

# Marcar el camino de la supercomputación europea



PROJECTS INFO PACK DE CORDIS



# INTRODUCCIÓN



*La Empresa Común EuroHPC aúna los esfuerzos de múltiples socios con el objetivo situar a Europa a la cabeza de la carrera mundial de la supercomputación. El ecosistema de supercomputación de primer nivel desarrollado por la EC EuroHPC está mejorando la calidad de vida de los ciudadanos, haciendo avanzar la ciencia e impulsando el potencial de innovación de las empresas.*

**Anders Dam Jensen**

Director ejecutivo de la Empresa Común EuroHPC

Los superordenadores son sistemas avanzados con capacidades de cálculo extremadamente potentes. Pueden resolver problemas y realizar cálculos que requieren más velocidad y potencia que los ordenadores convencionales.

Los servicios de informática de alto rendimiento (HPC, por sus siglas en inglés) que ofrecen los superordenadores son esenciales para descubrir fármacos nuevos, acelerar el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades, predecir fenómenos meteorológicos extremos, aumentar la ciberseguridad y desarrollar productos más sostenibles.

La Empresa Común de Informática de Alto Rendimiento Europea (EC EuroHPC) es una iniciativa conjunta creada en 2018, que aúna los recursos de la Unión Europea, treinta y un países europeos y tres socios privados con el objetivo de convertir a Europa en un líder mundial de la supercomputación.

Para ello, la EC EuroHPC está adquiriendo e instalando superordenadores en toda Europa. Con independencia del lugar de Europa en que se hallen, los científicos y los usuarios europeos del sector público y privado pueden beneficiarse de los superordenadores de la EC EuroHPC, que se encuentran entre los más potentes del mundo. Al mismo tiempo, la EC EuroHPC está financiando un ambicioso programa de investigación e innovación a fin de desarrollar una cadena de suministro de supercomputación integral europea: desde procesadores y *software* hasta aplicaciones, que se ejecutarán en estos superordenadores, y conocimientos técnicos para desarrollar unas competencias europeas robustas.

En este Projects Info Pack encargado especialmente, descubrirá nueve proyectos seleccionados de la EC EuroHPC que promueven la computación ecológica y contribuyen a la autonomía y el liderazgo tecnológico y digital de Europa.



# EDITORIAL

Los superordenadores ya están cambiando la vida de los ciudadanos europeos. Máquinas miles de veces más potentes que un ordenador de mesa están logrando avances en la modelización del clima, la medicina personalizada, las estrategias de ahorro energético y el control de epidemias. En este Projects Info Pack se presenta la Empresa Común de Informática de Alto Rendimiento Europea (EC EuroHPC) y su trabajo para desarrollar las capacidades en materia de supercomputación de Europa.

Ningún país europeo tiene la capacidad para desarrollar por sí solo recursos de supercomputación de primer nivel. La cooperación, el intercambio de conocimientos y la puesta en común de recursos a nivel europeo son fundamentales. La EC EuroHPC reúne los recursos y los conocimientos especializados de treinta y un países y socios europeos para construir un ecosistema de supercomputación europeo de vanguardia. Su objetivo es proporcionar a todos los países participantes más oportunidades de las que tendrían por sí solos y liderar la carrera mundial de la supercomputación.

Desde su creación en 2018, la Empresa Común ha aumentado de forma considerable las inversiones totales en HPC a nivel europeo y ha comenzado a restaurar la posición de Europa como una potencia líder en materia de HPC a nivel mundial. La Empresa Común no solo adquiere superordenadores, sino que además invierte en investigación para desarrollar tecnologías, aplicaciones, capacidades y conocimientos especializados de supercomputación innovadores y competitivos, sobre la base de una cadena de suministro que reducirá la dependencia de Europa de los fabricantes extranjeros.

# ÍNDICE

<b>6</b>	<b>Actualizar Europa</b>	<b>18</b>	<b>MICROCARD</b>
<b>7</b>	<b>Construir el futuro</b>	<b>20</b>	<b>NextSim</b>
<b>8</b>	<b>HPCQS</b>	<b>22</b>	<b>Distribución geográfica de la EC EuroHPC</b>
<b>10</b>	<b>EPI SGA2</b>	<b>23</b>	<b>Capacidades del siglo XXI</b>
<b>12</b>	<b>HEROES</b>	<b>24</b>	<b>EuroCC</b>
<b>14</b>	<b>Ordenadores eficaces y ecológicos</b>	<b>26</b>	<b>FF4EuroHPC</b>
<b>15</b>	<b>Informática aplicada</b>	<b>28</b>	<b>EUMaster4HPC</b>
<b>16</b>	<b>LIGATE</b>	<b>30</b>	<b>Glosario</b>

De los veintinueve proyectos de investigación iniciales gestionados hoy día por la EC EuroHPC, este Projects Info Pack destaca nueve que ejemplifican la amplia gama de temas abordados por la Empresa Común.

Un objetivo central de la Empresa Común es desarrollar tecnologías de HPC innovadoras, locales y sostenibles como, por ejemplo, la creación de un microprocesador de bajo consumo (**EPI SGA2**), una plataforma para que los usuarios envíen solicitudes de simulación complejas a los centros de procesamiento de datos de HPC (**HEROES**) y una incubadora innovadora para la computación cuántica híbrida en entornos de HPC (**HPCQS**).

Otro objetivo de la EC EuroHPC es crear aplicaciones, algoritmos y programas informáticos para ser ejecutados en superordenadores por usuarios públicos y privados. Estos incluyen el diseño de fármacos (**LIGATE**), la modelización de enfermedades (**MICROCARD**) y la ingeniería aeroespacial (**NextSim**), así como la energía y la investigación climática, entre otros.

Un tercer objetivo es desarrollar las capacidades necesarias para ampliar el uso

de la HPC entre un mayor número de usuarios públicos y privados, dondequiera que se encuentren en Europa. **EuroCC** está creando una red de Centros Nacionales de Competencia en el ámbito de la HPC para facilitar el acceso a las oportunidades europeas de HPC en diferentes sectores, mientras que **FF4EuroHPC** apoya a las pymes que deseen beneficiarse del uso de los servicios de HPC para desarrollar productos y servicios innovadores. Por último, **EUMaster4HPC** ha creado un innovador programa paneuropeo de Máster en Ciencias de HPC para formar a la próxima generación de expertos en HPC de Europa.

Hoy en día, existen cinco superordenadores en funcionamiento de la EC EuroHPC en Bulgaria, Chequia, Eslovenia, Finlandia y Luxemburgo, mientras que se están construyendo otros tres superordenadores en España, Italia, y Portugal. Además, está previsto el desarrollo de más sistemas en un futuro cercano. La inversión realizada por la Empresa Común es de suma importancia para desarrollar un ecosistema de supercomputación de primer nivel en Europa, que impulsará la competitividad y la innovación de Europa y mejorará la calidad de vida de sus ciudadanos.

