

Destination Earth

Julio Solís García



Revista Digital de ACTA

2024

Publicación patrocinada por



ACTA representa en CEDRO los intereses de los autores científico-técnicos y académicos. Ser socio de ACTA es gratuito.

Solicite su adhesión en acta@acta.es

Destination Earth

© 2024, **Julio Solís García**

© 2024, 

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Se autorizan los enlaces a este artículo.

ACTA no se hace responsable de las opiniones personales reflejadas en este artículo.

UN AMBICIOSO PROYECTO DE LA COMISIÓN EUROPEA

"Vivimos en una isla rodeada por un mar de ignorancia. A medida que nuestra isla de conocimiento crece, también lo hace la orilla de nuestra ignorancia"

John Archibald Wheeler (1911-2008), físico teórico estadounidense

El evidente impacto de las actividades humanas sobre nuestro planeta, como la deforestación, la contaminación de los suelos, las aguas y la atmósfera, la pérdida de biodiversidad, la extinción acelerada de especies de animales y plantas, el consumo de combustibles fósiles, y en general la explotación de recursos naturales por encima de lo que La Tierra es capaz de soportar para mantener una sostenibilidad a largo plazo, llevó a la Comisión Europea a proponer un gran proyecto ambicioso y realista para desarrollar modelos digitales de la Tierra a escala global, con una precisión que permita monitorear, simular y predecir la interacción entre los fenómenos naturales y las actividades humanas (Figura 01).



Figura 01: "Destination Earth" es una iniciativa de la Unión Europea para desarrollar un gemelo digital, o réplica, de nuestro planeta que servirá para vigilar los efectos de la actividad natural y humana, anticipándose a los fenómenos extremos y a los problemas relacionados con el clima. Crédito: ESA

El 15 de diciembre de 2021 la Comisión Europea firmó acuerdos con las tres entidades fundamentales en el desarrollo del proyecto: **"ECMWF"**, **"ESA"**, y **"EUMETSAT"**. La Comisión dirige la aplicación de "DestinE" en coordinación con los Estados miembros y los países asociados con las principales organizaciones intergubernamentales citadas. La ejecución de la primera fase del proyecto comenzó en enero de 2022, concluyendo el pasado día 10 de junio de 2024 tras unos meses de intenso desarrollo, con la inauguración de la segunda fase por parte de la vicepresidenta ejecutiva de la Comisión Europea para una Europa adaptada a la Era Digital desde el **"LUMI Supercomputer Center"** en Kajaani, Finlandia. A dicho acto oficial acudieron otros representantes de la Comisión Europea, las tres entidades ejecutoras (ECMWF-ESA-EUMETSAT), el Gobierno finlandés, y representantes de otras entidades y Organismos claves europeos y de otros continentes (Figura 02).

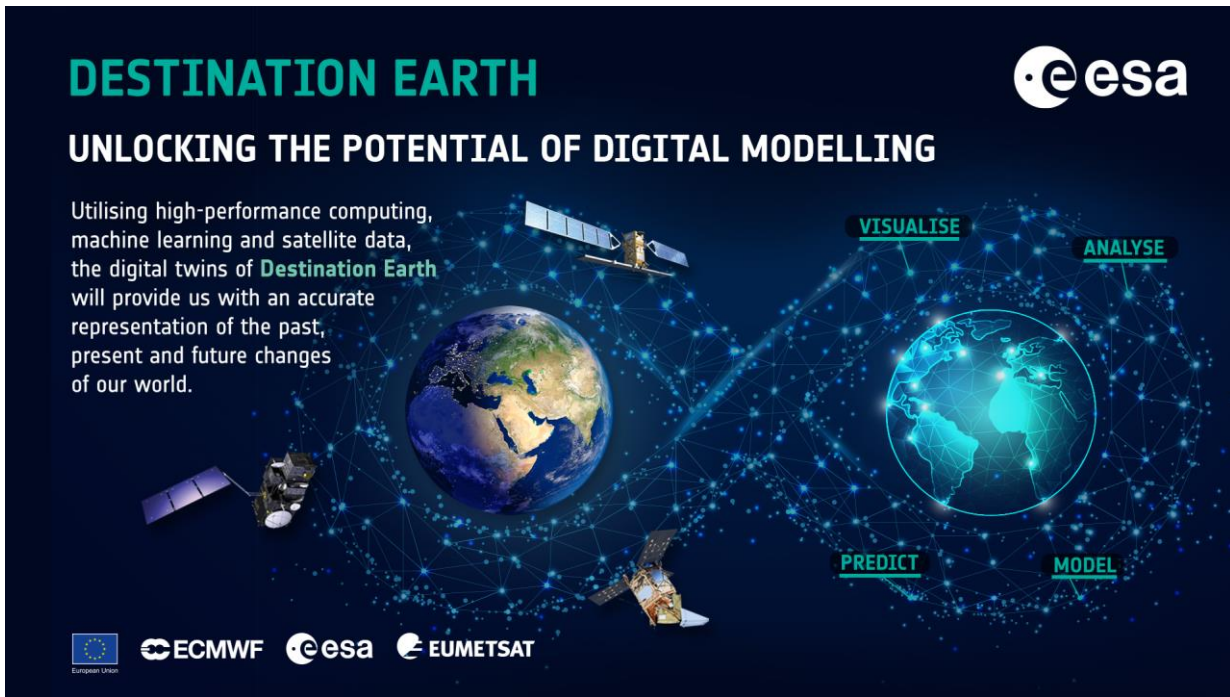


Figura 02: Los gemelos digitales de "Destination Earth" (DestinE) son réplicas digitales del complejo sistema terrestre orientadas a prevenir catástrofes naturales extremas y adaptarse al Cambio Climático y sus efectos en los océanos y la biodiversidad. El objetivo es integrar estas réplicas digitales para formar un Gemelo Digital del Sistema Tierra completo. Credit: ESA

Desde esta fecha el sistema "**DestinE**" ha quedado accesible para los usuarios en su primera generación de la infraestructura, datos y servicios. El sistema continuará evolucionando, expandiéndose y mejorando gradualmente en fases posteriores hasta el año 2030 (Figura 03), marcándose los siguientes hitos:

- A más tardar en 2027: Mejora adicional del sistema "DestinE", prestación de servicios adicionales, desarrollos innovadores de IA y sinergias con gemelos digitales adicionales.
- De aquí a 2030: Un gemelo digital «completo» del sistema terrestre.

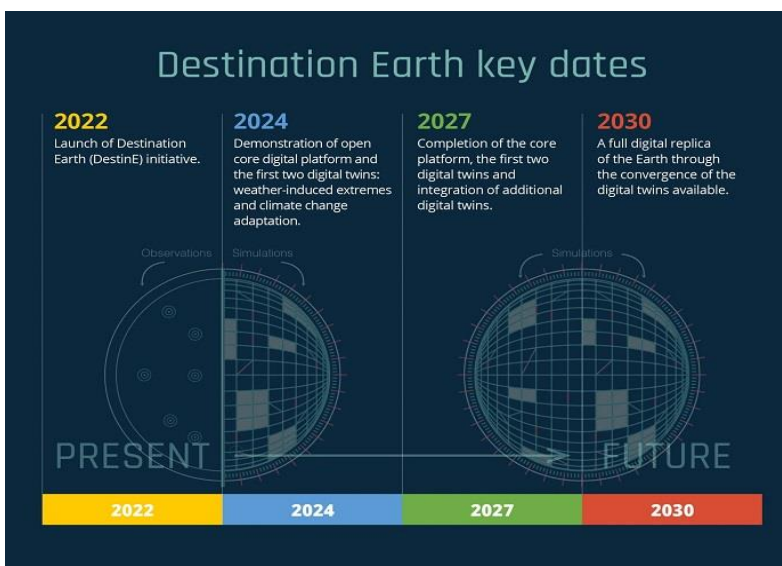


Figura 03: Fechas clave en el proyecto "DestinE". Fuente: Comisión Europea

El proyecto **"Destino Tierra" (DestinE)** contribuirá también a cumplir los objetivos europeos de la doble transición, ecológica y digital, como parte del *Pacto Verde* (the European Green Deal) y de la *Estrategia Digital* de la Comisión Europea (EU's digital transformation), traspasando los límites de la informática y las ciencias climáticas. Esta emblemática iniciativa que persigue el desarrollo de un modelo digital de gran precisión de la Tierra, un "gemelo digital" de nuestro planeta, que servirá para modelizar, vigilar y simular fenómenos naturales, peligros y las actividades humanas relacionadas con ellos, anticipándonos además a los posibles escenarios de "Cambio Climático" con modelos extremadamente realistas y verosímiles, que podrán ayudarnos en gran medida a afrontar los fenómenos meteorológicos extremos, su impacto socioeconómico, y determinar las posibles estrategias de adaptación y mitigación.

Auspiciado por el Ejecutivo de la Unión Europea (Comisión Europea), "DestinE" cuenta básicamente con tres Organismos europeos para su desarrollo que, como se ha señalado, son:

- **"ECMWF"** (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts -*El Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio*-).
- **"ESA"** (The European Space Agency -*Agencia Espacial Europea*-)
- **"EUMETSAT"** (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites -*Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos*-)

Siendo los principales componentes del sistema "DestinE":

- ✓ *"La Plataforma de Servicios Básicos"*, cuya responsabilidad, junto con las operaciones de servicio, recae en la Agencia Espacial Europea.
- ✓ *"El Lago de Datos"* (Data Lake), operado por EUMETSAT.
- ✓ *"Los Gemelos Digitales"* (Digital Twins), que son réplicas digitales de los sistemas terrestres de gran complejidad desarrollados por El Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (CEPPM, o ECMWF en inglés).

La Comisión Europea, a través de La Dirección General de Redes de Comunicación, Contenido y Tecnología, o "DG Connect", coordina la iniciativa "DestinE" en estrecha colaboración con los Estados miembros, los países asociados, las comunidades científicas y los expertos en tecnología. El Proyecto está financiado por el Programa "Europa Digital", con más de 315 millones de euros para las Fases I y II (2021-2026), aunque el programa "Horizonte Europa" (programa marco de investigación e innovación de la Unión Europea para el período 2021-2027) ofrece financiación adicional para investigación y desarrollo en apoyo de la evolución de "DestinE". La financiación de la tercera fase está pendiente de la firma del acuerdo del programa definitivo "Europa Digital 2025-2027", que se está elaborando actualmente.

Se establecerán sinergias con otros programas de la Unión Europea, como "Copernicus", la Empresa Común "EuroHPC", el "Programa Espacial", y otras iniciativas nacionales afines, reuniendo la excelencia científica e industrial europea para alcanzar los ambiciosos objetivos de "Destination Earth".

"La Plataforma de Servicios Básicos" (<https://platform.destine.eu/>), gestionada por la "Agencia Espacial Europea" (ESA), es el punto de entrada al sistema "Destination Earth" desde el que la comunidad de usuarios puede acceder fácilmente a herramientas, aplicaciones y servicios, con acceso directo a los datos y funcionalidades proporcionados por los otros dos componentes de "DestinE", el *"Digital Twin Engine"* (Gemelos Digitales) y el *"Data Lake"* (Lago de Datos). También incluye **dos gemelos digitales** de alta resolución: **uno centrado en la adaptación al Cambio**

Climático y otro en los fenómenos meteorológicos extremos, que permitirán analizar y probar escenarios para mejorar la preparación de Europa ante las catástrofes naturales, la adaptación al cambio climático y la evaluación de las posibles repercusiones socioeconómicas y políticas.

Con objeto de apoyar la explotación de datos para que los usuarios puedan tomar mejores decisiones basadas en pruebas, sobre la base de una infraestructura informática en la nube abierta, flexible y segura, la "Plataforma" integra y opera un ecosistema abierto de servicios, denominado "Marco de la Plataforma DestinE", que también favorece el intercambio de información en beneficio tanto de los propios usuarios como de terceros (Figura 04).

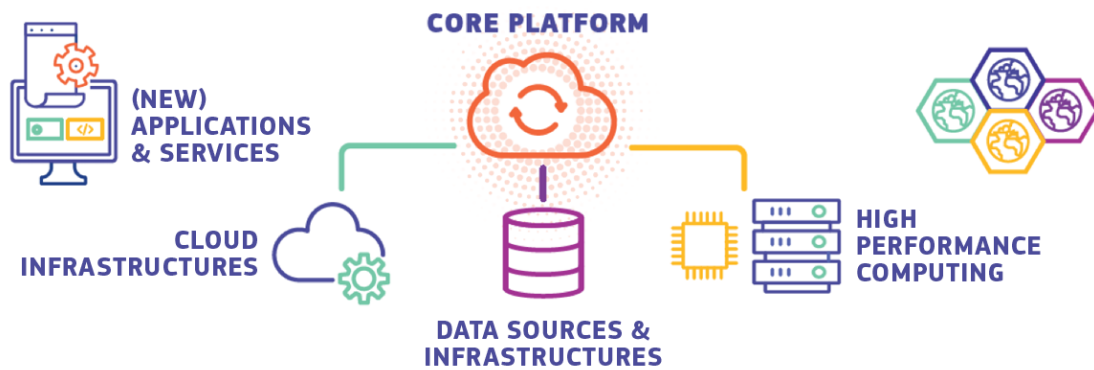


Figura 04: Plataforma Básica Abierta del proyecto "DestinE" de modelización digital y simulación abierta basada en la nube, de fácil utilización y segura. Abrirá el proyecto a una amplia gama de partes interesadas, desde expertos, científicos y responsables políticos hasta usuarios individuales. Fuente: Comisión Europea

Entre dichos servicios esenciales clave están el servicio de gestión de usuarios; infraestructura como servicio con capacidades de almacenamiento, red y CPU/GPU; servicio de acceso y recuperación de datos, en particular del "Lago de Datos", que es la columna vertebral de los datos generados por el "Motor Gemelo Digital"; servicios de trazabilidad y armonización de datos; servicio de suite de software básico para la explotación local de datos; servicios de catálogo de datos y software; y un servicio de visualización de datos 2D/3D.

La Plataforma "DestinE" proporciona además soporte onboarding para la integración de servicios y recursos externos, haciendo que el ecosistema sea flexible, escalable y fácilmente adaptable a las necesidades de la comunidad, con el objetivo final de satisfacer las necesidades de una amplia y diversa comunidad de usuarios, entre los que se incluyen ciudadanos, científicos y académicos, entidades comerciales y responsables políticos. El "Marco de la plataforma DestinE" define las condiciones necesarias para que los usuarios se beneficien de los recursos disponibles y puedan interactuar entre ellos.

Por otro lado, "EUMETSAT" es responsable del "Lago de Datos", que proporciona una armonización del acceso a los datos de salida de los Gemelos Digitales y a cantidades masivas de datos propios, de "ECMWF" y de "ESA", así como a datos de "Copernicus in situ", "datos estadísticos in situ" y "datos estadísticos europeos" independientemente de su tipo y ubicación. Este componente básico del sistema permitirá el procesamiento cercano a los datos para maximizar el rendimiento y la escalabilidad del servicio, implementando flujos de trabajo distribuidos de big data en la nube (Figura 05).

