

Fernando Ballesteros Díaz*

LAS GRANDES INFRAESTRUCTURAS DE INVESTIGACIÓN: SUS OBJETIVOS Y SU PAPEL EN EL PROGRESO TECNOLÓGICO

La investigación requiere hoy instrumentos más sofisticados y una gran capacidad de tratamiento de datos. Por sus características y coste no puede ser asumida por una sola institución e incluso por una Administración Pública Nacional, de ahí que los responsables de la política científica de los países más avanzados optaran hace ya años por colaborar, creando conjuntamente grandes instalaciones o infraestructuras de investigación internacionales donde sus científicos pudieran realizar sus experimentos. La Unión Europea ha impulsado nuevas infraestructuras o ESFRI. Además de facilitar la investigación, la UE impulsa mejoras e innovaciones que los centros y las empresas que trabajan con ellos desarrollan, para hacer posible que los investigadores puedan avanzar más con sus experimentos y supongan un motor de innovación y progreso tecnológico. El artículo repasa las grandes infraestructuras nacionales y las internacionales en las que España participa, analiza cómo se llevan a cabo estas innovaciones o mejoras tecnológicas, y concluye con reflexiones sobre la necesidad de apoyar a las empresas de la industria de la ciencia, subrayando el desarrollo de un papel activo en el ámbito de las infraestructuras de investigación por su papel de motor de progreso técnico e innovación.

Palabras clave: programación científica, desarrollo, tecnología.

Clasificación JEL: H54, O32, O38.

1. El porqué de las grandes infraestructuras de investigación

Tradicionalmente la investigación científica en un país ha sido realizada en las universidades o en centros

creados para alguna tarea específica, generalmente públicos o de fundaciones privadas. A su vez, algunas empresas privadas, en especial en ciertos sectores, instalaban también sus propios laboratorios que, en general, mantenían a su vez relaciones de colaboración con universidades o centros públicos.

A medida que la ciencia avanzaba y los Gobiernos iban asumiendo la importancia que tiene la investigación, se fueron creando, en todos los países desarrollados,

* Doctor en Economía. Subdirector General de Relaciones Internacionales y con Europa. Secretaría de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación. Ministerio de Economía y Competitividad.

instituciones públicas que abarcaban las diferentes disciplinas científicas. En el caso español, a mediados del Siglo XX se creó el Consejo de Investigaciones Científicas, y posteriormente las instituciones que conforman el conjunto de Organismos Públicos de Investigación (OPI).

España tiene en la actualidad una serie de organismos e instalaciones científicas con centros especializados y dedicados a la investigación¹:

- Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), con 123 centros distribuidos por España, de los que 70 son propios y 53 mixtos o asociados a otras instituciones, desarrollando actividades en prácticamente todas las disciplinas científicas.

- Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), con diferentes laboratorios y centros especializados.

- Instituto de Salud Carlos III (ISCIII), centrado en las investigaciones relacionadas con la salud que, además de centros o unidades especializadas (microbiología, epidemiología, medicina tropical, enfermedades crónicas, etc.), creó tres fundaciones, a su vez especializadas: Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO), Centro Nacional de Investigaciones Cardiovasculares (CNIC) y Centro de Investigación de Enfermedades Neurológicas (CIEN).

- Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), con sus diferentes instalaciones.

- Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA).

- Instituto Español de Oceanografía (IEO).

- Instituto Geológico y Minero (IGME).

- Instituto Astrofísico de Canarias (IAC).

A esta relación hay que sumar los diferentes centros o infraestructuras de investigación creados en las últimas décadas por las diferentes comunidades autónomas,

bien en colaboración con la Administración central, con universidades, o bien participadas solo por la comunidad autónoma. En esta amplia lista nos encontramos con centros tan punteros internacionalmente como el Instituto de Física de Altas Energías (IFAE) y el Centro de Regulación Genómica (CRG), ambos en Barcelona, o el Instituto de Física Corpuscular en Valencia (IFIC), entre otros.