## La Empresa Común EuroHPC

La Empresa Común de Informática de Alto Rendimiento Europea fue creada el 28 de septiembre de 2018 en virtud del Reglamento (UE) 2018/1488 del Consejo, y actualmente está regulada por el [Reglamento \(UE\) 2021/1173 del Consejo](#). La EC EuroHPC aúna los esfuerzos de los países, la industria y los organismos públicos para marcar el camino en la supercomputación europea, cuenta con un presupuesto combinado de 7 000 millones EUR procedentes del programa Europa Digital, Horizonte Europa y el Mecanismo «Conectar Europa» 2.0, así como de las contribuciones de los países participantes y miembros privados.

Los superordenadores son herramientas fundamentales para cumplir los objetivos climáticos, energéticos y logísticos de Europa. También son esenciales para la seguridad, la defensa y la soberanía nacionales. La EC EuroHPC complementa los objetivos de la [Ley Europea de Chips](#) a fin de impulsar la competitividad y la resiliencia de Europa en el ámbito de las tecnologías y las aplicaciones de semiconductores, ya que los chips son los componentes críticos de un superordenador.

Un objetivo clave de la EC EuroHPC es promover tecnologías ecológicas y sostenibles como parte de los compromisos establecidos en el [Pacto Verde Europeo](#) para lograr la neutralidad climática de la Unión Europea. En el marco de la Empresa Común, se están construyendo algunos de los superordenadores más ecológicos del mundo al capitalizar tecnologías como, por ejemplo, la refrigeración por agua, el reciclaje de calor residual y los microprocesadores de última generación de bajo consumo energético.

La EC EuroHPC contribuye a la prioridad de la Comisión Europea de [Una Europa Adaptada a la Era Digital](#), cuyo objetivo es lograr que la transición digital funcione para las personas y las empresas.

# Actualizar Europa

Rápido, piense en un número. Ahora multiplíquelo por siete. Este tipo de cálculo mental es justo lo que hace un ordenador, excepto que puede hacer malabarismos con números de diecinueve cifras. Además, un superordenador puede ejecutar billones de estas operaciones de coma flotante por segundo (FLOPS, por sus siglas en inglés) a la vez. Cien ordenadores portátiles de gama alta trabajando juntos podrían lograr un solo petaflop (\*), pero los superordenadores europeos son bastante más potentes. Cuando los 8 sistemas de EuroHPC estén operativos, la EC EuroHPC proporcionará 876 petaflops a los usuarios europeos. Para finales de 2023, esta cifra se duplicará con creces hasta alcanzar los 1 950 petaflops, gracias a la introducción del primer sistema a exaescala y de otros superordenadores de gama media.

(\* ) Un petaflop equivale a 1 000 000 000 000 de cálculos por segundo.



Los números indican la cantidad de petaflops disponibles.

Fuente de los datos: EC EuroHPC

# CONSTRUIR EL FUTURO



*La tecnología de la información que está desarrollando el proyecto situará a Europa a la vanguardia de la computación cuántica.*

Kristel Michielsen, coordinadora del proyecto HPCQS



#### FICHA DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

**Nombre completo:** High Performance Computer and Quantum Simulator hybrid

**Fechas del proyecto:** del 1 de diciembre de 2021 al 30 de noviembre de 2025

**Coordinado por:** Centro de Investigación de Jülich (Alemania)

**Financiado con arreglo a:** Horizon 2020-LEIT-ICT

**Ficha informativa de CORDIS:** [cordis.europa.eu/project/id/101018180/es](https://cordis.europa.eu/project/id/101018180/es)

**Sitio web del proyecto:** [hpcqs.eu](https://hpcqs.eu)

**Presupuesto total:** 12 000 000 EUR

**Aportación de la UE:** 6 000 000 EUR

## HPCQS

# Preparar a Europa para un futuro de computación cuántica

**Algunas veces, ni siquiera un superordenador es lo bastante potente para hacer el trabajo. Por ello, este proyecto financiado con fondos europeos está dando el salto hacia la computación cuántica.**

Tanto en el sector industrial como en el ámbito científico, existen muchas tareas informáticas básicas que los superordenadores clásicos bregan por resolver. Entre estos problemas complejos se encuentran la optimización de flujos de tráfico y problemas matemáticos fundamentales en química y física para desarrollar fármacos y materiales nuevos.

Y es aquí donde la computación cuántica puede servir de ayuda.

«El desarrollo de sistemas y aplicaciones de computación cuántica posibilita nuevos enfoques para resolver estos problemas de cálculo complejos —explica Kristel Michielsen, catedrática del [Centro de Investigación de Jülich](#) (Alemania)—. Dado que muchos de estos problemas tienen repercusiones de calado para la economía y la investigación, existe una sensación de premura en torno a la computación cuántica».

Gracias al respaldo del [proyecto HPCQS](#), financiado con fondos europeos, Michielsen lidera un trabajo para preparar a la investigación, la industria y la sociedad europeas para un futuro de computación cuántica. «El equipo del proyecto está desarrollando, implementando y coordinando una infraestructura de computación cuántica europea federada», comenta la coordinadora.

Para construir esta infraestructura, el equipo de HPCQS, que forma parte de la Empresa Común EuroHPC, utiliza los denominados simuladores cuánticos. «Un simulador cuántico es una especie de versión analógica de un ordenador cuántico que, dado que no requiere un control completo de cada componente individual, es más sencillo de construir», apunta Michielsen.

El proyecto adquirirá y gestionará dos simuladores cuánticos piloto, cada uno capaz de manejar más de 100 cúbits. El primero estará ubicado en el [GENCI/CEA](#) (Francia) y el segundo en el [Centro de Supercomputación de Jülich](#). Las dos entidades integrarán los simuladores cuánticos en sus respectivos centros de procesamiento de datos y los gestionarán durante su vida útil. Se prestará especial atención a comprender si se pueden compartir los servicios esenciales de HPC. Los investigadores estudiarán asimismo el uso eficaz de los simuladores cuánticos por parte de científicos e ingenieros.

«La tecnología de la información que está desarrollando el proyecto situará a Europa a la vanguardia de la computación cuántica», concluye Michielsen. Una vez finalizada, la infraestructura HPCQS se pondrá a disposición de usuarios públicos y privados europeos a través de la nube y sin fines comerciales.