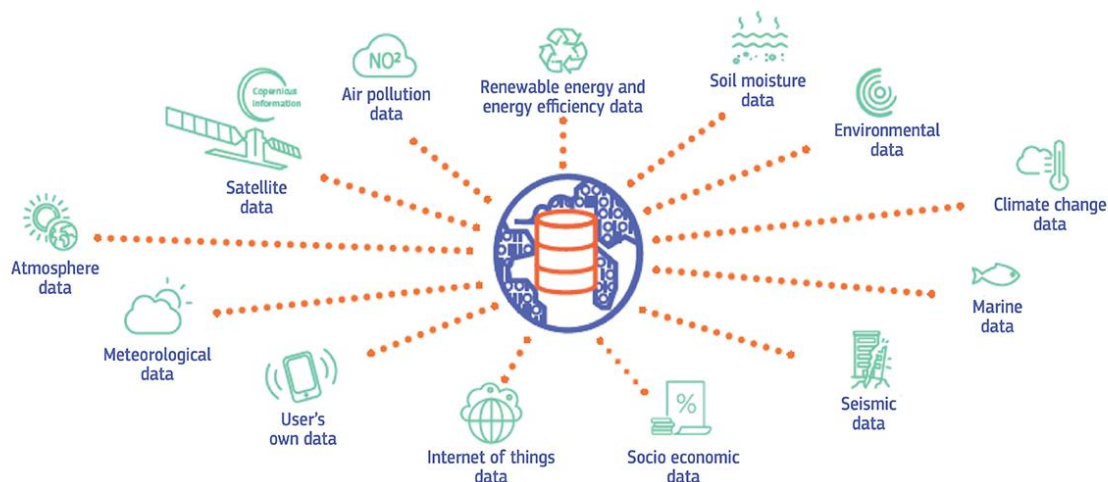


Figura 05: Lago de Datos del proyecto "DestinE". Para gestionar y ofrecer eficazmente diversas fuentes de datos, se utilizará este conjunto de datos específico basado en la federación de fuentes de datos distribuidas. Fuente: Comisión Europea

"El Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio" (ECMWF), que es el tercer pilar básico de "Destination Earth", gestiona los "*Gemelos Digitales*", que modelarán sistemas terrestres de gran complejidad en base a simulaciones de última generación y observaciones, creando varias réplicas digitales que cubren diferentes aspectos del Sistema Tierra. El objetivo final, responsabilidad del "ECMWF", es integrar gradualmente los gemelos digitales que se vayan desarrollando para formar un "Gemelo Digital de la Tierra", que combinará los modelos y observaciones del sistema terrestre junto con las tecnologías digitales e inteligencia artificial (IA).

Este Organismo está implementando el "Motor de Gemelos Digitales", un complejo software y los servicios de datos necesarios para las réplicas digitales del Sistema Tierra, así como los dos primeros gemelos digitales que apoyarán el análisis y la comprobación de escenarios: Gemelo Digital de Adaptación al Cambio Climático, que proporcionará simulaciones de alta calidad que integrarán la información del Sistema Tierra y los sectores más afectados por el cambio climático, explorando nuevas formas de interactividad; y el Gemelo Digital de Extremos Meteorológicos Inducidos por el Clima, con previsiones de alta resolución y simulaciones bajo demanda que proporcionará capacidades para evaluar y predecir fenómenos meteorológicos y medioambientales extremos en un plazo de pocos días. Ambos gemelos digitales incluyen los elementos del sector de impacto para responder mejor a las necesidades de sus usuarios.

El Gemelo Digital de Adaptación Climática simulará escenarios climáticos a una resolución de kilómetros a escalas global, regional y nacional, y a una escala temporal multidecenal, incluyendo la cuantificación de la incertidumbre. Por su parte, el Gemelo Digital de Extremos Meteorológicos proporcionará una capacidad configurable ("a la carta") para un marco europeo interactivo de vigilancia y predicción a escala inferior al kilómetro de extremos meteorológicos, hidrológicos y de calidad del aire.

La réplica virtual de nuestro planeta permitirá monitorizar y predecir el estado de salud del planeta teniendo en cuenta los efectos del cambio climático y la evolución de océanos, capas de hielo, atmósfera, superficies y bosques, además de facilitar a las Administraciones una evaluación de la eficacia y el impacto de las políticas públicas medioambientales (Figura 06).

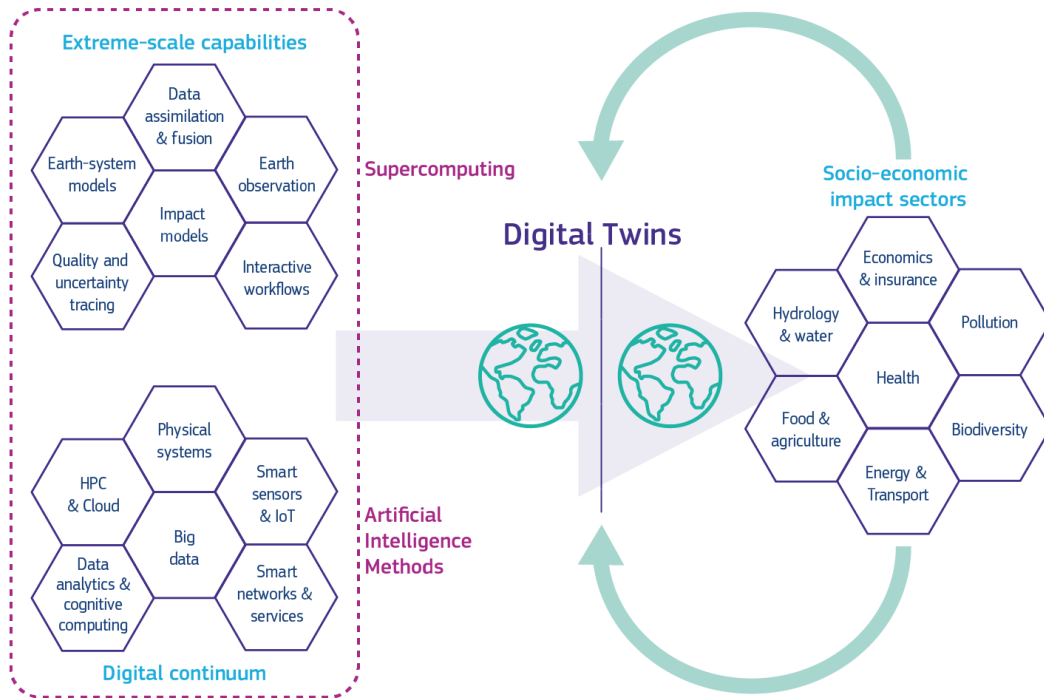


Figura 06: Los Gemelos Digitales son espejos de la realidad, simuladores que reproducen la realidad limitada por datos en tiempo real. Se han utilizado en procesos industriales para mejorar la eficiencia global de la producción. Ahora entran en otros muchos sectores (energía, transporte, salud, ciudades inteligentes, cambio climático, agricultura, etc.), y en "DestinE" se construirán con arreglo a categorías temáticas de los distintos ámbitos de las ciencias de la Tierra, como las catástrofes naturales extremas, la adaptación al cambio climático, los océanos o la biodiversidad. Fuente: Comisión Europea

Respecto a la infraestructura de software (Digital Twin Engine -Motor de Gemelos Digitales-) necesaria para las simulaciones a escala extrema y la fusión de datos, tratamiento de datos y aprendizaje automático, hay que destacar su adaptación para explotar las capacidades de los "supercomputadores EuroHPC", proporcionando un entorno flexible para operar los gemelos digitales y probar configuraciones bajo demanda adaptadas a aplicaciones específicas.

En el "planeta digital" se podrán simular diferentes escenarios sobre cómo podría ser el futuro, teniendo en cuenta cambios climáticos y meteorológicos, adelantándonos a lo que podría ocurrir con diferentes niveles de calentamiento del Planeta y las correspondientes subidas del nivel del mar. La idea es crear un sistema escalable, que permita introducir cada vez más datos y ofrecer un servicio a usuarios tanto del sector público como privado.

Tras el lanzamiento y puesta en operación de la segunda fase del proyecto "DestinE", ha entrado en escena el término "usuario", que conviene explicar con cierto detalle, sobre todo en estos primeros pasos iniciales.

En este contexto, el término más general de "partes interesadas" (Estados Miembros, Usuarios del Sector Público, Socios de Investigación y Desarrollo, y Entidades que gestionan aplicaciones operativas) resulta más preciso que el de "usuarios". Su participación activa es un elemento primordial para el desarrollo del proyecto "DestinE", facilitando la aportación de soluciones de acuerdo con las necesidades de la propia comunidad de usuarios. Se han establecido dos actividades paralelas en las que todas las partes interesadas participan, una es el "Diálogo Abierto con las partes interesadas", y la otra es la creación de "Asociaciones de Usuarios Específicos".

Respecto a la primera de dichas actividades (Diálogo Abierto con las partes interesadas), se ha establecido un diálogo abierto con las partes interesadas que se ampliará en los próximos años. Una amplia gama de colaboradores tendrá la oportunidad de guiar el desarrollo de "DestinE", comentando sus necesidades y requisitos, y compartiendo su experiencia trabajando e interactuando con los resultados que van obteniendo. Las partes interesadas también ayudarán a identificar sinergias relevantes con iniciativas y servicios nacionales y europeos. En este sentido se ha creado un foro (Intercambio de usuarios de "DestinE") que facilitará debates detallados entre los usuarios de las políticas a escala nacional y de la Unión Europea, centrándose en el potencial de aplicación, los requisitos y las brechas de los servicios del proyecto. Este foro se reúne periódicamente, el año pasado se celebraron las dos primeras reuniones, en Frascati (provincia de Roma -Italia-) y en Bonn (ciudad alemana), y la tercera será organizada por "EUMETSAT" para los días 15 y 16 de octubre de 2024 en la también ciudad alemana de Darmstadt. Con el tiempo se desarrollarán nuevas oportunidades de participación y codesarrollo conforme el Sistema evolucione y madure.

La segunda actividad (Asociaciones de Usuarios Específicos) tiene como objetivo principal diseñar e implementar servicios sostenibles a lo largo de la vida de "Destination Earth". Los socios tecnológicos clave y los agentes comerciales pueden aportar su capacidad y sus conocimientos para diseñar y aplicar nuevas capacidades de "DestinE", de manera que se correspondan con las necesidades específicas de los usuarios. Del mismo modo, es posible crear asociaciones tecnológicas sólidas para definir y diseñar los servicios de "DestinE" a través de la colaboración con, por ejemplo, los proyectos gemelos digitales financiados en el marco de "Horizonte Europa".

Algunos de esos proyectos de investigación y desarrollo son:

- BioDT (biodiversidad)
- Intertwin (motor doble digital)
- GEO-DT (extremos geofísicos)
- Digital twin of the Ocean (DTO)

Los usuarios de "DestinE", incluidos los expertos no científicos, podrán interactuar con modelos y grandes cantidades de datos socioeconómicos y del sistema terrestre, y acceder a información temática, servicios, escenarios, simulaciones, previsiones y visualizaciones que serán evaluados continuamente para proporcionar predicciones de escenarios confiables y procesables que permitan:

- Realizar simulaciones dinámicas, interactivas y de alta precisión del sistema de la Tierra (tierra, mar, atmósfera, biosfera) y de las intervenciones humanas, alimentadas por grandes conjuntos de datos observacionales. Por ejemplo, centrándose en dominios temáticos de relevancia social, como los impactos regionales del cambio climático, los peligros naturales, los ecosistemas marinos o los espacios urbanos.
- Aprovechar el potencial de la computación distribuida y de alto rendimiento (HPC) y el manejo de datos a escala extrema. Por ejemplo, a través de una plataforma interactiva que alojará gemelos digitales complejos y conjuntos de herramientas integrales para desarrollar y operar modelos basados en análisis, con acceso completo a grandes cantidades de datos diversos.
- Mejorar las capacidades de predicción que permitan anticiparse a las catástrofes medioambientales. Por ejemplo, para proteger la biodiversidad, gestionar el agua, las ener-

gías renovables o los recursos alimentarios, y mitigar los riesgos de desastres en un mundo cambiante y a las crisis socioeconómicas resultantes que permitan salvar vidas y evitar grandes recesiones económicas.

- Apoyar la elaboración y aplicación de las políticas de la Unión Europea. Por ejemplo, para evaluar el impacto de las políticas ambientales y las medidas legislativas existentes, y apoyar la futura formulación de políticas basadas en evidencias, permitiendo la elaboración y comprobación de escenarios para un desarrollo cada vez más sostenible.

Además, se reforzarán las capacidades industriales y tecnológicas de Europa mediante la simulación y observación de todo el sistema terrestre y el uso de la inteligencia artificial (IA) para el análisis de datos y la modelización predictiva, entre otros medios.

Actualmente se está priorizando el acceso a grupos de usuarios y socios seleccionados muy concretos, como autoridades públicas, instituciones científicas y de investigación, PYME y empresas de nueva creación activas en el ámbito de las TIC (tecnologías de la información y la comunicación), incluyendo a los que sirven a los compromisos internacionales de la Unión Europea. A medida que se desarrolle "DestinE", esta política inicial de acceso se irá adaptando a las circunstancias concretas en cada momento.

Este número limitado inicial de usuarios, que se corresponde con los límites de recursos del Sistema actualmente disponibles, lo irán probando y mejorando, ayudando a su desarrollo progresivo y facilitando el acceso a más usuarios conforme se ofrezcan más servicios, herramientas y aplicaciones (Figura 07).



Figura 07: "DestinE": un proyecto abierto para la sociedad y el medio ambiente.
Fuente: Comisión Europea

SUPERCOMPUTADOR "LUMI", EL CORAZÓN DEL PROYECTO "DESTINE"

"Toda tecnología suficiente avanzada es indistinguible de la magia"
Arthur C. Clarke (1917-2008), físico, matemático, escritor de ciencia ficción, inventor y novelista británico.

Tres días después de anunciado el proyecto "DestinE" con la puesta en marcha de su segunda fase y el inicio de las operaciones, y desde la misma ciudad finlandesa de Kajaani, la "Empresa Común Europea de Computación de Alto Rendimiento" (**EuroHPC**) inauguró su último supercomputador bautizado con el nombre de "**LUMI**" (**L**arge **U**nified **M**odern **I**nfraestructure), que en finés significa "nieve", con un coste inicial de más de 144 millones de euros y gestionado por un consorcio de diez países europeos: Finlandia, Bélgica, República Checa, Dinamarca, Estonia, Islandia, Noruega, Polonia, Suecia y Suiza.

Los ordenadores de alto rendimiento de Europa (EuroHPC), incluido el supercomputador "LUMI", son el verdadero corazón del proyecto "Destination Earth", que moverán las avanzadas y complejas aplicaciones y los "Gemelos Digitales" compilando capacidades de observación y simulación sin precedentes, y consolidando valiosas fuentes de datos de toda Europa.

La HPC (High Performance Computing), o computación de alto rendimiento, es un término amplio que se refiere a los ordenadores que trabajan juntos para resolver problemas complejos. Estos sistemas informáticos, que también suelen denominarse supercomputadoras, realizan una computación paralela o computación en clúster, y están diseñados para realizar tareas de cálculo complejas como el modelado y el análisis de grandes conjuntos de datos (Figura 08).

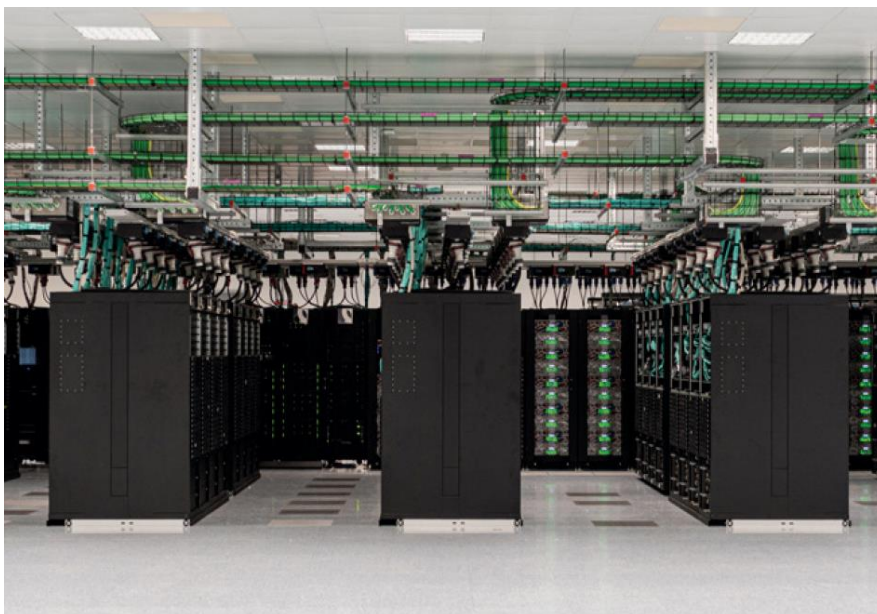


Figura 08: Supercomputador del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (CEPPM). Fuente: ECMWF (www.ecmwf.int)

"LUMI" es el supercomputador más rápido de Europa y el quinto más rápido del mundo (lista Top500 publicada en mayo de 2024). También es el duodécimo superordenador más ecológico del planeta (lista Green500 publicada en mayo de 2024) a pesar de sus 8,5 MW de potencia. Está totalmente alimentado por energías renovables, utilizando sistemas naturales de refrigeración, cuyo calor residual representa alrededor del 20% de la calefacción urbana de la ciudad de Kajaani, lo que reducirá considerablemente la huella de carbono anual de toda la ciudad.

