la ciencia y los negocios a comprender el cambio climático, mitigar y adaptarse a sus efectos, apoyando las políticas europeas de adaptación y mitigación. Es una fuente de información climática consistente y fidedigna, que realiza los datos sistemá-

ticamente, y que se construye con las capacidades e infraestructuras existentes. Ha supuesto un estímulo para el mercado de los servicios climáticos en Europa. El servicio responde estudiando las variables esenciales del clima (ECV) y se rige por preguntas del tipo ¿cómo está cambiando el clima? ¿continuará/se acelerará el cambio climático? ¿cuáles son los impactos en la sociedad?



Servicio de Gestión de Emergencia de Copernicus (CEMS)

apoya a los actores en el campo de la ayuda humanitaria de crisis y en la mitigación del riesgo de desastres, tanto humanos y como naturales, proporcionando datos e imágenes geoespaciales para la toma de decisiones informada. Se implantó en 2012 y su trascendencia está siendo creciente, como muestran día tras días los medios de comunicación.

El CEMS supervisa constantemente la tierra en busca de señales de un desastre inminente o evidencia los que suceden en tiempo real, notificando inmediatamente a las autoridades nacionales sus conclusiones. Puede activarse bajo demanda, analizando datos satelitales, *in situ* (no espaciales) y modelos para ofrecer mapas con un alto nivel de detalle (sin necesidad de viajar a las áreas afectadas), series temporales entre otras informaciones. El alto nivel de detalle permite a los actores visualizar el alcance de un evento, ahorrando tiempo y recursos.



El Servicio de Seguridad tiene como objetivo apoyar las políticas de la UE proporcionando información en respuesta a los retos de seguridad de Europa. Mejora la prevención, preparación y respuesta ante las crisis en tres ámbitos clave: la vigilancia de fronteras, la vigilancia marítima y el apoyo a la acción exterior de la UE.

Los principales usuarios de los servicios de Copernicus son los responsables políticos y las autoridades públicas que necesitan la información para desarrollar legislación y políticas medioambientales o para tomar decisiones críticas en caso de emergencia, como una catástrofe natural o una crisis humanitaria.

Basándose en los servicios de Copernicus y en los datos recopilados a través de los Sentinel y otras misiones contribuyentes, muchos servicios de valor añadido pueden adaptarse a necesidades públicas o comerciales específicas, posibilitando nuevas oportunidades de negocio.

La información proporcionada por los servicios de Copernicus puede ser utilizada por los usuarios finales para una amplia gama de aplicaciones en una variedad de áreas como la gestión de las zonas urbanas, el desarrollo sostenible y la protección de la naturaleza, la planificación regional y local, la agricultura, la silvicultura y la pesca, la salud, la protección civil, las infraestructuras, el transporte y la movilidad, así como el turismo. Un **Catálogo de Servicios Copernicus** informa de los productos más relevantes que se han ido generando en cada uno de estos servicios.

Los nuevos centros temáticos de Copernicus

Con esa misma intención de hacer operativos los datos provenientes de los diferentes servi-

EL SERVICIO VICI SE BASA EN DATOS NDVI TEMPORALES QUE SE UTILIZAN PARA IDENTIFICAR LOS DEPRODUCCIÓN DE CULTIVOS, LOS VALORES DESENCADENANTES Y LOS PORCENTAJES DE PAGO POR ZONA



Figura 7. Aunque estos mapas representan en detalle la gravedad de la sequía en Sudáfrica en temporadas de crecimiento consecutivas (fuente: Kees de Bie), son del mismo tipo los que se utilizan en el caso de Etiopía descrito. Derecha: agricultor recibiendo un pago del seguro debido a la sequía en el periodo de crecimiento del cultivo. Copernicus Use Cases.

cios en el apoyo a decisiones informadas, se están creando en estos momentos una serie de Centros Temáticos (Copernicus Thematic Hubs) donde se concentran, para un mismo tema, datos provenientes de diferentes servicios, con información de actividades de formación, casos de uso y eventos relacionados con cada tema. Se han activado hasta el momento, mostrando su enorme utilidad, los relativos a las costas, la salud, la energía y el Ártico.

Estudio de casos del uso de copernicus

Como se ha venido señalando, Copernicus no quiere quedarse en la recopilación de datos y en la creación de mapas y modelos. Su vocación persigue que la información que recoge y sistemática sirva para una gestión más eficiente y sostenible. Para conseguir estos fines propicia y colabora en la adaptación de estos a todos los ámbitos donde pueden ser usados. Una página web recoge muchos de estos usos (Use Cases), de donde recojo los dos de más abajo.