*EPI SGA2 constituirá un gran paso para dotar a la UE con su propia tecnología de supercomputación de primer nivel.*

Etienne Walter, director general de EPI



## FICHA DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

**Nombre completo:** SGA2 (Specific Grant Agreement 2) OF THE EUROPEAN PROCESSOR INITIATIVE (EPI)

**Fechas del proyecto:** del 1 de enero de 2022 al 31 de diciembre de 2024

**Coordinado por:** Atos (Bull S.A.S.) (Francia)

**Financiado con arreglo a:** Horizon 2020-Science with and for Society

**Ficha informativa de CORDIS:** [cordis.europa.eu/project/id/101036168/es](https://cordis.europa.eu/project/id/101036168/es) (esta página estará disponible pronto en el sitio web de CORDIS)

**Sitio web del proyecto:** [european-processor-initiative.eu](https://european-processor-initiative.eu)

**Presupuesto total:** 70 000 000 EUR

**Aportación de la UE:** 35 000 000 EUR

## EPI SGA2

# Desarrollo de capacidades en informática de alto rendimiento en Europa

**Este proyecto financiado con fondos europeos favorecerá el desarrollo de nuevos procesadores y aceleradores con el objetivo de dotar a la Unión Europea (UE) con su propia tecnología de supercomputación de primer nivel.**

La HPC permite realizar simulaciones a escala extrema que, simplemente, son imposibles de ejecutar en un único sistema, por lo que tiene el poder para transformar la investigación y las empresas.

Construir los superordenadores que se necesitan para abordar estos retos requiere una variedad de componentes complejos. Suministrar estos materiales requiere una cadena de suministro digital robusta que, hoy día, no existe.

«Europa necesita aumentar su capacidad para desarrollar componentes de HPC, sobre todo de procesadores de gama alta —explica Etienne Walter de [Atos Francia](#)—. De lo contrario, seguiremos dependiendo de las importaciones, lo que no solo plantea problemas de seguridad y soberanía, sino que además afecta a la balanza de pagos europea y a la competitividad de la industria europea».

Proyectos como la [Iniciativa europea en materia de procesadores](#) (EPI, por sus siglas en inglés), de la que Walter es director general, están ayudando a desarrollar las capacidades en HPC de Europa. Durante su primera fase, el equipo del proyecto diseñó y desarrolló una nueva familia de procesadores de bajo consumo, incluidos un procesador de propósito general y aceleradores.

«Nuestros innovadores procesadores constituyen componentes básicos para construir superordenadores y proporcionar el rendimiento requerido por las aplicaciones de HPC, así como por las aplicaciones de datos masivos y aprendizaje automático —comenta Walter—. Además, nuestros aceleradores ofrecen la eficiencia energética tan necesaria para los futuros sistemas a exaescala».

En la segunda fase del proyecto, financiada por la Empresa Común EuroHPC, los investigadores se proponen mejorar sus procesadores para su comercialización. Para ello, quieren validar los procesadores de primera generación y desarrollar una segunda generación aún más potente.

Al final de esta fase, Walter espera que el procesador de gama alta esté listo para su uso en los centros de procesamiento de datos que dan servicio a las aplicaciones de HPC.

«Lograrlo constituirá un gran paso para dotar a la UE con su propia tecnología de supercomputación de primer nivel», concluye Walter.

*Las ventajas potenciales son incalculables. Los centros de HPC obtendrán nuevas fuentes de ingresos, los proveedores de servicios en la nube podrán desarrollar nuevos mercados y las grandes empresas se beneficiarán de la HPC híbrida.*

Philippe Bricard, coordinador del proyecto HEROES



## FICHA DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

**Nombre completo:** Hybrid Eco Responsible Optimized European Solution

**Fechas del proyecto:** del 1 de marzo de 2021 al 28 de febrero de 2023

**Coordinado por:** UCit (Francia)

**Financiado con arreglo a:** Horizon 2020-LEIT-ICT

**Ficha informativa de CORDIS:** [cordis.europa.eu/project/id/956874/es](https://cordis.europa.eu/project/id/956874/es)

**Sitio web del proyecto:** [heroes-project.eu](https://heroes-project.eu)

**Presupuesto total:** 890 375 EUR

**Aportación de la UE:** 328 346 EUR

## HEROES

# Mercados de HPC para lograr unos productos industriales más eficientes

**El objetivo de HEROES es ofrecer las ventajas de la informática de alto rendimiento a las industrias energética y manufacturera. El futuro marco del proyecto permitirá a las pequeñas y medianas empresas, las grandes empresas, las universidades y los centros de investigación crear productos más eficientes en materia de energía.**

La tecnología puntera de la HPC ya es una realidad. Sin embargo, hasta ahora, su complejidad ha impedido aprovechar todo su potencial a aquellos que necesitan todo su poder de cálculo como, por ejemplo, los agentes industriales y los científicos.

Con [HEROES](#), Philippe Bricard, coordinador del proyecto, y otros socios quieren eliminar los obstáculos que se interponen entre esta tecnología y los usuarios. Para ello, han trabajado en el desarrollo de una tecnología de *software* que se pueda emplear para enviar flujos de trabajo complejos de aprendizaje automático y simulación a centros de procesamiento de datos de HPC e infraestructuras en la nube.

«HEROES es un marco para crear lo que denominamos mercados —explica Bricard, director general y fundador del proveedor de tecnologías de HPC [UCit](#)—. Estamos desarrollando un módulo de decisión capaz de seleccionar la plataforma más adecuada para el flujo de trabajo específico de inteligencia artificial o aprendizaje automático de los usuarios, en función de las estrategias que ellos establecen. Los usuarios tan solo tienen que iniciar sesión, seleccionar un flujo de trabajo de la aplicación y definir su estrategia de posicionamiento».

Estos criterios incluyen, por ejemplo, el mejor rendimiento, la mejor relación precio-rendimiento, el menor costo, la mejor responsabilidad ambiental y la mejor relación energía-rendimiento.

El equipo del proyecto se centrará sobre todo en los requisitos de flujo de trabajo de las industrias manufactureras y de energías renovables, a fin de ayudarlas a desarrollar productos más eficientes en materia de energía (como vehículos eficientes).

En último término, el *software* y sus mercados podrían emplearse por grandes empresas para construir su propia infraestructura de HPC, por proveedores de servicios para crear plataformas de HPC multinube o multiclúster, o por universidades y laboratorios de investigación que busquen recursos para distribuir sus códigos de aplicación y flujos de trabajo.

«Las ventajas potenciales de HEROES son incalculables. Podemos aplicar la plataforma a distintos contextos y requisitos de diferentes tipos de usuarios. Los centros de HPC obtendrán nuevas fuentes de ingresos, los proveedores de servicios en la nube podrán desarrollar nuevos mercados y las grandes empresas se beneficiarán de la HPC híbrida», comenta Bricard.