"LUMI", un sistema diseñado por "Hewlett Packard Enterprise" (HPE) usando su producto "HPE Cray EX" de nueva generación, que se compone de 5.664 CPUs "AMD EPYC" de 64 núcleos a 2,45 Ghz (3ª Gen) y GPUs "AMD Radeon Instinct MI250X". Concretamente tiene un total de 10.240 GPUs y 20.480 chips GCD (Graphics Compute Die).

Tiene una potencia de cálculo sostenida de 380 petaflops (HPL, High-Performance Linpack) en su configuración final, aunque para finales de 2024 se espera alcanzar los 550 petaflops. "LUMI" es también una de las principales plataformas del mundo para inteligencia artificial (IA) (Figura 09).



Figura 09: Supercomputador "LUMI" desarrollado por la "Empresa Común Europea de Computación de Altas Prestaciones" (EuroHPC). Equipo de alta gama próximo a la exaescala basado en tecnología europea. Fuente: EuroHPC JU

Resumen de características básicas de "LUMI":

- ✓ Su potencia de cálculo sostenida es de 380 petaflops.
- ✓ Su potencia de cálculo equivale al rendimiento combinado de 1,5 millones de los últimos ordenadores portátiles que apilados formarían una torre de 23 kilómetros de altura.
- ✓ "LUMI" utiliza energía 100% hidráulica. Su calor residual se utiliza para calentar cientos de hogares de la ciudad de Kajaani, en la que encuentra el CSC's Data Center en el que está alojada.

Tecnologías utilizadas: El supercomputador alcanza su alto rendimiento con un gran número de nodos con aceleradores (GPU). Además, el sistema se complementa con una partición solo para CPU, servicios en la nube "IaaS" y una gran solución de almacenamiento de objetos.

En cuanto a la memoria RAM que acompaña a estas unidades, "LUMI" cuenta con 1,75 petabytes, y el sistema de almacenamiento incluye una partición de 7 petabytes en unidades SSD, combinado con 80 petabytes de unidades HDD tradicionales. Ambas emplean el sistema de archivos (FS) "Lustre", mientras que también agregan a esto un servicio de 30 petabytes de gestión de datos basado en "Ceph". Esto significa un total de 117 petabytes de almacenamiento, y un ancho de banda de E/S de 2 terabytes por segundo.

El sistema informático utiliza también una tecnología desarrollada por "Hewlett Packard" denominada "Slingshot-11", que es una red de alta velocidad que interconecta todos los dispositivos a 1.200 millones de paquetes por segundo por cada puerto, siendo además compatible con velocidades de enlace de 200 GB/s.

Por último, el sistema operativo empleado es **Linux**, concretamente "HPE Cray OS". Este paquete es un sistema operativo con conjuntos de software para computación de alto rendimiento que ha sido diseñado especialmente para ejecutar cargas de trabajo grandes y complejas. El software en sí se basa en el estándar SUSE Enterprise Linux, pero "HPE" ha mejorado su eficacia, fiabilidad, y gestión de apps (Figura 10).

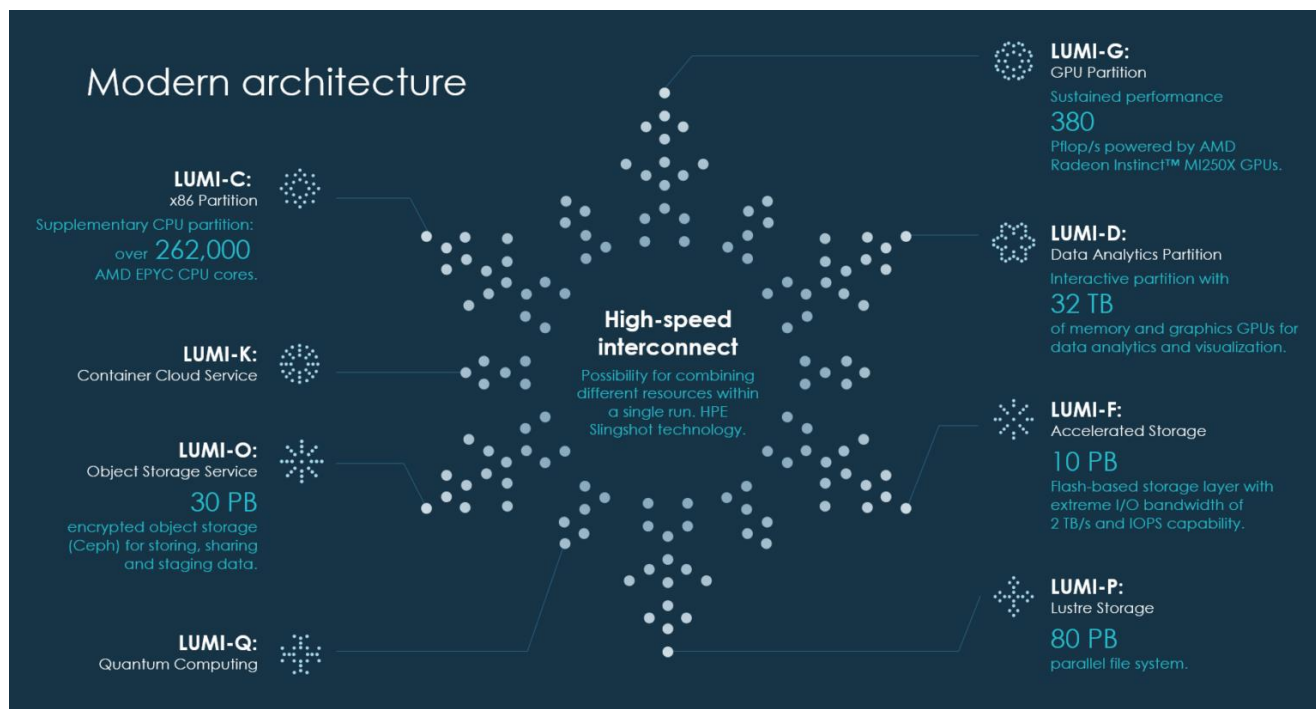


Figura 10: Principales características del Supercomputador "LUMI", desarrollado por la Empresa Común Europea de Computación de Altas Prestaciones (EuroHPC). Fuente: EuroHPC JU

No se han hecho esperar los primeros resultados de este potente sistema informático basado en procesadores AMD en materia de Inteligencia Artificial. Por ejemplo, el grupo "TurkuNLP Group" ya está haciendo uso de sus capacidades de cómputo, creando nuevos modelos de análisis para diversos campos en un tiempo récord, acelerando las tareas de inteligencia artificial frente a la generación anterior de supercomputadoras.

De hecho, con las máquinas anteriores se podía preentrenar un modelo lingüístico de mil millones de parámetros en medio año. Con "LUMI" solo se tardan dos semanas en procesar unos 40.000 millones de tokens, un tiempo realmente impresionante para esta máquina, y una gran ayuda para que Europa pueda seguir haciendo progresos en el campo de la IA frente a competidores como China o Estados Unidos.

La capacidad de cálculo de "LUMI" se verá complementada con la de otros supercomputadores distribuidos por toda Europa, y que forman parte de la "Empresa Común EuroHPC":

- Discoverer (Bulgaria).
- MeluXina (Luxemburgo).
- Vega (Eslovenia).
- Karolina (República Checa).
- Leonardo (Italia).

- Deucalion (Portugal).
- MareNostrum 5 (España).

Estos equipos de EuroHPC desplegarán unas capacidades de modelización sin precedentes, incluyendo el uso de inteligencia artificial (IA), que serán un componente clave en la "Estrategia Europea de Datos", reforzándose así las capacidades industriales y tecnológicas de Europa.

Por lo que respecta a España, participamos en "DestinE" con el supercomputador "MareNostrum 5", que gestiona el Centro Nacional de Supercomputación (CNS) situado en Barcelona (Barcelona Supercomputing Center -BSC-). Este Centro está al servicio de la comunidad científica internacional y de la industria que requieran servicios de cálculo de alto rendimiento, y desde su creación en el año 2005 ha fomentado la HPC en España y Europa, gestionando la "Red Española de Supercomputación" (RES) y promoviendo la iniciativa "Partnership for Advanced Computing in Europe" (PRACE). Actualmente es entidad anfitriona de "EuroHPC JU", que, como se ha señalado, es la iniciativa europea que lidera las inversiones a gran escala y la provisión de HPC en Europa, participando activamente en los principales proyectos europeos en estrecha cooperación con otros centros de supercomputación europeos (Figura 11).

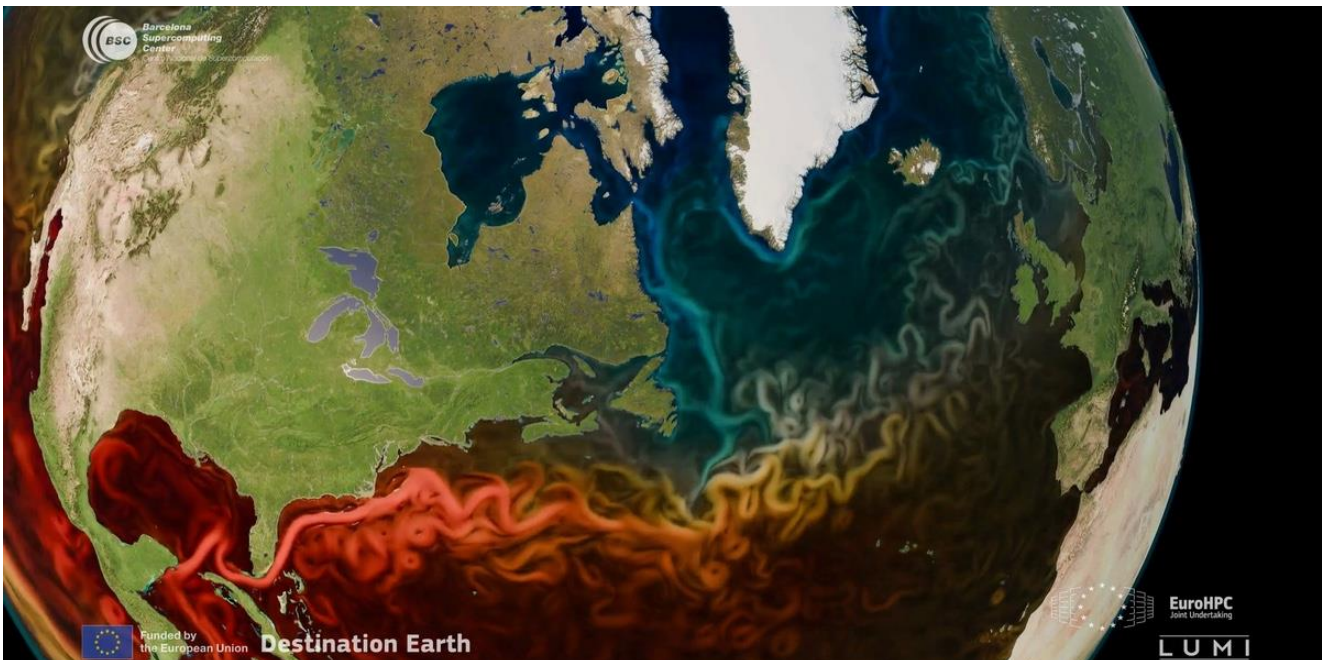


Figura 11: Imagen generada por el supercomputador español "MareNostrum 5" gestionado por el Centro Nacional de Supercomputación (Barcelona Supercomputing Center -CNS/BSC-), dentro del proyecto "Destination Earth" de la Comisión Europea. Fuente: CNS/BSC

El BSC enfoca su investigación principalmente en cinco campos: **Ciencias Computacionales, Ciencias de la Vida, Ciencias de la Tierra, Aplicaciones Computacionales en Ciencia e Ingeniería y Ciencias Sociales y Humanidades Computacionales**. Sus líneas de investigación se desarrollan en el marco de programas de financiación de la investigación de la Unión Europea, convocatorias públicas de investigación españolas y catalanas, y colaboraciones con empresas líderes.

Las simulaciones en alta resolución de escenarios futuros en esas materias se harán realidad gracias a la potencia de cálculo de superordenadores como "MareNostrum 5" o "LUMI", que alcanzan una capacidad de procesamiento 500 veces mayor que los mejores equipos y modelos climáticos actuales, pasando de resoluciones del orden de cientos de kilómetros a resoluciones de entre 5 y 10 kilómetros.

Para dar una idea de lo que representa semejante esfuerzo, simular 50 años de uno de los escenarios de cambio climático de "DestinE", con una resolución espacial de entre 5 y 10 kilómetros, requiere 83 días de ejecución continua en una plataforma pre-exaescala, produciendo casi 2.000 TB de datos. Este tipo de simulación realizada con la anterior generación de modelos climáticos y equipos habría tardado años en completarse.

Cabe destacar también que el BSC es uno de los centros que más ha contribuido al desarrollo del gemelo digital del clima, pues proporciona información y servicios para apoyar las políticas de adaptación climática y cubrir las necesidades de los sectores especialmente vulnerables al cambio climático.

Con el objetivo de ampliar las capacidades de cálculo del proyecto "DestinE", y de conseguir para Europa uno de los supercomputadores de exaescala más potentes del mundo, La "Empresa Común Europea de Computación de Alto Rendimiento" (EuroHPC JU) ha firmado un contrato con el consorcio franco-germano compuesto por "Eviden", perteneciente al "Grupo Atos", y "ParTec", empresa de supercomputación modular alemana, para un proyecto con un coste total de 500 millones de euros consistente en la fabricación de un gran supercomputador de exaescala que se llamará "JUPITER", y que será operado por el Centro de Supercomputación Jülich (Alemania).

El superordenador "JUPITER" será un sistema de computación a exaescala capaz de operar como mínimo a 1 exaflop, o dicho de otra manera, capaz de realizar más de 10^{18} operaciones de coma flotante por segundo. Utilizando GPU's y CPU's de próxima generación de "NVIDIA" y "SiPearl", el consorcio fabricará el primer sistema europeo capaz de sobrepasar el umbral de un trillón de cálculos por segundo, un objetivo clave para asegurar la excelencia científica e independencia industrial europea. Además de alcanzar un nivel extraordinario de potencia de cálculo, su diseño permitirá reducir al mismo tiempo el consumo de energía, asegurando nuevos avances en ámbitos críticos y fomentando la innovación para toda la comunidad científica europea.

"JUPITER" estará diseñado para abordar las simulaciones más exigentes y las aplicaciones de IA con mayor complejidad computacional de la ciencia y de la industria. Las aplicaciones incluirán el entrenamiento de base para grandes modelos de IA generativa, simulaciones para desarrollar materiales avanzados, creación de gemelos digitales de cerebros y corazones humanos con fines médicos, validación de ordenadores cuánticos, y simulaciones de alta resolución de climas que abarquen todo el sistema global de nuestro planeta.

Basado en la arquitectura de refrigeración líquida BullSequana XH3000 de "Eviden", "JUPITER" poseerá tres veces más capacidad de computación que el actual supercomputador más potente de Europa, algo equivalente a 10 millones de ordenadores de sobremesa. Las instalaciones del sistema global requerirán el espacio aproximado de 4 pistas de tenis y usará más de 260 kilómetros de cableado de alta capacidad.