Seguros basados en datos de sequía en África

Las sequías causan comportamientos de evitación de riesgos. Un seguro asequible es una contribución para cambiar este comportamiento. VICI es un seguro basado en el índice de vegetación (NDVI) que está vinculado al crédito a los agricultores: es asequible y no depende de los subsidios. El objetivo es transferir el riesgo, aumentar el acceso a la financiación y permitir un mejor uso de los insumos, al tiempo que se estabilizan los ingresos y se incrementan los ingresos.

El servicio VICI se basa en datos NDVI temporales que se utilizan para identificar los de producción de cultivos, los valores desencadenantes y los porcentajes de pago por zona. Esta solución aprovecha las distribuciones de NDVI para representar la sequía. de esta forma, el impacto meteorológico estimado en NDVI se traduce en pagos de seguros. En Etiopía, VICI es parte de un Paquete de Mejora de la Resiliencia (REP) donde más de 17.000 agricultores recibieron capacitación y más de 3.400 fueron inscritos. VICI se basa en la exposición, el área

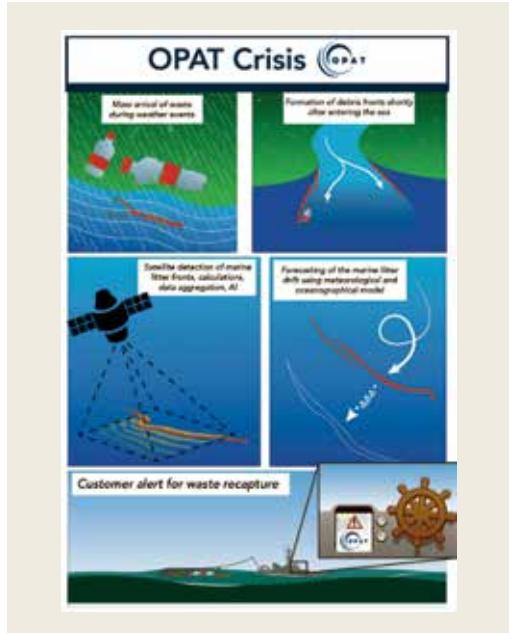


Figura 8. Llegada masiva de residuos durante eventos meteorológicos. Formación de frentes de escombros poco después de entrar en el mar. Detección por satélite de estos frentes de basura marina, cálculos, agregación de datos y procesos con Inteligencia Artificial. Pronóstico de la deriva marina utilizando modelos oceanográficos y meteorológicos. Alerta del cliente para la recaptura de residuos. Copernicus Use Cases.

específica y el cultivo específico. Es escalable, no requiere evaluaciones de campo costosas y es rentable. Es adecuado para el monitoreo de sequías y el seguro de cultivos en áreas agrícolas de secano en toda África.

El Sistema de Alerta y Seguimiento de Plásticos Oceánicos (OPAT)

Copernicus marine, en el contexto de la economía azul, aborda el desafío global de los desechos de plásticos marinos. Al utilizar imágenes geoespaciales y algoritmos de detección avanzados, OPAT identifica con precisión la posición de los residuos plásticos, para anticiparse de su llegada a las playas. Este innovador sistema, en colaboración con los productos Copernicus Marine, calcula la deriva potencial de la

EN ETIOPÍA, VICI ES PARTE DE UN PAQUETE DE MEJORA DE LA RESILIENCIA (REP) DONDE MÁS DE 17.000 AGRICULTORES RECIBIERON CAPACITACIÓN Y MÁS DE 3.400 FUERON INSCRITOS

basura marina con 24-48 horas de anticipación, lo que permite a las autoridades costeras gestionar y mitigar de forma proactiva su impacto.

Copernicus nos ayuda a abordar los aspectos sociales clave de nuestro tiempo, y proporciona, al mismo tiempo, beneficios económicos. Se ha estimado que entre 2017 y 2035, Copernicus generaría en beneficios valorados entre 67.000 y 131.000 millones de euros para la sociedad y la economía europeas, esto es, entre diez y veinte veces su coste. Curiosamente, se espera que más del 80% de los beneficios se generen fuera del sector espacial, mediante el uso de datos de Copernicus en otras partes de la economía (agricultura, pesca, seguros, calidad del aire, etc.). Como demuestra el informe EUSPA EO y GNSS Market Report correspondiente a 2022, el mercado de observación de la Tierra está creciendo a un ritmo constante y los datos abiertos de Copernicus son un motor clave del crecimiento en este ámbito.

REFERENCIAS

- About Copernicus* (consultado el 10/01/2024)
<https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus>
- Defence Industry and Space* (consultado el 10/01/2024)
https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-space-policy/copernicus_en?prefLang=es
- EU Budget* (consultado el 10/01/2024)
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_18_4022