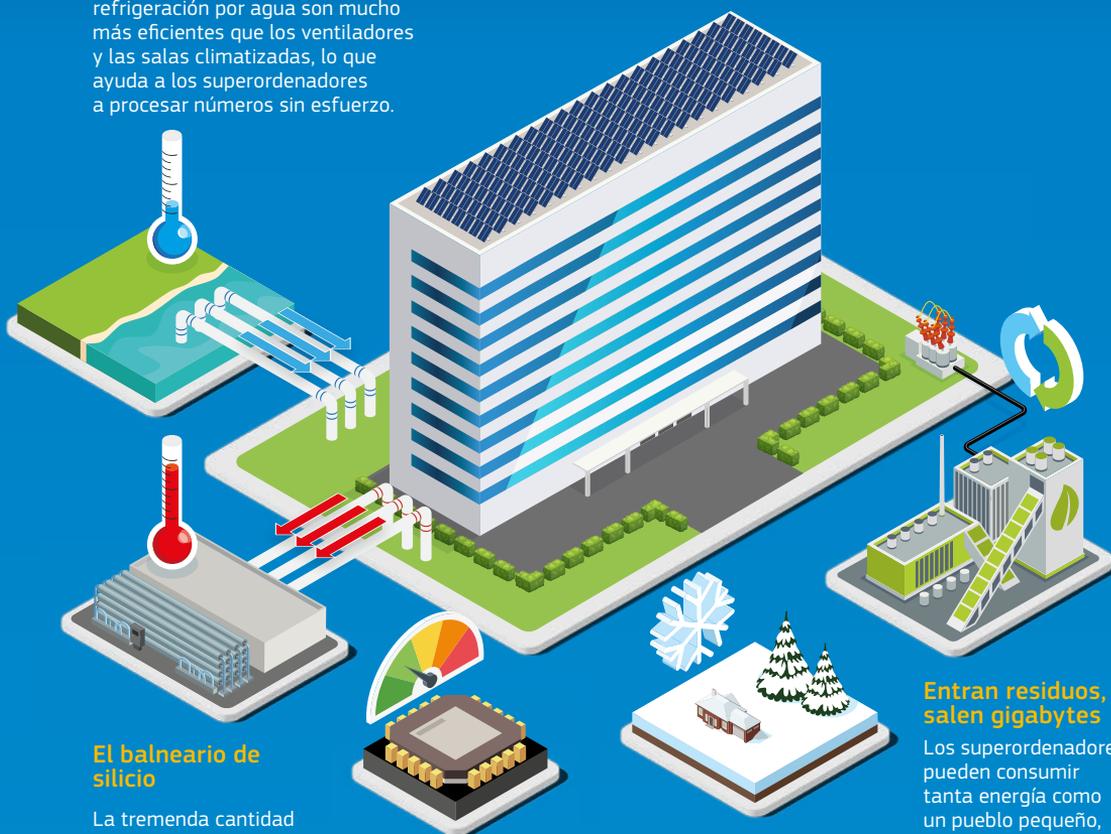
«Nuestro objetivo cuando finalice el proyecto es proceder a la venta directa o la concesión de licencias para ayudar a los clientes a crear sus propios mercados de HPC. También vislumbramos una oportunidad real en el diseño y funcionamiento de un servicio que nos permitiría llevar los recursos de EuroHPC a la comunidad investigadora o a las pymes europeas».

# Ordenadores eficaces y ecológicos

La potencia no es todo. En consonancia con los planes ambiciosos de la UE para lograr la neutralidad climática de aquí a 2050, la EC EuroHPC ha desempeñado un papel esencial para desarrollar superordenadores de gran potencia pero con un bajo impacto ambiental.

## Un conjunto de tubos

Los superordenadores generan mucho calor. Los sistemas de refrigeración por agua son mucho más eficientes que los ventiladores y las salas climatizadas, lo que ayuda a los superordenadores a procesar números sin esfuerzo.



## El balneario de silicio

La tremenda cantidad de calor generado por los superordenadores tiene que ir a algún lado. En vez de expulsarlo al medio ambiente, LUMI (Finlandia) emplea agua calentada por el superordenador para calentar los edificios circundantes.

## Chips de bajo consumo

La EC EuroHPC está ayudando a rediseñar los superordenadores desde dentro. Los microchips de bajo consumo desarrollados por EPI SGA2 ayudarán a reducir el consumo energético aún más.

## Orientación norte

Otra forma de ayudar a los superordenadores a estar fríos es construirlos en climas adecuados. La temperatura ambiente en Kajaani rara vez supera los 16 °C, el lugar perfecto para el LUMI finlandés.

## Entran residuos, salen gigabytes

Los superordenadores pueden consumir tanta energía como un pueblo pequeño, por ello es esencial asegurarse de que la electricidad proceda de fuentes renovables. En Bissen (Luxemburgo), una central eléctrica local quema residuos madereros para ayudar a MeluXina a funcionar.

Dos de los sistemas EuroHPC ya figuran entre los 10 primeros de la lista de superordenadores ecológicos de Top500.

Fuente de los datos: EC EuroHPC y [top500.org](http://top500.org)

# INFORMÁTICA APLICADA



*Nuestro objetivo es empezar con la identificación de nuevos antiviricos de amplio espectro mediante la evaluación de billones de moléculas contra decenas de dianas víricas funcionales.*

Andrea Beccari, director general y responsable de EXSCALATE en Dompé farmaceutici



#### FICHA DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

**Nombre completo:** Ligand Generator and portable drug discovery platform AT Exascale

**Fechas del proyecto:** del 1 de enero de 2021 al 31 de diciembre de 2023

**Coordinado por:** Dompé farmaceutici (Italia)

**Financiado con arreglo a:** Horizon 2020-LEIT-ICT

**Ficha informativa de CORDIS:** [cordis.europa.eu/project/id/956137/es](https://cordis.europa.eu/project/id/956137/es)

**Sitio web del proyecto:** [ligateproject.eu](https://ligateproject.eu)

**Presupuesto total:** 5 938 656 EUR

**Aportación de la UE:** 2 612 060 EUR

## LIGATE

# El descubrimiento rápido de fármacos aborda necesidades médicas no cubiertas

**LIGATE augura un proceso de descubrimiento de fármacos innovador basado en la computación a exaescala, capaz de identificar fármacos eficaces en cuestión de días y no de años.**

Un fármaco nuevo puede tardar más de trece años en pasar desde el descubrimiento inicial de sus compuestos activos hasta alcanzar los ensayos clínicos y lograr su solicitud de autorización. Y eso sin tener en cuenta la bajísima tasa de éxito de este proceso: menos del 10 % de los ensayos clínicos tienen éxito, solo 1 de cada 5 000 fármacos llega al mercado y, a menudo, los fármacos comercializados solo son adecuados para una parte de los enfermos.

Esta falta de eficacia y baja tasa de éxito contribuyen al coste tremendamente alto de desarrollar fármacos nuevos. El equipo del [proyecto LIGATE](#) apuesta por una nueva generación de plataformas de inteligencia artificial, modelización y simulación para abordar estos problemas.