"JUPITER" contará con dos particiones, un *Booster Module* acelerado de GPU altamente escalable y un *Cluster Module* de uso general con procesadores banda ancha de alta memoria. El *Booster Module* utilizará tecnología del centro de datos "NVIDIA" de próxima generación, y el *Cluster Module* estará basado en "SiPearl Rhea1", el primer procesador europeo "HPC-dedicated" del mercado.

ENTIDADES EJECUTORAS 'DESTINE' -> ESA - EUMETSAT - ECMWF

"No somos más que una avanzada raza de monos sobre un planeta menor de una estrella bastante mediocre. Pero podemos entender el Universo, y eso nos hace muy especiales"
Stephen W. Hawking (1942-2018), físico teórico, cosmólogo, astrofísico y divulgador científico inglés

La **Agencia Espacial Europea** (ESA) es un Organismo internacional europeo constituido en el año 1975 y del que forman parte 22 Estados Miembros: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumania, Suecia y Suiza. Cuenta también con los siguientes Estados Miembros asociados: Eslovaquia, Eslovenia, Letonia y Lituania. Canadá, que cuenta con un estatus especial de Estado cooperante, participa en algunos proyectos conforme a un acuerdo de cooperación especial. Bulgaria, Croacia, Chipre y Malta que también tienen acuerdos de colaboración con la "ESA".

La coordinación de los recursos económicos y humanos de sus miembros permite llevar a cabo programas y actividades de mayor alcance que los que podría realizar cualquier país europeo individualmente, siendo su principal misión configurar el desarrollo de la capacidad espacial europea, y garantizar que la inversión en actividades espaciales siga dando beneficios a los ciudadanos de Europa, ejerciendo de puerta de acceso del continente europeo al espacio.

La "ESA" tiene su sede en París y desde allí se toman las decisiones sobre futuros programas y políticas. No obstante, la "ESA" también dispone de centros en el resto de Europa, cada uno con sus respectivas competencias:

- **EAC**, el Centro Europeo de Astronautas, en Colonia (Alemania).
- **ESAC**, el Centro Europeo de Astronomía Espacial, localizado en Villanueva de la Cañada, Madrid (España).
- **ESOC**, el Centro Europeo de Operaciones Espaciales, en Darmstadt (Alemania).
- **ESRIN**, el Centro de la ESA para la Observación de la Tierra, en Frascati, cerca de Roma (Italia).
- **ESTEC**, el Centro Europeo de Investigación y Tecnología Espacial, en Noordwijk (Holanda).
- **ECSAT**, el Centro Europeo de Aplicaciones Espaciales y Telecomunicaciones, en Harwell, Oxfordshire (Reino Unido).
- **ESEC**, el Centro Europeo de Seguridad Espacial y Educación, en Redu (Bélgica).

Además, la "ESA" dispone de oficinas de coordinación en Bélgica, Estados Unidos y Rusia, una base de lanzamientos en la Guayana francesa y estaciones de seguimiento en diversas partes del mundo.

Cuenta con unos 2.200 trabajadores y tiene un presupuesto de más de siete millones de euros (año 2023). La "ESA" funciona según el principio denominado "de retorno geográfico", es decir, invierte en cada Estado Miembro, a través de contratos industriales para programas espaciales, una cantidad más o menos equivalente a la contribución de cada país.

Otras Instituciones asociadas como "EUMETSAT" (Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos), y sobre todo la "EUSPA" (Agencia de la Unión Europea para el Programa Espacial), aportan hasta una cuarta parte del presupuesto financiero de la "ESA".

Interesada en la cooperación para programas espaciales y misiones científicas, la "ESA" logró un acuerdo de cooperación y trabajo conjunto con la Agencia Espacial Federal Rusa (Roscosmos), pasando a ser Rusia el primer socio de la "ESA" en sus esfuerzos para garantizar a largo plazo el acceso al espacio, centrándose en la cooperación y asociación en la exploración y utilización del espacio exterior con fines pacíficos.

En el contexto de esos acuerdos se construyó un complejo de lanzamiento para el cohete Ruso Soyuz-ST (Soyuz 2.1a y Soyuz 2.1b) —un lanzador diseñado hace 40 años que bate récords de seguridad y que puede ser usado para lanzar seres humanos al espacio— en el Puerto Espacial de Kourou, situado en la Guayana Francesa. Este Puerto espacial para el Soyuz-ST en Kourou es similar a los ya existentes en Baikonur y Plesetsk, y es el mismo lugar desde el que se efectúan los lanzamientos de los vehículos Ariane 5 de la Agencia Europea. Este proyecto ha supuesto un paso de gigante para la industria aeroespacial rusa, sobre todo para la empresa "TsSKB Progress", fabricante de los cohetes y vehículos Soyuz.

Las principales agencias espaciales con las que "ESA" tiene proyectos conjuntos y acuerdos de colaboración son la norteamericana "NASA", la japonesa "JAXA", la canadiense "CSA" y la europea "EUSPA", aparte de la mencionada agencia rusa "Roscosmos". También se han iniciado contactos con la Administración Espacial Nacional de China (CNSA) para alcanzar acuerdos similares a los referidos para las otras agencias espaciales mencionadas y adoptar el rol de socio prioritario.

La Agencia Espacial Europea (**ESA**) es uno de los tres Organismos fundamentales para el desarrollo del proyecto "Destination Earth", siendo la responsable de "DestinE Open Core Service Platform" (Figura 12), una plataforma de fácil uso que se basará en los datos de observación espacial más completos y sofisticados, incluidos los datos de los Exploradores de la Tierra de la "ESA", la serie "Sentinel" de "Copernicus", los datos del "Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio" (**ECMWF**), que es otro de los Organismos principales del Proyecto, y con el tiempo otros importantes fondos de datos de Europa. La tercera institución ejecutora es la "Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos" (**EUMETSAT**), sobre cuyo papel en "DestinE" se tratará más adelante.

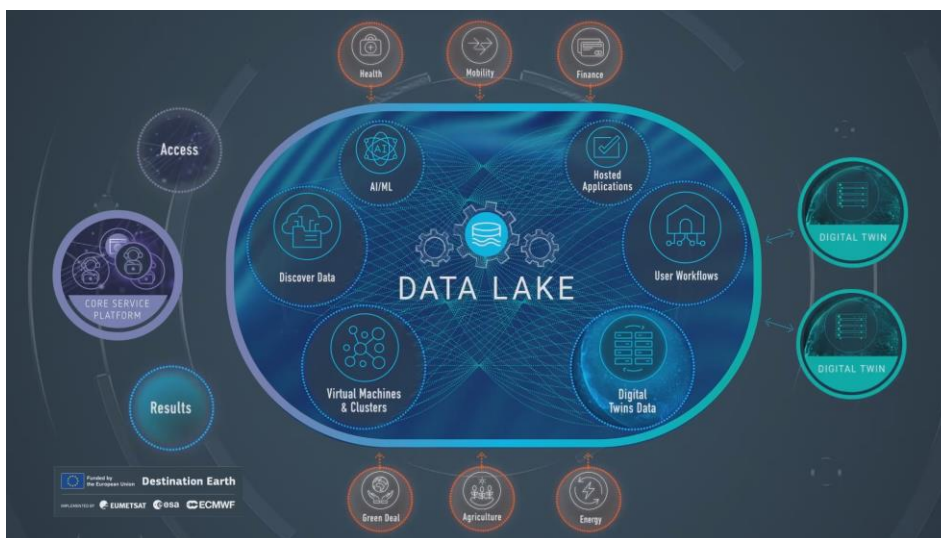


Figura 12: Recorrido del usuario para acceder a los datos y servicios de "Destino Tierra" (Destination Earth). Fuente: EUMETSAT

Como hemos visto, la plataforma de servicios es la puerta de entrada a "DestinE" basada en la nube, que proporciona acceso a la totalidad de recursos y aplicaciones disponibles en cada momento, incluyendo herramientas de IA (inteligencia artificial) relevantes, proporcionando, además, soporte para la integración de servicios y recursos externos, haciendo que el ecosistema sea flexible, escalable y fácilmente adaptable a las necesidades de la comunidad de usuarios y partes interesadas en general (Figura 13).



Figura 13: Plataforma de entrada "DestinE Open Core Service Platform" del proyecto "Destination Earth" de la Unión Europea: <https://platform.destine.eu>

Algunos de los objetivos primordiales de "DestinE", como vigilar los efectos de la actividad natural y humana en nuestro planeta, anticiparse a los fenómenos extremos y adaptar las políticas a los retos relacionados con el clima, valorando posibles estrategias de adaptación y mitigación, se realizarán a través de la "Plataforma", responsabilidad de la Agencia Espacial Europea.

La **Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos** (EUMETSAT) que forma parte junto con la "ESA" y "ECMWF" de las tres entidades fundamentales en el proyecto "DestinE", es la agencia europea de satélites operativos para la vigilancia meteorológica, climática y medioambiental desde el espacio.

Se constituyó en el año 1986 y está integrada y financiada por treinta Estados Miembros, algunos de los cuales no pertenecen a la Unión Europea: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Croacia, República Checa, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Islandia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, Rumania, Suecia, Suiza y Turquía. "EUMETSAT" tiene su sede en Darmstadt (Alemania) y su representante en España es la "Agencia Estatal de Meteorología" (**AEMet**), adscrita actualmente a la Secretaría de Estado de Medio Ambiente del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (Vicepresidencia tercera del Gobierno). "EUMETSAT" ha establecido una cooperación con operadores de satélites de observación de la Tierra de Europa, China, India, Japón, Corea del Sur y Estados Unidos. La cooperación con Rusia se suspendió en marzo de 2022.

Opera los satélites geoestacionarios "Meteosat -10" y "Meteosat-11" sobre Europa y África, y el "Meteosat-9" sobre el Océano Índico. También opera dos satélites de órbita polar "Metop" como parte del *Sistema Polar Conjunto Inicial* (IJPS) compartido con la "Oficina Nacional de Administra-

ción Oceánica y Atmosférica" (NOAA) de Estados Unidos. Además, "EUMETSAT" participa en las misiones cooperativas de vigilancia del nivel del mar "Jason" (Jason-3 y Jason-CS/Sentinel-6) en las que participan Europa y Estados Unidos (Figura 14).

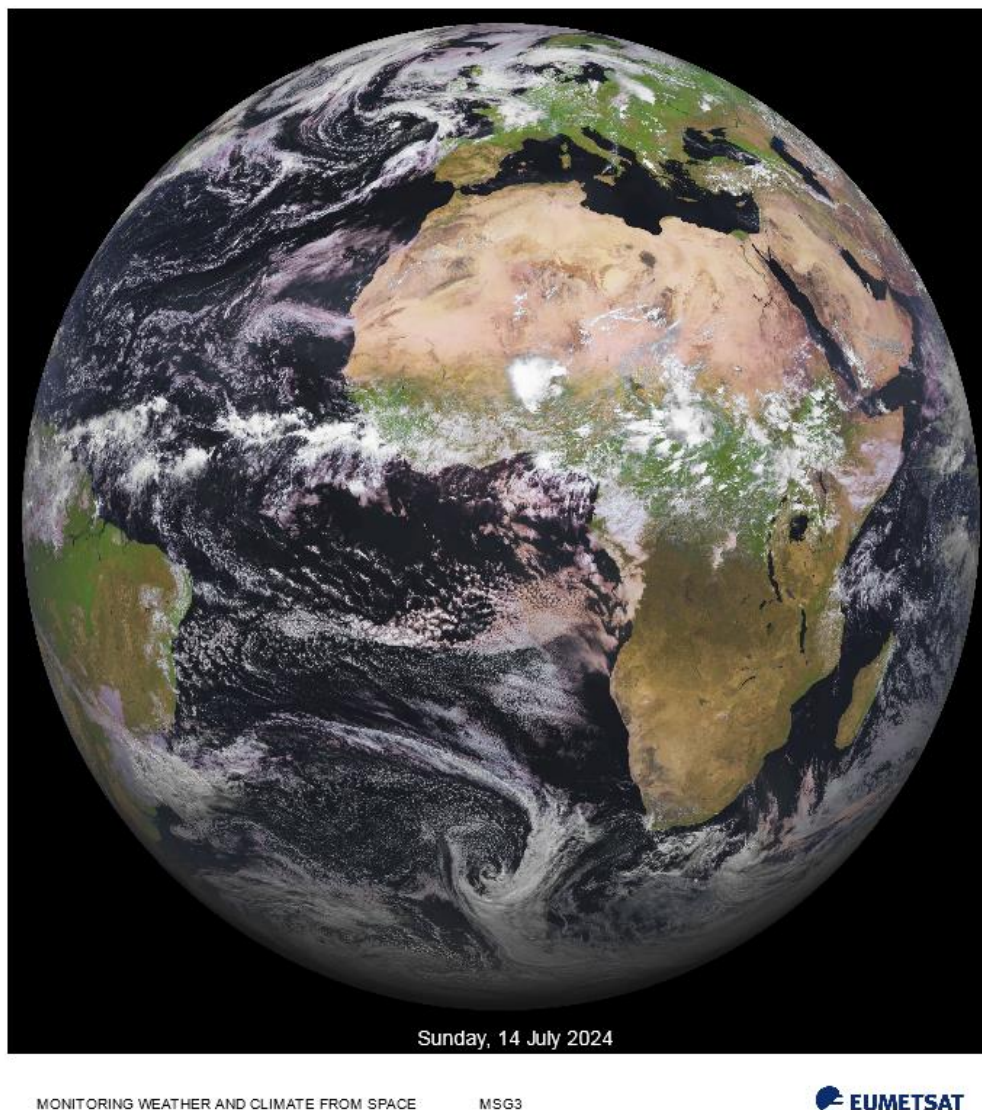


Figura 14: Imagen de África, Europa, Oriente próximo, Madagascar, Brasil y Venezuela, tomada el domingo 14 de julio de 2024 por el satélite meteorológico "Meteosat 10" (MSG3). Fuente: EUMETSAT

Todo el sistema de satélites que gestiona "EUMETSAT" observa y vigila la atmósfera y las superficies oceánicas y terrestres de forma permanente, 24 horas al día durante los 365 días del año. Como parte de la red de *"Infraestructuras Meteorológicas Europeas"* (EMI), "EUMETSAT" -en colaboración con el "ECMWF" y "EUMETNET" (Organización compuesta por 33 Servicios Meteorológicos e Hidrológicos nacionales europeos)- responde a las necesidades cambiantes de los servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales de sus Estados miembros.

"EUMETSAT" apoya políticas de la Unión Europea como su *"Pacto Verde"*, que es la estrategia de la Unión Europea para alcanzar su objetivo de neutralidad climática en el año 2050, y la estrategia digital, cuyo objetivo es garantizar que la transformación digital funcione para las personas y las empresas. También presta su apoyo en materias de cooperación, investigación y vigilancia del medio ambiente.

La Unión Europea ha confiado a "EUMETSAT" funciones clave en el componente "**Copernicus**" de su Programa Espacial, y en la iniciativa "**Destination Earth**", de la que es entidad fundamental y gestora responsable del "Lago de Datos".

Su papel como proveedor integral de "Servicios de Lago de Datos" en el proyecto "DestinE", se basa en la amplia y exclusiva experiencia organizativa en el desarrollo y la gestión de servicios de datos multicanal, que proporcionan acceso a datos e información meteorológicos y climáticos. El objetivo es facilitar a los usuarios el acceso a los datos, permitiendo su procesamiento distribuido en línea en lugar de tener que descargarlos recurrentemente. En este sentido, "EUMETSAT" cuenta con la responsabilidad integral del diseño, la implementación, las pruebas, y las operaciones del "Lago de Datos" y del almacén de datos "DestinE Multi-cloud" (Figura 15).