El progreso de la ciencia lleva a que la investigación requiera cada vez más instrumentos sofisticados, que por sus características y coste no pueden ser asumidos por una sola institución e incluso por una Administración Pública Nacional. Por otra parte, se requiere manejar cantidades muy elevadas de datos e información, compartiéndolas, y una gran capacidad de computación y almacenamiento de esos datos. Obviamente, estas necesidades varían según el ámbito de la disciplina científica de que se trate pero, en general, ambos componentes están presentes de un modo u otro. Así, en la investigación en materiales o en astronomía los instrumentos y equipos adecuados son fundamentales, con independencia de que el volumen de datos generado deba ser tratado adecuadamente; las investigaciones en temas de salud o medioambiente requieren fundamentalmente trabajar con un amplio número de datos analizados.

Este hecho llevó a que las autoridades responsables de política científica de los países más avanzados optaran, hace ya muchos años, por la opción de colaborar, creando grandes instalaciones o infraestructuras de investigación que, por su elevado coste, resultaban inaccesibles a los presupuestos nacionales de los diferentes países. La investigación en física de partículas, la astronomía, la energía de fusión o la biología molecular vieron así surgir organismos internacionales dedicados a estas tareas.

Por su parte, la Unión Europea, en las dos últimas décadas ha impulsado la dinámica de ir creando un Espacio Europeo de Investigación (ERA, European Research Area) en el que los científicos de los diferentes Estados miembros refuercen su colaboración y trabajo

¹ La Ley 14/2011 de la Ciencia, Tecnología e Innovación define la naturaleza de estos OPI. Para una información más detallada sobre sus actividades, se pueden consultar sus páginas web: www.csic.es; www.ciemat.es; www.isciii.es; www.cnio.es; www.cnice.es; www.fundacioncien.es; www.inta.es; www.inia.es; www.ieo.es; www.igme.es y www.iac.es

conjunto. Para ello era necesario no solo destinar recursos para financiar proyectos de investigación (los siete Programas Marco de I+D y el actual vigente H2020), potenciando la colaboración entre grupos de científicos de diferentes Estados miembros en proyectos, sino también poner a disposición de las comunidades científicas grandes infraestructuras en Europa en las áreas más relevantes. En unos casos creando grandes instalaciones con el equipamiento adecuado y, en otros, potenciando la creación de una red de nodos bajo un *hub* o una unidad central que los coordine. Esta filosofía se tradujo en la creación de las ESFRI (European Research Infrastructures).

Todas estas infraestructuras, a pesar de sus diferencias y dimensión, tienen una serie de características o rasgos comunes: se trata de centros a los que los investigadores tienen el acceso para utilizarlos, en función de la calidad científica de sus proyectos, tratándose de instalaciones en las que se trabaja en la frontera de la tecnología. Lo que resulta no solo crucial para facilitar los avances científicos en las diferentes disciplinas, sino para facilitar el desarrollo tecnológico en general al ir creando instrumentos cada vez más precisos y sofisticados, y un *software* avanzado para el tratamiento de datos.

En los apartados siguientes repasamos, de modo resumido, las diferentes infraestructuras existentes en la actualidad, nacionales e internacionales, en las que España participa o mantiene una estrecha relación; analizamos cómo se llevan a cabo las innovaciones tecnológicas en los instrumentos y aplicaciones; y concluimos con una reflexión sobre el papel que juegan como motores de progreso tecnológico e innovación, con lo que ello supone para la industria y las empresas de servicios avanzados que trabajan en el desarrollo de esas innovaciones.

2. Las grandes infraestructuras nacionales o ICTS

La idea de crear en España infraestructuras potentes con capacidad para ser utilizadas por las diferentes comunidades científicas fue impulsada por la Administración

central contando con el apoyo de las diferentes comunidades autónomas (CC AA). El primer mapa de infraestructuras científicas y técnicas singulares (ICTS) se estableció en 2007 en un trabajo desarrollado por ambas administraciones. Siete años más tarde, en octubre de 2014, ha sido renovado, estableciéndose el nuevo mapa vigente, que comprende una red de instalaciones con las características siguientes:

- Ser instalaciones públicas, teniendo la Administración General del Estado, sola o en colaboración con las CC AA, la titularidad de la infraestructura.

- Estar abiertas a la participación de los grupos de investigadores, que acceden por un proceso de selección de sus proyectos en concurrencia competitiva.

- Son instalaciones «singulares», esto es, juegan un papel relevante en la disciplina en la que trabajan.

- Tener una dimensión mínima, esto es, la inversión realizada en la adecuación de la instalación y su equipamiento está por encima de 10.000.000 de euros.