«Estamos aprovechando la disponibilidad inédita de recursos informáticos y algoritmos de aprendizaje automático avanzados —comenta Andrea Beccari, director general y responsable de [EXSCALATE](#) en la biofarmacéutica [Dompé farmaceutici](#)—. Nuestro objetivo es construir una plataforma de HPC de diseño de fármacos completamente integrada, no para los expertos en codificación, sino para los científicos que la necesiten para corroborar con mayor rapidez sus teorías».

Los miembros del consorcio prometen nada más y nada menos que «la mayor velocidad y la mayor precisión» a los usuarios de su plataforma. En caso de necesidades informáticas apremiantes, una situación que los investigadores experimentaron hace poco con la COVID-19, el sistema incluso ejecutará campañas de descubrimiento de fármacos *in silico* en menos de un día.

En comparación con los sistemas actuales, LIGATE es capaz de considerar la complejidad y las perturbaciones sistémicas globales de una enfermedad. Otra ventaja fundamental de una plataforma de este tipo es la menor necesidad de realizar ensayos con animales.

«Nuestro objetivo es empezar con la identificación de nuevos antiviricos de amplio espectro mediante la evaluación de billones de moléculas contra decenas de dianas víricas funcionales (helicasas, polimerasas, proteasas, etc.) —explica Beccari—. A continuación, se validarán experimentalmente los mejores compuestos».

Si bien los resultados completos del proyecto no verán la luz hasta finales de 2023, los avances de [ANTAREX](#) —que identificó un potente inhibidor del virus de Zika— y [EXSCALATE4CoV](#) —que validó el fármaco antiosteoporótico raloxifeno como un tratamiento eficaz para los procesos inflamatorios inducidos por la COVID-19— auguran sin duda grandes descubrimientos.

*Con MICROCARD, podremos simular muestras de tejido de gran tamaño, con suerte incluso corazones enteros, con geometrías celulares realistas.*

Mark Potse, coordinador del proyecto MICROCARD



#### FICHA DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

**Nombre completo:** Numerical modeling of cardiac electrophysiology at the cellular scale

**Fechas del proyecto:** del 1 de abril de 2021 al 30 de septiembre de 2024

**Coordinado por:** Universidad de Burdeos (Francia)

**Financiado con arreglo a:** Horizon 2020-LEIT-ICT

**Ficha informativa de CORDIS:** [cordis.europa.eu/project/id/955495/es](https://cordis.europa.eu/project/id/955495/es)

**Sitio web del proyecto:** [microcard.eu](https://microcard.eu)

**Presupuesto total:** 5 858 546 EUR

**Aportación de la UE:** 2 777 053 EUR

## MICROCARD

# Modelización celular de un corazón arrítmico

**El proyecto MICROCARD reúne a informáticos, matemáticos e ingenieros biomédicos a fin de ayudar mejor a los pacientes con trastornos del ritmo cardíaco. Se prevé que su nuevo programa informático resuelva muchos problemas inherentes a los modelos matemáticos existentes.**

Casi todo el mundo ha experimentado que su corazón se acelera o un aleteo en el pecho. Para la mayoría de las personas, estas sensaciones serán pasajeras e inofensivas, pero para otras constituyen una prueba de un mal funcionamiento de los impulsos eléctricos que regulan el latido del corazón, una enfermedad potencialmente mortal denominada arritmia cardíaca.

A fin de comprender y tratar mejor esta enfermedad, los cardiólogos emplean modelos matemáticos de electrofisiología que dividen el corazón en grupos, cada uno de los cuales cubre unos pocos cientos de células. Sin embargo, este método tiene limitaciones.

«Estos modelos asumen en esencia que todas las células de cada grupo funcionan más o menos igual. Se trata de un supuesto razonable cuando se observa un corazón sano, en el que el acoplamiento eléctrico entre estas células es firme, pero es incorrecto para corazones cuya estructura esté dañada», comenta Mark Potse, profesor de investigación en Modelización Cardíaca en el [IHU Liryc](#), en Francia, y coordinador del proyecto [MICROCARD](#).

En corazones enfermos con cicatrices de infarto o miocardiopatías diversas, la actividad eléctrica puede acabar en un bucle, lo que puede conllevar que el corazón sufra una arritmia potencialmente mortal. Dado que, en estas circunstancias, el comportamiento individual de cada célula es fundamental, Potse y su equipo, que trabajan bajo los auspicios del proyecto MICROCARD, se han propuesto representar cada una de estas células a través de simulaciones de HPC.

«Ya existían modelos de célula única, pero eran muy simples. Con MICROCARD podremos simular muestras de tejido de gran tamaño, con suerte incluso corazones enteros, con geometrías celulares realistas. No hace falta decir que esto requiere ordenadores mucho más potentes, así como los conocimientos especializados necesarios para usar bien estas máquinas», explica Potse. Hasta el momento, el equipo del proyecto ha creado diferentes componentes básicos de la nueva plataforma.

Docenas de grupos de investigación de todo el mundo emplean modelos matemáticos a diario, por lo que es posible que varios grupos adopten MICROCARD para investigar el comportamiento del tejido dañado y de estructuras cardíacas complejas, como las conexiones entre las fibras cardíacas de Purkinje y el tejido muscular.

*Necesitamos una nueva generación de herramientas de DFC que puedan sacar el máximo partido a los sistemas de 1 exaflop y, más adelante, a los sistemas a exaescala.*

Oriol Lehmkuhl, coordinador del proyecto NextSim



## FICHA DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

**Nombre completo:** CODA: Next generation of industrial aerodynamic simulation code

**Fechas del proyecto:** del 1 de marzo de 2021 al 29 de febrero de 2024

**Coordinado por:** Barcelona Supercomputing Center-Centro Nacional de Supercomputación (España)

**Financiado con arreglo a:** Horizon 2020-LEIT-ICT

**Ficha informativa de CORDIS:** [cordis.europa.eu/project/id/956104/es](https://cordis.europa.eu/project/id/956104/es)

**Sitio web del proyecto:** [nextsimproject.eu](https://nextsimproject.eu)

**Presupuesto total:** 3 978 097 EUR

**Aportación de la UE:** 1 884 705 EUR

## NextSim

# Algoritmos de nueva generación para un sector aeroespacial más competitivo

**El consorcio del proyecto NextSim cree que es hora de que el sector aeroespacial se beneficie de la potencia de la informática de alto rendimiento. Las nuevas herramientas de simulación del proyecto acelerarán la resolución de problemas durante las fases de investigación, desarrollo y prueba de los diseños de aeronaves de nueva generación.**

La creación de prototipos, las campañas de pruebas en túneles de viento y las pruebas de vuelo reales encarecen mucho la investigación y el desarrollo aeroespacial. La replicación de estas pruebas en el espacio digital, un proceso conocido como modelización de dinámica de fluidos computacional (DFC), ha reducido sobre manera los costes de prueba y el plazo de comercialización. Con todo, estos modelos tienen problemas para seguir el ritmo al que aumenta la potencia informática, lo que priva a los fabricantes de aeronaves de los recursos que tanto necesitan.