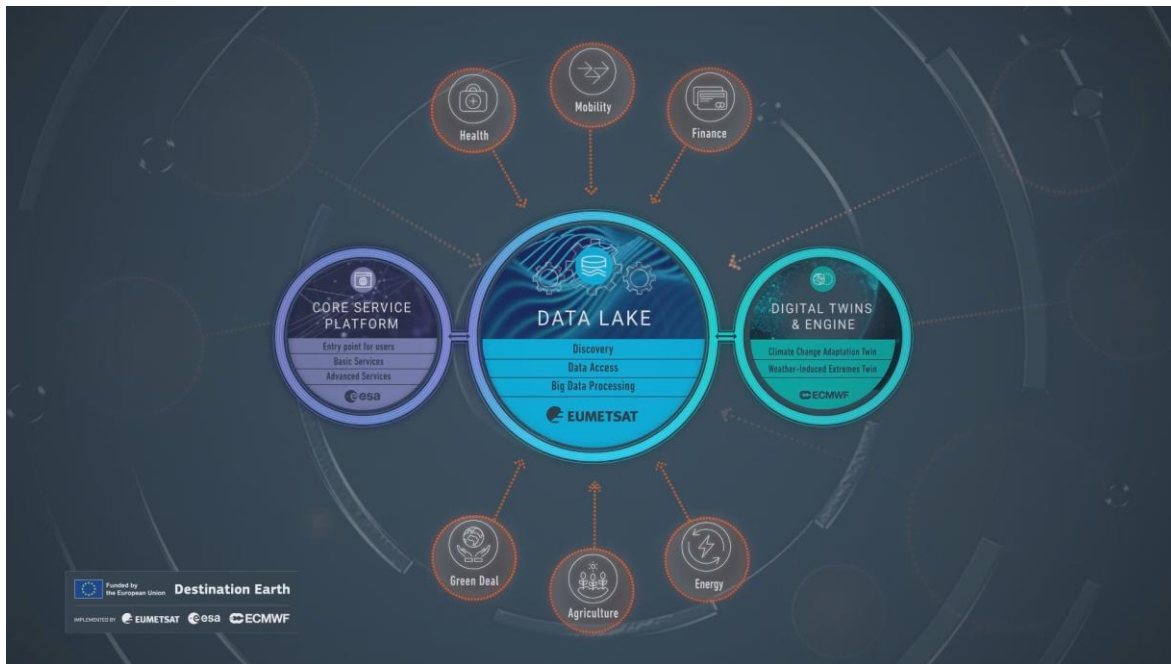


Figura 15: El Lago de Datos y sus conexiones con los Gemelos Digitales (ECMWF), la Plataforma de Servicios Centrales (ESA), y muchos conjuntos de datos adicionales (EUMETSAT). Fuente: EUMETSAT

El "Lago de Datos" incorporará, como servicio central, una gran diversidad de espacios de datos preexistentes distintos, como los generados por los sistemas de satélites de observación de la Tierra de "EUMETSAT", por las misiones europeas "*Copernicus - Sentinel*", por las misiones de la "Agencia Espacial Europea" (ESA), por el "Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio" (ECMWF) y por otras fuentes, como "*Internet de las Cosas*" (IoT) y datos socioeconómicos. También integrará los nuevos datos que se vayan originando a partir de los Gemelos Digitales, creando un espacio de datos "DestinE" coherente y autónomo. Además, alojará los datos de los usuarios, compartidos con la comunidad de usuarios de "DestinE" y, al mismo tiempo, admitirá el procesamiento de datos cercanos para maximizar el rendimiento y la escalabilidad del servicio.

Estos datos alimentarán a los motores de gemelos digitales emergentes y a los algoritmos de inteligencia artificial (IA) utilizados en el "Core Service Platform", quedando almacenados y accesibles para la toma de decisiones por parte de los usuarios y resto de partes interesadas desde la "Plataforma de Servicios", y de forma directa en fases posteriores.

El "Lago de Datos" soporta el procesamiento de datos cercanos (Edge Computing) para maximizar el rendimiento y la escalabilidad del servicio, e implementa flujos de trabajo distribuidos de "Big Data" para trabajar eficientemente con los datos de "DestinE" (Figura 16).

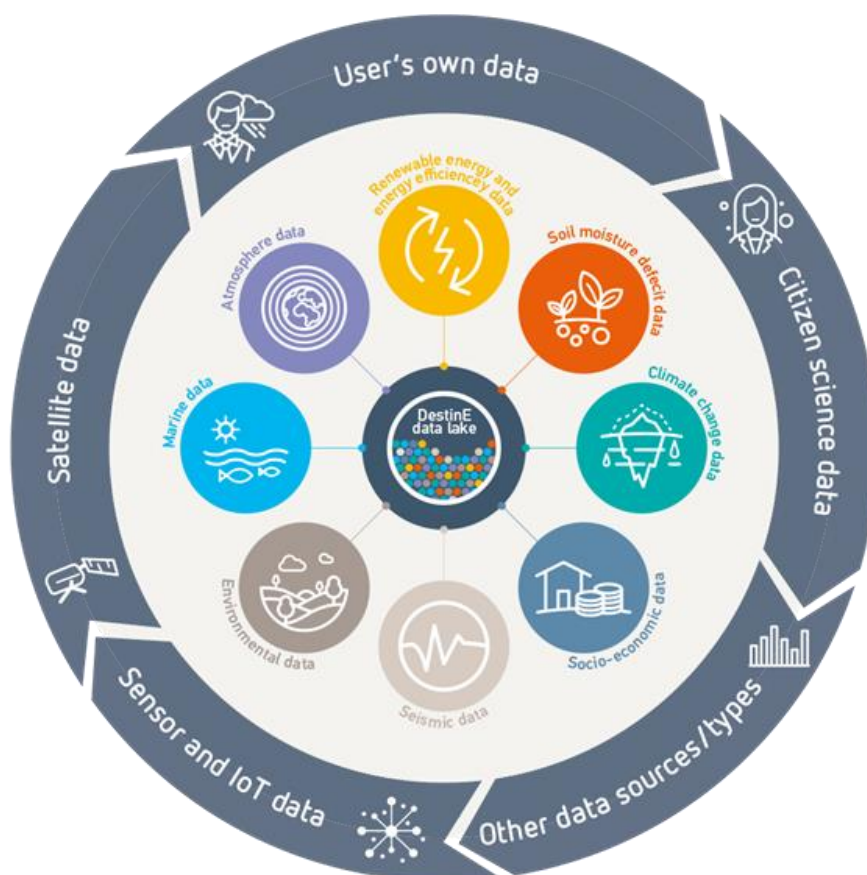


Figura 16: El Lago de Datos de "EUMETSAT" facilita los datos a los usuarios permitiendo el procesamiento distribuido en línea, evitando la descarga de los datos. Incorporará una gran diversidad de espacios de datos diferentes, incluyendo los de sistemas de satélites de observación de la Tierra ("EUMETSAT"), así como los del programa "Copernicus", de las misiones de la "ESA" y del "ECMWF". Fuente: Federación Internacional de Astronáutica -IAF-

Aunque el Programa "**Copernicus**" no pertenece al Organismo "EUMETSAT", dadas sus fuertes vinculaciones con el mismo y con la "Agencia Espacial Europea" (ESA), es necesario dedicar unas líneas a explicar su papel y su funcionamiento en relación con el proyecto "Destination Earth".

Hasta diciembre de 2012 este programa se denominó "*Global Monitoring for Environment and Security*". Es el componente de observación de la Tierra del "*Programa Espacial de la Unión Europea*", un proyecto coordinado y gestionado por la "*Comisión Europea*" que pretende lograr una completa, continua y autónoma capacidad de observación terrestre de alta calidad, cuyos resultados sean accesibles libremente por la comunidad científica o cualquier persona interesada. Los costes del programa están asumidos en un 66% por la Unión Europea y en un 33% por la "*Agencia Espacial Europea*" (ESA).

"ESA", como patrocinador principal, ha llevado a cabo la mayor parte del diseño de las misiones "**Sentinel**" (de la 1 a la 6), que requieren dos satélites al menos cada una, supervisando y cofinanciando su desarrollo. El programa cuenta con diferentes instrumentos alojados en "**MTG**" (**M**eteorosat de **T**ercera **G**eneración) y "**MetOp-SG**" (**M**eteorological **O**perational Satellite - **S**econd **G**eneration), que forman parte de "EUMETSAT". Ambos son Organismos fundamentales en el proyecto "Destination Earth", y se coordinan recogiendo información de unos 30 satélites para contribuir al programa "Copernicus".

"Copernicus" proporciona datos, información y servicios procedentes de satélites de observación de la Tierra y de sistemas de medición terrestres, aéreos y marítimos. Los datos procedentes de estas fuentes se ponen a disposición de los usuarios a través de un conjunto de seis "Servicios Copernicus": **terrestre, marino, atmosférico, cambio climático, gestión de emergencias y seguridad**.

"EUMETSAT" explota las cuatro misiones "**Sentinel**" del componente espacial "Copernicus" de la Unión Europea, dedicadas a la vigilancia de la atmósfera, los océanos y el clima. "EUMETSAT" lleva a cabo estas tareas en cooperación con la "ESA" y ya gestiona las misiones marinas "*Sentinel-3*" y "*Sentinel-6*", proporcionando datos satelitales, productos y servicios de apoyo a los servicios de información de "Copernicus" y a las comunidades de usuarios. A estos datos se suman los de otras misiones colaboradoras, como la misión "*Jason-3*" (NASA-NOAA-CNES-EUMETSAT), las misiones propias "*Metop*" y "*Meteosat*" de "EUMETSAT", y también datos de socios internacionales, como por ejemplo EE.UU., China, India y Japón, entre los que cabe destacar el satélite estadounidense "*Suomi-NPP*", con datos de la temperatura de la superficie del mar y del color de los océanos.

En los próximos años, "EUMETSAT" también operará y entregará productos de los instrumentos "*Sentinel-4*" (en desarrollo) y "*Sentinel-5*" a bordo de los satélites "*Meteosat de Tercera Generación*" y "*Metop de Segunda Generación*", respectivamente, así como de varias misiones "Copernicus" en desarrollo. Después del año 2026, gestionará, procesará y difundirá los datos de la futura misión "Copernicus" de vigilancia atmosférica correspondientes al dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) de origen antropogénico (CO₂MVS), y generará productos atmosféricos y oceánicos globales a partir de las futuras misiones de vigilancia polar "*Radiómetro de Imágenes por Microondas (CIMR)*" y "*Altímetro Polar de Hielo y Topografía de Nieve (CRISTAL)*". Más adelante, las nuevas generaciones de satélites "**Sentinel**": "*Sentinel-3 Next Generation TOPO*" (topografía por altimetría), "*Sentinel-3 Next Generation OPT*" (imágenes ópticas de la Tierra) y la misión "*Sentinel-6 Next Generation*" igualmente se operarán desde el Centro de Control de "EUMETSAT".

Para ayudar a garantizar un acceso rápido y fácil a esta riqueza de datos, "EUMETSAT" ha desarrollado, y gestiona conjuntamente con el "Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio" (ECMWF), con "*Mercator Ocean International*" y con la "Agencia Europea de Medio Ambiente" (AEMA, o EEA por sus siglas en inglés) "**WEKEO**", que es la plataforma global de servicios de acceso a datos e información de la Unión Europea para datos medioambientales, entornos virtuales de procesamiento y asistencia a usuarios cualificados "DIAS" (Data Information and Access Service).

El tercer pilar fundamental en la ejecución del proyecto "DestinE" es el **Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio** (CEPPM o ECMWF por sus siglas en inglés), Organización intergubernamental independiente fundada en el año 1975, que cuenta con el apoyo de 35 Estados y con una plantilla de unos 450 trabajadores de múltiples países. Tiene su sede en Reading (Reino Unido) y otras sedes en Bolonia (Italia) y Bonn (Alemania). Este Organismo recibe fondos de varios programas de financiación de la Unión Europea, como "Horizonte Europa", el "Mecanismo de Protección Civil de la Unión", el "Mecanismo Conectar Europa" y "EuroHPC".

El "ECMWF" es a la vez un instituto de investigación y un servicio operativo permanente (24 horas al día y 7 días a la semana), que elabora y difunde predicciones meteorológicas numéricas a sus Estados miembros a través de sus Servicios Meteorológicos. El Centro también ofrece un catálogo de datos de predicción, así como una creciente gama de datos y gráficos abiertos, que pueden adquirir empresas de todo el mundo y otros clientes comerciales. El Centro de Proceso de Datos del "ECMWF" es uno de las mayores de su tipo en Europa, y los Estados miembros pueden utilizar el 25% de su capacidad para sus propios fines.

Entre sus misiones más importantes están:

- ✓ Elaborar previsiones meteorológicas numéricas y vigilar el sistema terrestre.
- ✓ Realizar investigaciones científicas y técnicas para mejorar la capacidad de previsión.
- ✓ Mantener un archivo de datos meteorológicos.

También se imparte formación avanzada al personal científico de los Estados miembros y Estados cooperantes, y ayudan a la "*Organización Meteorológica Mundial*" (OMM) en sus programas.

El "ECMWF" Opera dos servicios del Programa de Observación de la Tierra "Copernicus" de la Unión Europea -el *Servicio Copernicus de Vigilancia de la Atmósfera* (CAMS) y el *Servicio Copernicus de Cambio Climático* (C3S)- y contribuye al *Servicio Copernicus de Gestión de Emergencias* (CEMS). También colabora estrechamente con el *Servicio de Gestión del Medio Marino* (CMEMS).

Para llevar a cabo estas actividades, proporcionan:

- ✓ Previsiones meteorológicas numéricas globales cuatro veces al día.
- ✓ Análisis de la calidad del aire.
- ✓ Vigilancia de la composición atmosférica.
- ✓ Vigilancia del clima.
- ✓ Análisis de la circulación oceánica.
- ✓ Predicciones hidrológicas.
- ✓ Predicciones de riesgo de incendios.

El "ECMWF" colabora estrechamente con sus Estados miembros y cooperantes para desarrollar sus capacidades de modelización, diseñar nuevos productos y evaluar y diagnosticar la calidad de los pronósticos, apoyando a los investigadores en el uso más amplio de las previsiones y recursos que genera el Centro y fortaleciendo la colaboración con la comunidad académica.

Junto con "EUMETNET" y "EUMETSAT" forma parte de la "*Infraestructura Meteorológica Europea*", que combina recursos y capacidades para apoyar a los Servicios Meteorológicos Nacionales en sus tareas oficiales. Con "EUMETNET", se hace especial hincapié en el sistema de observación "*EUCOS*", supervisando y llevando a cabo experimentos de sistemas de observación globales, buscando sinergias entre el trabajo realizado por "ECMWF" sobre el reanálisis global y el trabajo en "EUMETNET" sobre el reanálisis regional.

Respecto a la "*Organización Meteorológica Mundial*" (OMM), uno de los objetivos fundacionales del "ECMWF" que ocupa, además, un lugar importante en la actual Estrategia decenal del Centro hasta el año 2025, es ayudar y colaborar con los miembros de la "OMM", con un compromiso explícito en materia de formación y el desarrollo de sus capacidades, suministrando de forma gratuita datos esenciales, un programa de becas y proyectos para mejorar la predicción de fenómenos meteorológicos extremos en los países en desarrollo. El programa de becas comenzó en julio de 2014 con el objetivo de fomentar y formalizar vínculos con personas que están llevando a cabo investigación científica y técnica pionera en áreas relevantes para los objetivos estratégicos del Centro.

El "ECMWF" mantiene un acuerdo oficial de cooperación con la "OMM" desde el año 1975, y acuerdos formales de cooperación con "ESA", "INPE", "NOAA", Centro Común de Investigación (CCI) de la Comisión Europea, y con la "Administración Meteorológica China" (CMA). También coopera a nivel científico y técnico con Organismos norteamericanos ("NASA", "NOAA" y Departamento de Defensa) y japoneses ("JMA" y "JAXA"), y coordina el proyecto "CoCO2", que construye un prototipo de sistema para un servicio de CO₂ de "Copernicus", así como "CONFESS" y "MAELSTROM". Así mismo, coordina el proyecto "NextGEMS" con el "Instituto Max Planck de Meteorología" (MPI-M).

El Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio colabora estrechamente con científicos europeos que estudian el cambio climático, centrándose especialmente en el reanálisis climático, que combina información de observaciones meteorológicas pasadas con modelos modernos de previsión, utilizando técnicas de asimilación de datos desarrolladas originalmente para la predicción numérica del tiempo. Los modelos del sistema terrestre son actualmente la única forma de proporcionar a la sociedad información sobre el clima futuro que permita comprender las bases de los futuros escenarios de cambio climático.

Como ejemplo de dicha colaboración, "ECMWF" trabaja conjuntamente con el consorcio "**EC-Earth**" para desarrollar un nuevo modelo del sistema Tierra. El objetivo es construir un modelo totalmente acoplado (Atmósfera, Océano, Tierra y Biosfera) para predecir el clima a lo largo de estaciones y décadas, y para realizar proyecciones climáticas. El modelo propuesto se basa en el *Sistema Integrado de Predicción* del "ECMWF", aplicando el concepto emergente de "predicción sin fisuras".

Unas previsiones meteorológicas fiables son fundamentales para la seguridad y la economía. Para ayudar a salvar vidas y reducir los daños materiales y de infraestructuras provocados por tormentas, fuertes precipitaciones, olas de calor y ciclones tropicales -así como por otros peligros en los que influye el tiempo, como inundaciones o dispersión de la contaminación atmosférica o marina-, los ciudadanos y los responsables europeos necesitan que sus Servicios Meteorológicos Nacionales les alerten a tiempo, basándose en previsiones meteorológicas fiables (Figura 17).



Figura 17: Caso de uso del riesgo de inundación para "Destination Earth", destacando las conexiones con los Gemelos Digitales y los conjuntos de datos adicionales a través del Lago de Datos. Fuente: (EUMETSAT)

Las predicciones meteorológicas precisas parten del mejor conocimiento posible del estado inicial de la atmósfera terrestre, que se modela utilizando observaciones frecuentes y globales de la atmósfera, los océanos y las superficies subyacentes. A finales de 2020, según estudios de la "MetOffice", las previsiones mundiales a 24 horas eran un 78% más precisas gracias a los datos de los satélites (el 25% de este aumento corresponde a los datos de los satélites "Metop"). La observación de la Tierra desde el espacio se ha convertido en indispensable para predecir el tiempo en todos los rangos, contribuyendo a la producción posterior de alertas y otras informaciones que apoyan nuestro continuo bienestar social y económico.

Las previsiones a corto plazo (desde unas horas a unos pocos días) se basan en modelos de área limitada de muy alta resolución elaborados por los Servicios Meteorológicos Nacionales, que a menudo utilizan datos de condiciones límite del "ECMWF". A través del proyecto "SRNWP" (Short Range Numerical Weather Prediction), el "Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio" apoya el desarrollo de modelos numéricos de predicción meteorológica de corto alcance, auspiciados por tres grandes consorcios europeos (ALADIN, HIRLAM y COSMO) y por la Oficina Meteorológica del Reino Unido (como parte del Modelo Unificado).

El "ECMWF", basándose en casi cinco décadas de avances en predicción numérica del tiempo, observaciones del sistema terrestre y computación de alto rendimiento, es responsable, en el seno del proyecto europeo "Destination Earth", del desarrollo de los dos primeros Gemelos Digitales de alta prioridad (réplicas digitales de los sistemas terrestres altamente complejos), sobre "Extremos Meteorológicos" y "Adaptación al Cambio Climático", así como del Motor de Gemelos Digitales (Figura 18).

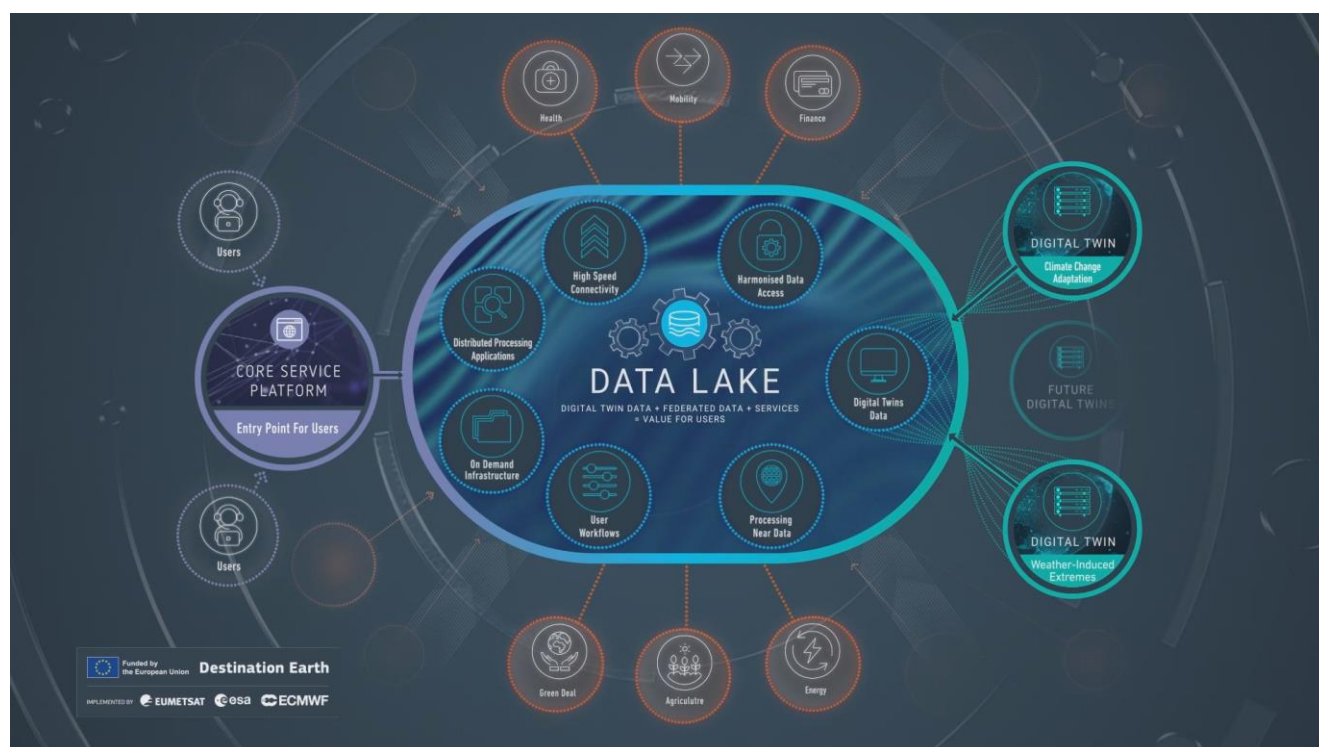


Figura 18: Acceso a los datos de "Destination Earth" y a otros servicios de procesamiento de datos basados en la nube disponibles en el Lago de Datos, incluyendo los de los Gemelos Digitales. Fuente: (EUMETSAT)

Estos gemelos digitales se basan en una fusión perfecta de observaciones en tiempo real y modelado predictivo de alta resolución en las áreas temáticas, a partir de los eventos extremos y la adaptación al cambio climático. El objetivo a largo plazo es integrar gemelos digitales adicionales, como de los océanos o la biodiversidad, dando lugar al final del proceso a un gemelo digital inte-

gral del sistema terrestre. Los gemelos digitales de "DestinE" proporcionarán a los usuarios acceso personalizado a conocimientos de alta calidad para el desarrollo de escenarios específicos que puedan respaldar la toma de decisiones basada en evidencias.

Ya se han implementado los dos primeros gemelos digitales (DT) de alta prioridad, que son el Gemelo Digital de Extremos Meteorológicos y el Gemelo Digital de Adaptación al Cambio Climático, y se continúa desarrollando el Motor de Gemelos Digitales, que es la infraestructura de software que permite y posibilita su implementación y eventual funcionamiento. Los datos generados por los gemelos digitales de "DestinE" se incluyen en el Lago de Datos y son accesibles a través de la Plataforma de Servicios (DESP), los otros dos componentes de Destination Earth que hemos visto con anterioridad.

Los dos primeros gemelos digitales (DT de Adaptación al Clima) y (DT de Extremos), ya operativos, proporcionan simulaciones de alta calidad que integran la información del sistema terrestre y los sectores más afectados por el cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos, explorando nuevas formas de interactividad. El componente continuo del "DT Extremos" proporciona capacidades configurables de simulación a escala global de kilómetros para evaluar y predecir fenómenos medioambientales extremos en un plazo de pocos días, facilitando un marco europeo interactivo de vigilancia y predicción a escala sub-km de extremos meteorológicos, hidrológicos y de calidad del aire. El "DT de Adaptación Climática" genera simulaciones a escala de kilómetros de escenarios climáticos desde el nivel global al regional y nacional a una escala temporal multidecenal, incluyendo la cuantificación de la incertidumbre. El motor de gemelos digitales, que alimenta los DT, incluye el aprendizaje automático adaptado para explotar las capacidades de los supercomputadores EuroHPC.

Con la aplicación de estos dos primeros DT (Gemelo Digital sobre Extremos Meteorológicos y Geofísicos, y Gemelo Digital sobre Adaptación al Cambio Climático), los responsables de la toma de decisiones podrán anticipar con mayor precisión la aparición y el impacto de fenómenos naturales extremos, como inundaciones e incendios forestales, y apoyar las políticas de adaptación y mitigación climáticas a escalas temporales decenales, a escala regional y nacional en base a la generación de conocimientos analíticos y la comprobación de escenarios predictivos.

En los próximos años se desarrollarán más gemelos digitales para desarrollar una réplica digital "completa" del sistema terrestre en el año 2030. Los nuevos desarrollos incluirán seguramente gemelos digitales de los océanos, la biodiversidad y los entornos urbanos.

La rápida evolución de la ciencia meteorológica y climática, los sistemas de computación de alto rendimiento (HPC) y las simulaciones del sistema terrestre, incluido el aprendizaje automático (ML) y la inteligencia artificial (IA), permite crear simulaciones interactivas de mayor calidad en las que los usuarios tendrán acceso al flujo completo de datos. Gracias al acceso estratégico proporcionado por "*EuroHPC Joint Undertaking*" (EuroHPC JU), los gemelos digitales del "ECMWF" están desplegados en algunos de los sistemas HPC más potentes del mundo, como "LUMI", "Ma-reNostrum 5" o "Leonardo", aunque esta nueva gama de capacidades aún no se ha aplicado plenamente a las simulaciones meteorológicas y climáticas.

Los gemelos digitales del "ECMWF" proporcionarán un nuevo tipo de sistema de información que explotará mejor la capacidad de los sistemas informáticos pre-exaescala, de forma escalable e interactiva, respondiendo a las necesidades de sus usuarios a través de un enfoque de co-diseño, con especial atención a los sectores más fuertemente afectados por el cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos.

El "*DT Global Continuous Extremes*" (gemelo digital de extremos meteorológicos), está ampliando los límites de las simulaciones meteorológicas globales hasta con unos pocos días de antelación.

Basado en el modelo insignia del Sistema Integrado de Predicción (IFS) del "ECMWF", los primeros resultados experimentales a 4,4 y 2,8 km de resolución muestran mejoras significativas en la representación de fenómenos complejos como ciclones tropicales y fuertes lluvias sobre regiones montañosas. El DT regional de fenómenos extremos a la carta, desarrollado por un gran consorcio europeo dirigido por "Météo-France", proporciona un marco configurable e interactivo que puede activarse a medida que se producen fenómenos extremos sobre Europa, lo que permite acercarse y evaluar los impactos de los fenómenos extremos inducidos por el clima a resoluciones de escala sub-kilométrica con una antelación de un par de días. El componente "On-Demand" ya ha producido las primeras simulaciones experimentales a escalas sub-km, basándose en el trabajo previo del Consorcio de Servicios Meteorológicos Nacionales "ACCORD".

El "*Climate DT*" (gemelo digital para la adaptación al Cambio Climático) es el primer intento de elaborar proyecciones climáticas multidecenales de forma operativa. Lo ha puesto en marcha el "CSC-IT" (Center for Science de Finlandia), que lidera un consorcio de centros de excelencia europeos con socios de seis países. Proporciona simulaciones climáticas globales con granularidad local, incluyendo información específica de los sectores más afectados por el cambio climático, como las energías renovables, la planificación urbana o la hidrología. El objetivo es producir simulaciones actualizadas cada año o menos, en comparación con los modelos actuales, que sólo se ejecutan cada varios años. Esto permite incluir los últimos avances de la ciencia del sistema terrestre y de la infraestructura digital.

Una innovación importante del "*Climate DT*" es el concepto de flujo de datos, que reduce la necesidad de almacenamiento de volúmenes masivos de datos (varias décadas de simulaciones del sistema terrestre a escala de kilómetros). Las aplicaciones del sector de impacto podrán ejecutarse dentro del flujo de trabajo del gemelo digital, lo que les permitirá obtener la información que necesitan mientras se ejecutan las simulaciones, en lugar de tener que seleccionar los datos almacenados. El gemelo digital climático se basa en los desarrollos previos del proyecto "next-GEMS" de "Horizonte 2020" de la Unión Europea, que utiliza el modelo "ICON" y el "IFS" del "ECMWF" acoplado a los modelos oceánicos "NEMO" y "FESOM".

El "ECMWF", miembro de la asociación "*ETP4HPC*" (European Technology Platform (ETP) in the area of High-Performance Computing (HPC)) desde hace muchos años, encargó a esta plataforma la elaboración de una Agenda Tecnológica Estratégica (STA) para el proyecto "Destination Earth", plasmada en un acuerdo de subcontratación para un proyecto denominado "Strategic Technology Agenda for DestinE" (nombre en clave DE_380) que se ha desarrollado desde septiembre de 2022 hasta abril de 2024. "ETP4HPC" realizó el trabajo liderando un consorcio en el que han participado: *Alliance for IoT and Edge Computing Innovation IVZW (AIOTI)*, *Big Data Value Association (BDVA)*, *European Cyber Security Organisation (ECSO)*, *European Service Network of Mathematics for Industry and Innovation (EU-MATHS-IN)*, *High Performance Embedded Architecture and Compilation (HiPEAC)* representada por la Universidad de Gante (UGENT), y *6G Smart Networks and Services Industry Association (6G-IA)*. Cada organización asociada aportó expertos de distintos ámbitos, formando así un destacado grupo de expertos de primera clase que cubre toda la amplitud de las necesidades y expectativas del "ECMWF". Basándose en sus conclusiones, se elaborarán libros blancos sobre los retos identificados, en los que expondrán sus recomendaciones estratégicas para "DestinE".

La Administración Española participa en el proyecto "Destination Earth" a través de una serie de puntos de enlace y comités de expertos, con los coordinadores del "Foro Copernicus" incluidos, y la participación también de las instituciones implicadas en el programa "FPCUP" como el "INTA".

Además, la "Agencia Estatal de Meteorología" (AEMet), perteneciente al "Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico", participa en la iniciativa como referente nacional en ma-

teria de meteorología y climatología, y colaborando con la "Secretaría de Estado de Digitalización e Inteligencia Artificial", del "Ministerio para la Transformación Digital y de la Función Pública", para alcanzar los objetivos del "Programa Europeo Digital" en España (Figura 19).