«Necesitamos una nueva generación de herramientas de DFC que puedan sacar el máximo partido a los sistemas de 1 exaflop y, más adelante, a los sistemas a exaescala, que se espera que estén disponibles en menos de 3 años», comenta Oriol Lehmkuhl, jefe del grupo de [Dinámica de Fluidos Computacional a Gran Escala](#) en el Barcelona Supercomputing Center-Centro Nacional de Supercomputación.

Con [NextSim](#), Lehmkuhl, coordinador del proyecto, y sus socios prometen un conjunto de nuevos algoritmos con mejor convergencia y precisión. «La investigación de NextSim permitirá evaluar y mejorar los algoritmos básicos empleados por los solucionadores de simulación aeronáutica —explica Lehmkuhl—. Nuestro objetivo es que se tarde menos de una hora en completar una simulación de aeronave en tres dimensiones, y que se obtengan en una noche soluciones complejas de simulaciones de resolución de escalas turbulentas inestables en tres dimensiones. Esto permitirá a los diseñadores de aeronaves obtener muchos más resultados optimizados en menos tiempo».

El proyecto surge en un contexto de creciente uso de modelos de DFC y de demanda industrial de simulaciones más grandes y largas. Las herramientas matemáticas actuales adolecen de tiempos de cálculo demasiado amplios para problemas de relevancia industrial. Además, los usuarios han tenido que hacer frente a la falta de fiabilidad y precisión de estas tecnologías en condiciones de vuelo extremas.

«Estas deficiencias impiden la aplicación industrial integral de herramientas virtuales para el diseño y la certificación —puntualiza Lehmkuhl—. Esto no solo atañe a la industria aeronáutica, sino también a otros sectores como el del automóvil, la energía eólica, la propulsión y la fabricación por adición, entre muchos otros».

Uno de los principales objetivos de NextSim consistirá en demostrar sus metodologías para resolver problemas relevantes del mercado definidos por [Airbus](#), empresa socia del proyecto. La investigación del proyecto abordará cuestiones aeronáuticas como la reducción de emisiones, la seguridad, el ruido y el rendimiento, aunque se puede aplicar a cualquier sector que emplee la discretización numérica y la integración de ecuaciones diferenciales parciales en sus diseños.

# Distribución geográfica de la EC EuroHPC

La EC EuroHPC incluye a treinta y un países, que trabajan juntos para desarrollar los recursos de supercomputación de Europa.



Se están instalando ocho superordenadores, entre los que se encuentran tres unidades de prexaescala, y hay más previstos en el futuro, incluidas máquinas de exaescala (que pueden proporcionar miles de petaflops cada una) y ordenadores cuánticos revolucionarios.

# CAPACIDADES DEL SIGLO XXI



*Al trabajar juntos en temas de interés común, los NCC están creando un ecosistema de HPC floreciente, con un intercambio bidireccional entre los niveles europeo y nacional.*

Bastian Koller, coordinador del proyecto EuroCC



#### FICHA DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

**Nombre completo:** National Competence Centres in the framework of EuroHPC

**Fechas del proyecto:** del 1 de septiembre de 2020 al 31 de agosto de 2022

**Coordinado por:** Universidad de Stuttgart (Alemania)

**Financiado con arreglo a:** Horizon 2020-Science with and for Society

**Ficha informativa de CORDIS:** [cordis.europa.eu/project/id/951732/es](https://cordis.europa.eu/project/id/951732/es)

**Sitio web del proyecto:** [eurocc-access.eu](https://eurocc-access.eu)

**Presupuesto total:** 56 329 834 EUR

**Aportación de la UE:** 27 936 679 EUR

## EuroCC

# Ventanillas únicas nacionales para las competencias en HPC

**Los Centros Nacionales de Competencia de EuroCC actúan como centros para promover y facilitar la HPC, así como tecnologías conexas, en múltiples sectores, lo que aumenta el acceso a oportunidades y ofrece soluciones personalizadas para este campo en rápida evolución.**

Si bien con anterioridad se han puesto en marcha iniciativas europeas para alentar la adopción de la HPC, así como tecnologías conexas, muchas priorizan un enfoque nacional, lo que da como resultado un panorama de competencias heterogéneo.

«Para desarrollar de verdad una base de capacidades europeas en HPC competitiva a nivel mundial, con una repercusión evidente en la sociedad, la industria y la excelencia científica, los países europeos deben poseer niveles equiparables de competencias», comenta Bastian Koller, coordinador del [proyecto EuroCC](#), financiado con fondos europeos.

EuroCC ha establecido treinta y tres Centros Nacionales de Competencia (NCC, por sus siglas en inglés), la primera iniciativa dentro de EuroHPC en reunir a tantos países. Cada NCC cuenta con el respaldo de su Estado miembro, incluido el reparto del 50 % de los costes, y se guía por los objetivos de consolidación, integración e intercambio.

Los países identifican primero sus competencias disponibles y, de este modo, pueden maximizar las sinergias para construir carteras de competencias nacionales. Para garantizar que toda la red se beneficie, las actividades a nivel europeo se coordinan a través del proyecto hermano [CASTIEL](#). La red NCC también coopera con organismos externos como los Centros de Excelencia de [ETP4HPC](#) y [PRACE](#).

Dado que algunos países ya se han beneficiado de una importante inversión nacional en HPC, uno de los mayores retos para EuroCC consistió en tipificar los niveles de competencia en toda la red. Para ello, se creó un programa de tutoría y hermanamiento de NCC, financiado por CASTIEL, a fin de compartir conocimientos y capacidades.

Pero, tal y como explicar Koller, «las diferencias ayudan en realidad a destacar áreas específicas para una colaboración de alto impacto y a guiar la trayectoria y la visión colectivas de la red».

Las diferencias también han dado lugar a un catálogo con varias innovaciones probadas y verificadas para los problemas encontrados en la red. Hoy día, el equipo de EuroCC se centra en la formación, la interacción continua con la industria, la identificación de competencias y las comunicaciones. Es más, también está examinando nuevos campos, como la computación cuántica y la inteligencia artificial, en pos de identificar futuros temas prioritarios para los NCC.

«Al trabajar juntos en temas de interés común, los NCC están creando un ecosistema de HPC floreciente, con un intercambio bidireccional entre los niveles europeo y nacional, lo que beneficia a todo el mundo», concluye Koller.

*La HPC puede ayudar ya a las pymes a resolver problemas que antes simplemente no podían abordar, lo que a menudo genera modelos de negocio nuevos.*

Guy Lonsdale, miembro del equipo del proyecto FF4EuroHPC



## FICHA DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

**Nombre completo:** FF4EuroHPC: HPC INNOVATION FOR EUROPEAN SMES

**Fechas del proyecto:** del 1 de septiembre de 2020 al 31 de agosto de 2023

**Coordinado por:** Universidad de Stuttgart (Alemania)

**Financiado con arreglo a:** Horizon 2020-LEIT-ICT

**Ficha informativa de CORDIS:** [cordis.europa.eu/project/id/951745/es](https://cordis.europa.eu/project/id/951745/es)

**Sitio web del proyecto:** [ff4eurohpc.eu](https://ff4eurohpc.eu)

**Presupuesto total:** 9 998 475 EUR

**Aportación de la UE:** 9 998 475 EUR

## FF4EuroHPC

# El acceso a tecnología punta impulsa las empresas

**Al respaldar experimentos que conectan empresas con recursos de HPC, las historias de éxito del proyecto FF4EuroHPC están inspirando a las pequeñas y medianas empresas (pymes) a adoptar tecnologías punteras.**

Las pymes representan el [99 % de todas las empresas europeas](#), por lo que son el pilar de la economía de Europa. Pero para aprovechar las oportunidades que ofrece el ritmo y el alcance de la digitalización, muchas necesitan un mejor acceso a recursos informáticos.

El proyecto [FF4EuroHPC](#), que cuenta con el apoyo de la Unión Europea, ayuda a las pymes a acceder a fondos y conocimientos especializados para aumentar su potencial comercial e impulsar la innovación y la competitividad de Europa.

Guy Lonsdale, que forma parte del equipo del proyecto y cuenta con experiencia en programas informáticos de simulación, ha sido testigo de la evolución del uso de la HPC, desde el diseño asistido por ordenador hasta el análisis de datos de vanguardia y el aprendizaje automático.

«Este campo está alcanzando la madurez conforme los avances tecnológicos convergen con las necesidades empresariales —comenta Lonsdale—. La HPC puede ayudar ya a las pymes a resolver problemas que antes simplemente no podían abordar, lo que a menudo genera modelos de negocio nuevos».

FF4EuroHPC constituye la continuación de dos proyectos financiados con fondos europeos: [Fortissimo](#) y [Fortissimo 2](#). Ambos brindaron apoyo a las pymes a través de convocatorias abiertas para financiar experimentos de dieciocho meses de duración que demostraran los beneficios comerciales de la HPC. Los socios del proyecto apoyaron a los consorcios con acceso a recursos informáticos a través de una infraestructura basada en la nube.

El resultado fueron [setenta y nueve historias de éxito](#) con una amplia gama de innovaciones, desde simulaciones para la aerodinámica de aeronaves ligeras hasta la evaluación de preparados farmacéuticos preexistentes para potenciales tratamientos alternativos a los medicamentos actuales.

Guiado por el mismo enfoque, FF4EuroHPC puso en marcha dos convocatorias de financiación para experimentos de quince meses de duración.

La primera convocatoria resultó en la asignación de 3 millones EUR para 16 propuestas, en las que participaron 53 organizaciones, 27 de las cuales son pymes. La segunda convocatoria destinó casi 5 millones de EUR a la financiación de 26 propuestas, en las que participaron 79 organizaciones, incluidas 47 pymes.

Como antes, las selecciones de FF4EuroHPC representan un amplio espectro de aplicaciones.

«Siempre hay sorpresas con estas convocatorias, como el uso de técnicas de HPC y aprendizaje automático, combinadas con sensores y una plataforma del internet de las cosas, para la cría de gallinas de próxima generación», explica Lonsdale.

Para ayudar a construir un ecosistema de HPC diverso y de rápida evolución, FF4EuroHPC fomenta el intercambio de conocimientos entre experimentos, por ejemplo, a través de seminarios. «Nuestros nuevos experimentos están bien encaminados para ofrecer historias de éxito dirigidas a las empresas más pioneras a fin de fomentar una mayor adopción de la HPC por parte de las pymes europeas», concluye Lonsdale.

*Los estudiantes se graduarán del programa equipados con las capacidades y la confianza que necesitan para impulsar la transformación digital de Europa.*

Pascal Bouvry, coordinador del proyecto EUMaster4HPC



## FICHA DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

**Nombre completo:** European Master for High Performance Computing (EUMaster4HPC)

**Fechas del proyecto:** del 1 de enero de 2022 al 31 de diciembre de 2025

**Coordinado por:** Universidad de Luxemburgo (Gran Ducado de Luxemburgo)

**Financiado con arreglo a:** Horizon 2020-Science with and for Society

**Ficha informativa de CORDIS:** [cordis.europa.eu/project/id/101051997/es](https://cordis.europa.eu/project/id/101051997/es) (esta página estará disponible pronto en el sitio web de CORDIS)

**Sitio web del proyecto:** [eumaster4hpc.uni.lu](https://eumaster4hpc.uni.lu)

**Presupuesto total:** 7 000 000 EUR

**Aportación de la UE:** 7 000 000 EUR

## EUMaster4HPC

# Dominar la ciencia de la informática de alto rendimiento

**Un nuevo programa de máster tiene como objetivo proporcionar a Europa la mano de obra cualificada que necesita para aprovechar las oportunidades de la informática de alto rendimiento.**

La HPC es un componente esencial de la transformación digital de Europa. «La HPC es un campo de investigación y desarrollo en rápido crecimiento que tiene un gran potencial para impulsar el crecimiento económico», comenta Pascal Bouvry, catedrático de la [Universidad de Luxemburgo](#).

Con todo, sacar el máximo partido a la HPC requiere primero disponer de una mano de obra muy cualificada. «Sin profesionales formados en HPC, así como en campos conexos como la ciencia de datos y la inteligencia artificial, Europa se arriesga a perder esta oportunidad única de avanzar en su [Estrategia para el Mercado Único Digital](#)», agrega Bouvry.

Si bien la informática básica y los lenguajes de programación se incluyen en muchos planes de estudios universitarios, estas capacidades no cumplen con las demandas del ecosistema tecnológico de la HPC, que evoluciona rápidamente. Por ello, con el apoyo del [proyecto EUMaster4HPC](#), financiado con fondos europeos, la Universidad de Luxemburgo coordina una iniciativa para desarrollar un Máster de Ciencias Europeas en HPC.

«Nuestro objetivo es reunir toda la experiencia y el conocimiento actuales de las universidades, los centros de investigación, la industria, las empresas, las administraciones públicas y las pymes de Europa y consolidarlos en un único programa de posgrado paneuropeo», explica Bouvry, coordinador del proyecto.

El programa de máster, de dos años de duración, comenzará con un enfoque en los fundamentos de la HPC para, a continuación, pasar a las especializaciones durante el segundo año de estudio. También incluirá una iniciativa de tutoría y unas prácticas en un centro europeo de HPC, un laboratorio de investigación o una empresa. Para completar la titulación, los estudiantes deberán hacer un trabajo de fin de máster y presentarlo ante un comité de expertos.