Figura 19: "Destination Earth" ayudará a los científicos y a los responsables políticos a comprender las complejas interacciones entre el medio ambiente y los seres humanos, sentando las bases de referencia para unas estrategias europeas de adaptación eficaces en apoyo de la transición ecológica, ayudando a la Unión Europea a alcanzar su objetivo de ser neutra en emisiones de carbono para el año 2050, y a la aplicación de las estrategias europeas de adaptación verde y digital de la Comisión Europea.
Crédito: (Agencia Espacial Europea -ESA-)

CONSORCIO EUROPEO DE MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES 'EC-EARTH'

"No entiendo por qué cuando destruimos algo creado por el hombre lo llamamos vandalismo, pero cuando destruimos algo creado por la naturaleza lo llamamos progreso"
Edward James Begley Jr. (1949), productor, actor y activista medioambiental norteamericano

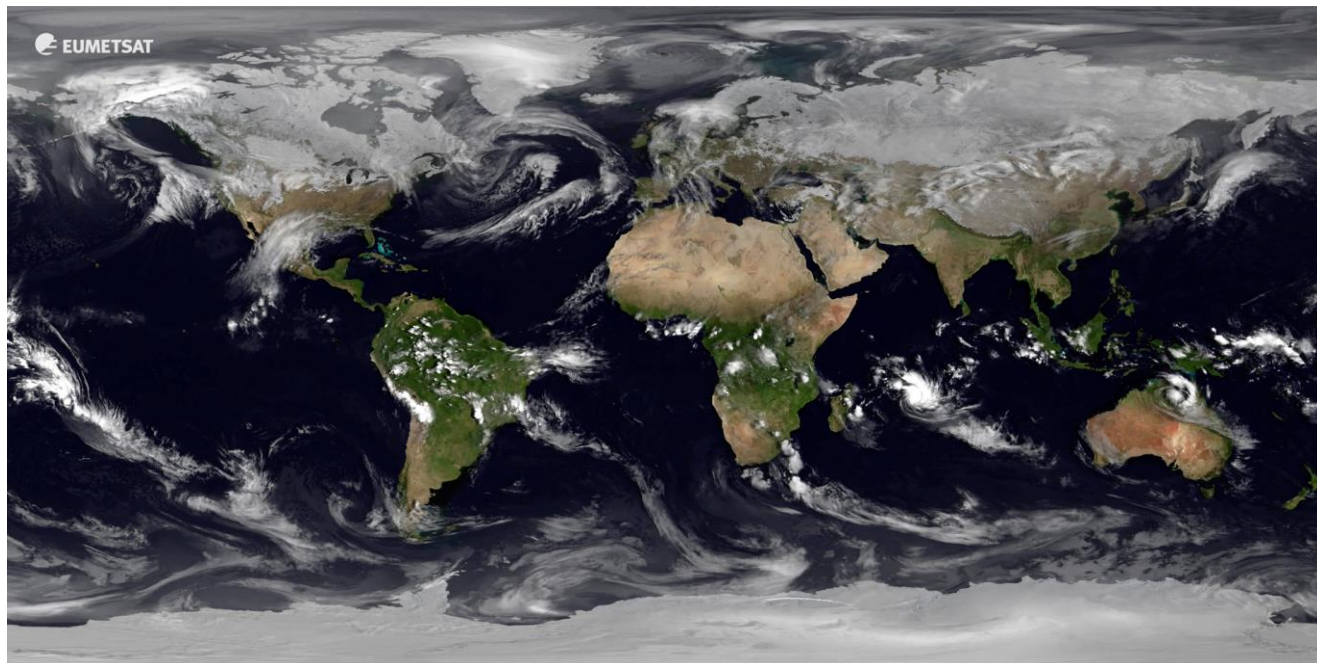


Figura 20: Imagen de la Tierra captada desde satélites meteorológicos de Europa, EE.UU, China y Japón. Muestra datos de nubes en el infrarrojo (IR 10.8) superpuestos a los mapas terrestres "Blue Marble Next Generation" de la NASA. Crédito: (EUMETSAT)

Dada la demanda social, cada vez mayor, de información útil y de calidad acerca de los posibles efectos del cambio climático, los principales esfuerzos en el desarrollo de la próxima generación de "Modelos del Sistema Tierra", o "Earth System Models" (ESM), van encaminados, principalmente, a incrementar la resolución espacial, permitiendo así la resolución explícita de un mayor número de procesos de pequeña escala, y por tanto de alcanzar detalles más complejos (Figura 20). El objetivo es llegar a resoluciones del orden de 1 km en un modelo global, lo que supone un reto muy importante ya que la configuración estándar de los modelos climáticos globales actuales tiene una resolución horizontal de unos 50-100 km, por lo que para obtener una mayor resolución se ha de realizar el *downscaling* (dinámico o estadístico).

Este objetivo es de una envergadura tan importante y conlleva unos costes asociados tan elevados que, para llevarlo a cabo, será imprescindible la participación y cooperación de los institutos de investigación y tecnología más importantes a nivel mundial, junto con centros meteorológicos nacionales y la colaboración de grupos interdisciplinarios de expertos, generando al mismo tiempo oportunidades únicas para el avance científico y tecnológico. Los resultados los podremos comprobar y valorar en esta misma década.

Los modelos climáticos globales y los modelos del sistema terrestre son modelos numéricos del sistema climático de la Tierra y se utilizan para comprender cómo los distintos componentes de la Tierra, entre ellos la atmósfera, los océanos, la superficie terrestre, la biosfera y la criosfera, interactúan entre sí y cómo responden a los cambios naturales e inducidos por el hombre. Estos modelos simulan los procesos físicos, químicos y biológicos que rigen el sistema terrestre en diferentes niveles de complejidad. Como tales, son herramientas esenciales para comprender y predecir la variabilidad del clima y el cambio climático.

Estos modelos constituyen la herramienta básica para estimar y obtener información sobre el clima futuro. Consisten en modelos acoplados atmósfera-océano "Atmosphere-Ocean Global Circulation Models" (AOGCM), que tratan de describir y simular los distintos componentes del sistema climático, las interacciones entre ellos y su evolución. Con el paso de los años han ido perfeccionándose, añadiendo nuevos componentes (hielo marino, esquemas de superficie mejorados, aerosoles atmosféricos, vegetación dinámica, química atmosférica, ciclo del carbono, biogeoquímica oceánica, etc.), así como una mayor resolución y complejidad a su estructura, en su objetivo de simular lo mejor posible los procesos físicos, químicos y biológicos que se dan globalmente en el sistema terrestre y sus procesos de realimentación asociados (Figura 21).

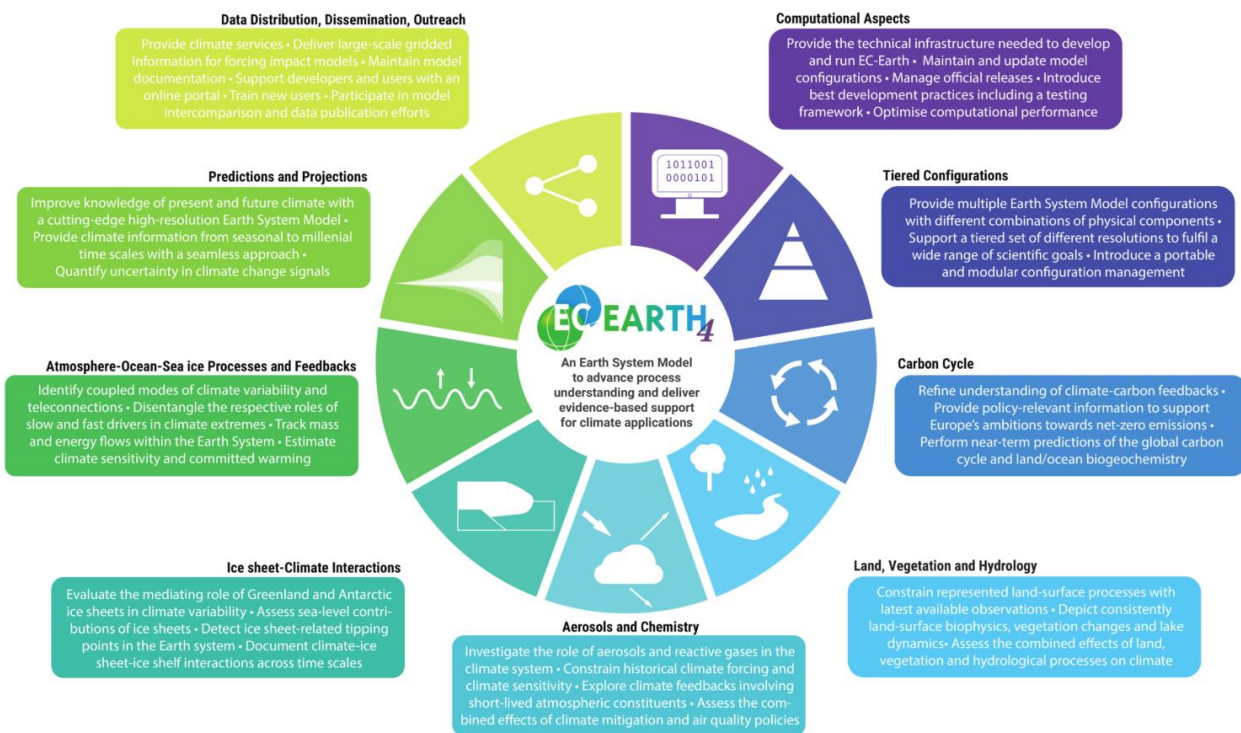


Figura 21: Principales objetivos del "Modelo del Sistema Tierra" EC-EARTH. Fuente: EC-EARTH

En la actualidad, estos modelos son utilizados por múltiples sectores como herramienta para la toma de decisiones, con finalidades muy diversas (por ejemplo: planificación agrícola, energética y de infraestructuras; gestión hidrológica; seguros; evaluación de riesgos ambientales o de salud; mercados financieros; apoyo a modelos de impacto socio-económico, etc..)

En el ámbito de las ciencias atmosféricas, su uso es importante para la mejora de los sistemas de observación y predicción meteorológica, y juegan un papel imprescindible en estudios de sensibilidad climática y en la generación de escenarios futuros de cambio climático. En relación con este último aspecto, los resultados de los proyectos de intercomparación de modelos climáticos (CMIP-Climate Model Intercomparison Project) son un elemento clave para la elaboración de las conclusiones en los Informes de Evaluación del Cambio Climático, realizados por el "Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático" (IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change).

La progresiva mejora de la capacidad de los modelos climáticos participantes en los sucesivos "CMIP" para simular los patrones de temperatura y precipitación observados, así como la concordancia de las simulaciones de clima pasado realizadas por los modelos frente a las reconstrucciones históricas de observaciones procedentes de distintas fuentes, ha permitido aumentar la con-

fianza en los estudios de atribución de cambio climático y en las proyecciones de clima futuro (IPCC - 2013), sin dejar de lado las incertidumbres inherentes a dichas simulaciones.

Tradicionalmente la problemática de la predicción del tiempo a corto plazo y la predicción climática eran abordadas por separado, como disciplinas diferentes. En la primera, es clave la correcta definición de las condiciones iniciales y la simulación en altas resoluciones, mientras que, en la segunda, el interés máximo se centra en la incorporación del mayor número de componentes del sistema terrestre y la simulación de las complejas relaciones entre ellos, para de esta forma, capturar correctamente sus variaciones, retroalimentaciones y evolución a largo plazo.

Dado que la evolución del tiempo atmosférico, ya sea a corto plazo o a largo plazo, está basada en los mismos principios y procesos físicos, vinculados a través de múltiples escalas espaciales y temporales, se planteó la posibilidad de unificar la predicción, englobando todos los procesos y sus correspondientes escalas, en el marco de un mismo modelo.

Básicamente, la aplicación de esta filosofía en un entorno de modelización climática, consistirá en incluir en un mismo sistema, las características de los modelos de predicción del tiempo a corto plazo junto con las de los modelos de medio-largo plazo. De esta forma, se podrá utilizar el mismo modelo para realizar simulaciones en diferentes escalas temporales (estacional, decenales, largo plazo).

Asimismo, esta configuración permitirá aprovechar en los modelos climáticos, las estructuras utilizadas por los modelos operativos de predicción del tiempo atmosférico a corto plazo (herramientas de diagnóstico, sistemas de observación y asimilación) para mejorar la comprensión de los procesos existentes en el sistema climático, permitiendo así el aumento en la calidad y confianza de sus predicciones.

"EC-Earth" es un modelo del sistema Tierra desarrollado en el año 2006 por un consorcio de Servicios Meteorológicos Nacionales de países miembros del "Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio" (ECMWF) e Institutos de investigación europeos, con la finalidad de desarrollar conjuntamente un modelo de última generación, un "Earth System Model", partiendo del modelo de predicción estacional del "ECMWF". En la actualidad, "EC-Earth" se ha convertido en un destacado modelo de vanguardia dentro del panorama internacional de los modelos climáticos globales y del sistema Tierra (Figuras 22 y 23).



Figuras 22 y 23: Miembros del consorcio EC-EARTH.
Fuente: Ministerio de Infraestructuras y Medio Ambiente - Royal Netherlands Meteorological Institute

EC-Earth se desarrolla de modo cooperativo entre sus socios, universidades y centros de investigación, promocionando así la cooperación internacional y favoreciendo la interacción con la comunidad europea de impactos climáticos. Entre los distintos miembros, por parte de España participan: "AEMet" (Agencia Estatal de Meteorología), "IC3" (Institut Català de Ciències del Clima), y "BSC" (Barcelona Supercomputing Centre), incorporándose recientemente la Universidad de Santiago de Compostela.

El consorcio "EC-Earth" contribuye al "*Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados*" (CMIP), y también se utiliza como herramienta de investigación en diversos proyectos nacionales, europeos e internacionales. Su objetivo principal es aumentar el conocimiento científico sobre el complejo sistema terrestre, y proporcionar información climática en diferentes resoluciones espaciales y temporales, realizando simulaciones de utilidad tanto en predicción estacional como en predicciones decenales o en simulaciones de largo plazo, siguiendo así la filosofía "seamless prediction" o "predicción unificada o sin costuras". La última versión en desarrollo del modelo es "EC-Earth4" y participa en el "CMIP7".

Desde su fundación ha acogido a muchos nuevos socios, reuniendo a 30 Institutos de investigación de 12 países europeos para colaborar en el desarrollo de un Modelo del Sistema Tierra. Sus socios principales son:

- **SMHI**, Suecia
- **KNMI**, Países Bajos
- **DMI**, Dinamarca
- **AEMet**, España
- **Met Éireann**, Irlanda
- **CNR**, Italia
- **BSC**, España
- **FMI**, Finlandia

El modelo "EC-Earth" es un modelo acoplado atmósfera-océano-hielo-tierra desarrollado por los miembros que componen el consorcio. El núcleo principal está compuesto por el modelo atmosférico IFS (Integrated Forecast System) del "ECMWF" en su versión estacional -System3 para la versión inicial, y actualmente System4- y por el modelo oceánico y de hielo marino del consorcio "NEMO" (Nucleus for European Modelling of the Ocean). A través del acoplador "OASIS" (Ocean, Atmosphere, Sea Ice, Soil -version 3-) se realiza el intercambio de información entre los distintos componentes del modelo.

Con posterioridad, y siguiendo la filosofía de desarrollo continuo del modelo (actualmente en su versión v3.2), se han incorporado nuevos módulos adicionales, como por ejemplo los módulos de vegetación dinámica, de biogeoquímica marina, de química atmosférica, de aerosoles interactivos, del ciclo del carbono, y de la capa de hielo de Groenlandia, con el objetivo de conformar un "ESM" lo más completo posible. Esto lo convierte en una herramienta clave en la toma de decisiones políticas en materia de clima y cambio climático, al proporcionar información esencial para la realización de predicciones de escenarios regionalizados siguiendo las directrices del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC).

Una de las características del modelo "EC-Earth", es su flexibilidad en la elección de diferentes configuraciones posibles, pudiendo optar por ejecutar el modelo tanto en modo acoplado (océano-atmósfera) como en modo desacoplado del océano (solo atmosférico), y en distintas resoluciones horizontales y verticales, en función de la versión para IFS/NEMO seleccionada. Además, está preparado para ejecutarse en diferentes plataformas de computación, lo que permite adaptarse a las posibilidades de cada miembro del consorcio.

En la actualidad se está trabajando con la nueva versión del modelo que incorpora, aparte de una nueva versión del modelo atmosférico (System4) y de océano (NEMO3), desarrollos en los módulos de química atmosférica (TM5), vegetación dinámica (LPJ-GUESS), y biogeoquímica oceánica (PISCES), lo que dará lugar a un aumento de la resolución del modelo, y a una simulación con más detalle de los procesos implicados en el sistema climático.

"AEMet" tiene entre sus funciones la generación periódica de escenarios de cambio climático para España, y desde 2009 participa en este ambicioso programa (Figura 24).

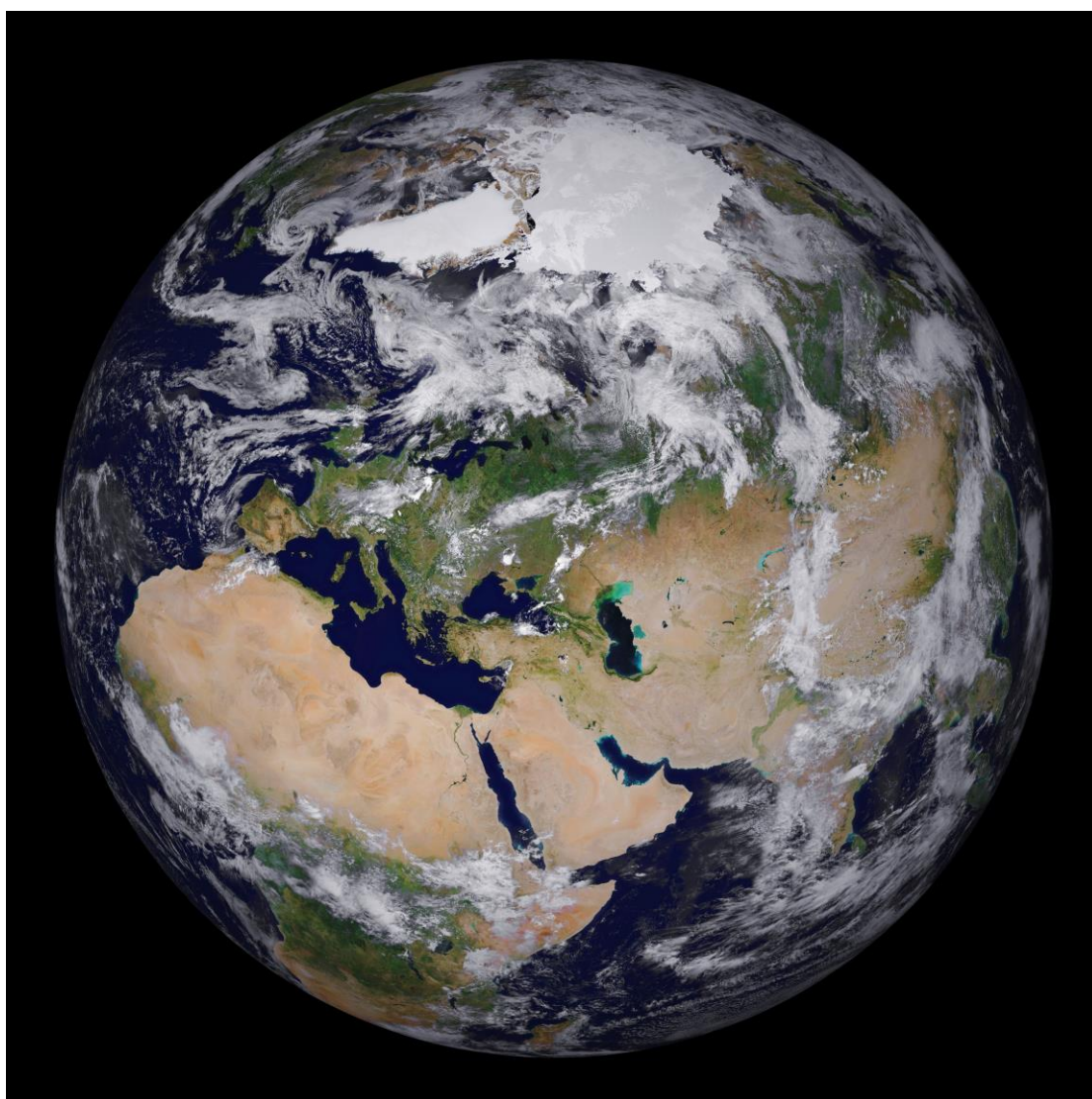


Figura 24: Imagen de la Tierra que se recopiló utilizando decenas de miles de imágenes de la misión "Sentinel-2" (Copernicus). Las imágenes de satélite sirven para comprender cómo funciona la Tierra como Sistema y cómo están cambiando los procesos naturales bajo la presión de la actividad humana. También sirven para mejorar las prácticas agrícolas, la seguridad marítima y ayudar en caso de catástrofes naturales. Fuente: (COPERNICUS-ESA-NASA)

'DESTINO TIERRA': LA ESPERANZA DE UN MUNDO MEJOR

"Para un científico, la descripción en lenguaje llano es una medida del grado de comprensión alcanzado"
Werner K. Heisenberg (1901-1976), físico teórico y nuclear, matemático y profesor alemán

Los informes sobre riesgos mundiales advierten repetidamente de que el Cambio Climático y sus consecuencias son la principal causa posible de trastornos en los próximos años y decenios. La *Encuesta de Percepción de Riesgos Mundiales 2022-2023* del "Foro Económico Mundial" enumera dos riesgos relacionados con el cambio climático como los que tienen más probabilidades de causar perturbaciones entre los próximos 2 y 10 años.

Entre 1980 y 2021, los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos causaron pérdidas económicas estimadas en 560 000 millones de euros en los Estados miembros de la Unión Europea, según la Agencia Europea de Medio Ambiente. El análisis estadístico también muestra que estas pérdidas económicas aumentan con el tiempo.

Paralelamente, aumenta la importancia de contar con previsiones meteorológicas precisas y oportunas para apoyar la continuidad de las empresas y proteger las economías. Esto es especialmente cierto en los sectores de la energía, transporte, construcción, agricultura, turismo y servicios públicos. Los proveedores de energía, por ejemplo, dependen de las previsiones meteorológicas para anticiparse a la demanda de electricidad y adaptar su producción tanto en épocas de calor como de frío.

Los fenómenos meteorológicos extremos son cada vez más frecuentes y graves. Las olas de calor en Europa dejan decenas de miles de muertes prematuras cada año, y si no se toman medidas decisivas muy pronto sólo las pérdidas económicas derivadas de las inundaciones costeras podrían superar el billón de euros a finales de este siglo.

Con el desarrollo de las energías renovables, la propia producción dependerá cada vez más de las condiciones meteorológicas. Del mismo modo, las previsiones de niebla, nieve, vientos fuertes, tormentas y dispersión de partículas de ceniza inducidas por el tiempo atmosférico son fundamentales para la aviación y la gestión del tráfico aéreo y, por extensión, para la economía mundial.

"DestinE" supondrá un cambio radical en la predicción medioambiental mediante el uso de los últimos avances en predicción numérica, tecnologías digitales, supercomputadoras e inteligencia artificial. Para lograr este objetivo, tres grandes organizaciones europeas, el Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo (ECMWF), la Agencia Espacial Europea (ESA) y la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT), han combinado sus conocimientos y competencias a instancias de La Comisión Europea, a través de La Dirección General de Redes de Comunicación, Contenido y Tecnología o "DG Connect", en un proyecto cooperativo que reúne a más de cien socios de toda Europa, como se ha explicado en este trabajo.

"Destination Earth" permitirá a los sectores afectados por los fenómenos extremos y el cambio climático, como la agricultura, la silvicultura, energías renovables, salud pública o recursos hídricos, adaptar los datos, servicios y herramientas de "DestinE" a sus necesidades y considerar y probar vías de actuación alternativas.

"DestinE" proporcionará escenarios "hipotéticos" específicos para apoyar las políticas de adaptación al cambio climático y probar escenarios de mitigación a escalas de tiempo decenales, con el objetivo de lograr un verdadero avance en términos de fiabilidad a escala de la Unión Europea, nacional, regional y local (Figura 25).

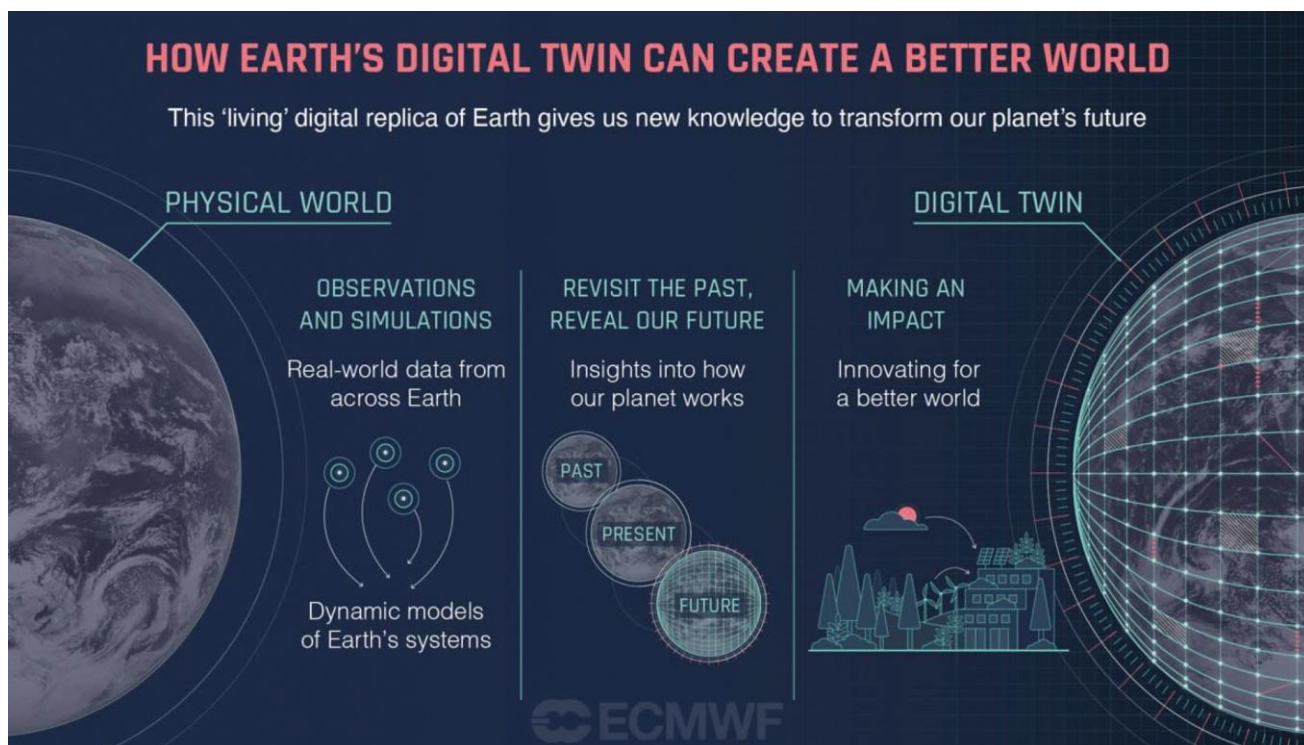


Figura 25: El Gemelo Digital de la Tierra facilitará un mejor entendimiento del funcionamiento de nuestro planeta y permitirá tomar mejores decisiones de cara al futuro. Fuente: (ECMWF)

A pesar de iniciativas tan positivas como "Destination Earth", la Humanidad sigue dedicando sus mayores esfuerzos a su propia destrucción. Según datos del "Stockholm International Peace Research Institute" (SIPRI), que suelen quedarse por debajo de los reales, el gasto militar mundial ascendió a 2,3 billones de euros en el año 2023, de los que casi la mitad correspondieron a Estados Unidos, seguido por China (296 000 millones de dólares), Rusia (109 000 millones de dólares), India (83 600 millones de dólares), y más de una decena de países que gastaron entre 22 000 y 75 000 millones de dólares, entre los que se encuentra España.

Conviene recordar que este gigantesco gasto se destina exclusivamente a elementos destinados a destruir y matar, destrozando el medioambiente y dando lugar a genocidios, matanzas y exterminios (Figura 26) entre la población sometida a su uso (recordar el caso de Gaza, Cisjordania, y otras muchas zonas del planeta como África y Asia).



Figura 26: Niño palestino defendiéndose de un carro de combate israelí. Crédito: Musa Al-Shaer/AFP

En términos de Producto Interior Bruto, el gasto en "defensa" (eufemismo de armamento para hacer daño, destruir y matar) a nivel mundial ascendió en 2023 hasta el 6,8%. Destaca Ucrania con un 37% de su PIB debido a su situación bélica con Rusia, pero le siguen Argelia (8,2%), Arabia Saudita (7,1%), Rusia (5,9%), Omán (5,4%), Israel (5,3%), Kuwait (4,9%), Polonia (3,8%), Estados Unidos (3,4%), Grecia (3,2%), y muchos países más por encima del 2% (Figura 27).



Figura 27: Una niña palestina mira al soldado israelí que revisa las identificaciones de las mujeres palestinas que quieren cruzar el paso de control de Belén, al sur de Jerusalén. Foto: EFE.

Contrastan con estas cifras los recursos dedicados al cuidado de nuestro planeta y a la supervivencia de la Humanidad. Según "Eurostat" el gasto medio en protección ambiental entre los países de la Unión Europea asciende al 0,8% del PIB, destacando Países Bajos con 1,5% de su PIB, seguido de Malta (1,4%) y Luxemburgo (1,2%), quedando Finlandia y Suecia como los países de la UE que menos aportan (0,3%). España se sitúa en la media europea con un 0,8% de su PIB.

Merece la pena recordar que para el ambicioso proyecto "*Destination Earth*" de la Comisión Europea, la financiación acordada a través del programa "Europa Digital" supera los 315 millones de euros para las dos primeras fases (unos 150 millones de euros cada una), y que la financiación de la tercera fase está supeditada al acuerdo del programa "Europa Digital 2025-2027" que aún no se ha firmado.

REFERENCIAS Y CONSULTAS

- <https://destination-earth.eu/>
- <https://digital-strategy.ec.europa.eu/es/policies/destination-earth>
- *Cambio climático en la Tierra (estudio comparado con Venus y Marte), parte I - Julio Solís García. Revista Digital ACTA nº 158 - 2023 (https://www.acta.es/recursos/revista-digital-manuales-formativos/711-158)*
https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/158001.pdf
- *Cambio climático en la Tierra (estudio comparado con Venus y Marte), parte II - Julio Solís García. Revista Digital ACTA nº 159 - 2023 (https://www.acta.es/recursos/revista-digital-manuales-formativos/712-159)*
https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/159001.pdf
- https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/high-performance-computing>
- <https://www.energynews.es/comision-europea-destine/>
- <https://www.bsc.es/es/descubre-el-bsc/el-centro/>
- <https://digital-strategy.ec.europa.eu/es/library/destination-earth-factsheet>
- https://www.lumi-supercomputer.eu/lumi_supercomputer/
- <https://www.computing.es/noticias/superordenador-jupiter-gran-titan-europeo/>
- <https://www.innovationnewsnetwork.com/eu-launches-destine-system-to-create-a-digital-twin-of-earth/48382/>
- https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Destination_Earth
- https://www.inta.es/INTA/gl/blogs/copernicus/BlogEntry_1614336650582
- <https://destination-earth.eu/destination-earth/destines-components/>
- <https://destine.ecmwf.int/>
- <https://www.copernicus-user-uptake.eu/>
- <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/-/global-space-conference-on-climate-change-to-highlight-value-of-copernicus-sentinels>
- https://climate.copernicus.eu/sites/default/files/custom-uploads/C3S_conference/day3/Bauer%20Peter_ECMWF_Evolving%20climate%20services.pdf
- https://climate.copernicus.eu/sites/default/files/custom-uploads/C3S_conference/day3/Bauer%20Peter_ECMWF_Evolving%20climate%20services.pdf
- <https://www.eumetsat.int/international-cooperation/destine>
- <https://platform.destine.eu/>
- <https://www.etp4hpc.eu/strategic-technology-agenda-for-destine.html>
- <https://www.energynews.es/aemet-participa-en-programa-europeo-destine/>
- https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/3505/1/BolOMM%2057_1-2.pdf
- <https://ec-earth.org/>

Destination Earth

- <https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/6144/1/xxxivjornadasame-proyectoearth.pdf>
- <https://mpimet.mpg.de/en/research/modeling/destination-earth>

(Para comentarios y observaciones al autor: caronte@acta.es)