«Los estudiantes se graduarán del programa dotados con las capacidades y la confianza que necesitan para impulsar la transformación digital de Europa», añade Bouvry.

El nuevo programa de máster se implementará y probará en diferentes universidades europeas de prestigio. Mientras que algunas pruebas utilizarán programas y cursos existentes en HPC, otras usarán material nuevo creado por el proyecto. A partir de estas pruebas, el proyecto se propone crear un enfoque sistemático y coordinado para la formación en HPC que se pondrá a disposición de otras universidades.

# Glosario

**Acelerador:** dispositivo de *hardware* o programa de *software* cuya función principal es mejorar el rendimiento general del ordenador. Existen varios tipos de aceleradores para mejorar diferentes características del funcionamiento de un ordenador.

**Algoritmos:** secuencia finita de instrucciones bien definidas que, por lo general, se emplean para resolver una clase de problemas específicos o para realizar un cálculo. Los algoritmos se emplean en matemáticas e informática para realizar cálculos y procesar datos.

**Aprendizaje automático:** tipo de inteligencia artificial que permite que las aplicaciones de *software* sean más precisas sin estar programadas explícitamente para ello.

**Chip:** dispositivo electrónico que comprende varios elementos funcionales en una sola pieza de material semiconductor, generalmente en forma de memoria, dispositivo lógico, procesador o dispositivos analógicos. También se conoce con el nombre de circuito integrado.

**Códigos de aplicación:** programas informáticos que ejecutan tareas específicas para los usuarios, por ejemplo, resolver un problema numérico.

**Computación cuántica:** utiliza tecnologías cuánticas para calcular millones de posibilidades en paralelo, en lugar de una cada vez como los ordenadores convencionales.

**Computación en nube:** tecnología que permite a los usuarios de internet almacenar o utilizar programas informáticos en un servidor que se ejecuta a través de internet. Se puede acceder a la información almacenada en cualquier dispositivo desde cualquier ubicación, siempre que haya acceso disponible a internet.

**Computación híbrida:** combina lo mejor de las tecnologías informáticas cuánticas y clásicas de alto rendimiento para realizar un número aún mayor de operaciones en paralelo.

**Datos masivos:** grandes cantidades de datos que las aplicaciones tradicionales no pueden procesar. Los datos pueden ser creados por personas o generados por máquinas, como imágenes satelitales, imágenes y vídeos digitales, señales de GPS, etc.

**Ecosistema de HPC:** todos los elementos de la cadena de valor de la informática de alto rendimiento, es decir, las comunidades y las partes interesadas, pero también los sistemas y las tecnologías, los elementos de *software* y *hardware* que sustentan estos sistemas: desde procesadores, aceleradores, programas informáticos, algoritmos y aplicaciones hasta capacidades y conocimientos especializados.

**Inteligencia artificial (IA):** campo de la informática que dota a los sistemas de la capacidad de analizar su entorno y tomar decisiones con cierto grado de autonomía para alcanzar objetivos establecidos. Los sistemas de IA se emplean para realizar tareas complejas de una manera similar a la forma en que los humanos resuelven problemas.

**Procesadores:** circuitos electrónicos que ejecutan las instrucciones que hacen funcionar a un ordenador. Son los componentes básicos de los superordenadores.

**Pymes:** pequeñas y medianas empresas.

**Simuladores cuánticos:** ordenadores cuánticos que emplean bits cuánticos (cúbits) como un conjunto en lugar de abordar cúbits individuales.

**Software:** colección de instrucciones que le dicen a un ordenador cómo trabajar. También conocido como programa informático. Esto contrasta con el *hardware*, a partir del cual se construye el sistema y se realiza el trabajo.

**Superordenadores a exaescala:** máquinas capaces de ejecutar más de  $10^{18}$  (un trillón) de operaciones por segundo. En comparación, un ordenador portátil realiza cerca de mil millones de operaciones por segundo.

**Superordenadores a petaescala:** máquinas capaces de ejecutar más de  $10^{15}$  (mil billones) de operaciones por segundo.

**Superordenadores a preexaescala:** máquinas capaces de ejecutar más de  $10^{17}$  (cien mil billones) de operaciones por segundo.

### **Publicado**

en nombre de la Comisión Europea por CORDIS en la  
Oficina de Publicaciones de la Unión Europea  
2, rue Mercier  
L-2985 Luxemburgo  
LUXEMBURGO

[cordis@publications.europa.eu](mailto:cordis@publications.europa.eu)

### **Coordinación editorial**

Carlos LÁZARO MAZORRIAGA, Paula ESCUDERO DÍAZ

### **Cláusula de exención de responsabilidad**

La información en línea sobre los proyectos y los enlaces publicados en este Projects Info Pack de CORDIS son correctos en el momento de cerrar la edición.

La Oficina de Publicaciones no se considerará responsable de la información que esté obsoleta ni de los sitios web que hayan dejado de funcionar. Ni la Oficina de Publicaciones ni nadie que actúe en su nombre se responsabilizarán del uso que pudiera hacerse de la información contenida en la presente publicación ni de cualquier error que pueda quedar en los textos, pese a la especial atención prestada en su preparación.

Las tecnologías que se presentan en esta publicación pueden estar protegidas por derechos de propiedad intelectual.

**Este Projects Info Pack es una colaboración entre CORDIS y la Empresa Común de Informática de Alto Rendimiento Europea.**



@EuroHPC\_JU



@eurohpc-ju

Print ISBN 978-92-78-42911-9 doi:10.2830/645096 ZZ-01-22-319-ES-C

HTML ISBN 978-92-78-42895-2 doi:10.2830/740921 ZZ-01-22-319-ES-Q

PDF ISBN 978-92-78-42904-1 doi:10.2830/61384 ZZ-01-22-319-ES-N

Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 2022

© Unión Europea, 2022

Reutilización autorizada, con indicación de la fuente bibliográfica.

La política relativa a la reutilización de los documentos de la Comisión Europea fue establecida por la Decisión 2011/833/UE (DO L 330 de 14.12.2011, p. 39).

Cualquier uso o reproducción de fotografías u otro material que no esté sujeto a los derechos de autor de la Unión Europea requerirá la autorización de sus titulares.

Imagen de cubierta: © Unión Europea, 2022



Oficina de Publicaciones  
de la Unión Europea



¡Síguenos también en las redes sociales!

[facebook.com/EUresearchResults](https://facebook.com/EUresearchResults)

[twitter.com/CORDIS\\_EU](https://twitter.com/CORDIS_EU)

[youtube.com/CORDISdotEU](https://youtube.com/CORDISdotEU)

[instagram.com/eu\\_science](https://instagram.com/eu_science)