- Por último, para una instalación científica, allá donde se ubique, el ser calificada como ICTS le permite beneficiarse de financiación del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) en los procesos de modernización o renovación de los equipos o instalaciones.

En cuanto a su configuración o naturaleza las ICTS pueden ser de varios tipos:

- Con una única infraestructura centralizada, como por ejemplo un sincrotrón.

- Una red de instalaciones, como lo es la red de centros de supercomputación.

- Una infraestructura distribuida con diferentes nodos o centros, como por ejemplo la red de imagen biomédica.

- A su vez, puede tratarse de un centro o institución, o de una plataforma o unidad específica dentro de una institución, o en el caso de las distribuidas con nodos, estos pueden ser unidades o plataformas de distintos centros.

El conjunto actual de ICTS, o para ser más preciso, el mapa de ICTS, está compuesto por 29 ICTS que comprenden 59 infraestructuras distribuidas por todo

el territorio nacional. Abarcan las siguientes disciplinas o áreas temáticas: astronomía y astrofísica; ciencias del mar, de la vida y de la tierra; ciencias de la salud y biotecnología; tecnologías de la información y las comunicaciones; energía; ingeniería; materiales; y ciencias socioeconómicas y humanidades. De modo muy resumido, comprende las siguientes instalaciones en las diferentes materias²:

Área de astronomía y astrofísica

Las diferentes infraestructuras se integran en la Red de Infraestructuras de Astronomía (RIA), creada en 2007 y que desarrolla un papel de coordinación, a efectos de optimizar su utilización y también de seguir los proyectos que se desarrollan con el programa científico de la Agencia Espacial Europea (ESA) y los telescopios del Observatorio Europeo Austral (ESO, por sus siglas en inglés). Las infraestructuras que forman parte de ella son:

- Gran Telescopio de Canarias (GTC). Operativo desde 2009 y propiedad de la sociedad pública GRANTECAN (formada por la Administración central y la Comunidad Autónoma de Canarias), dispone de una superficie de 36 segmentos hexagonales que proporcionan una capacidad de recepción equivalente a la de un espejo circular de 10,4 m de diámetro, con una excelente calidad de imagen.
- Observatorios de Canarias (OO CC). Formados por el observatorio de Roque de los Muchachos en la isla de La Palma, y el observatorio del Teide. Pertenecen al Instituto de Astrofísica de Canarias, y se centran en la astrofísica nocturna y solar, visible e infrarroja.

Aunque no pertenecen al mapa de ICTS nacionales, se localizan también en Canarias otros telescopios fruto de la colaboración del Instituto Astrofísico de Canarias con otras instituciones de otros países, como

por ejemplo, el telescopio MAGIC y el Isaac Newton, ambos también en la isla de La Palma, y otros.

- Observatorio de Calar Alto (CAHA). Localizado en la Sierra de Almería, es, después de los anteriores, la segunda localización más importante de astronomía del hemisferio norte. Cuenta con tres telescopios, más detectores de rayos gamma y diversa instrumentación.

- Radiotelescopio IRAM 30M. Localizado en el Pico Veleta en Sierra Nevada, Granada. El Instituto de Radioastronomía Milimétrica es uno de los telescopios de ondas milimétricas más sensible del mundo. Es el resultado de la cooperación entre el Observatorio nacional perteneciente al Instituto Geográfico Nacional, el CNRS francés y el Max Planck alemán.

- Observatorio de Yebes. Localizado en la provincia de Guadalajara, pertenece al Observatorio Astronómico Nacional. Comprende varios radiotelescopios y otro instrumental, y enlaza con la red europea de interferometría de muy larga base.

- Observatorio Astrofísico de Javalambre. Localizado en la provincia de Teruel y actualmente en proceso de construcción, pertenece al Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón (CEFCA). Tiene dos telescopios con espejos y diferente instrumental.

- Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC). Con un equipamiento e instalaciones renovadas en 2010, este laboratorio se dedica a la detección y estudio de los neutrinos y la materia oscura. Pertenecer a un consorcio formado por la Administración central, el Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza.

Área de ciencias del mar, de la vida y de la tierra

La Red de Infraestructuras Marinas (RIM) se crea en 2008 para impulsar la investigación y conocimiento en este ámbito y comprende dos infraestructuras:

- Plataforma Oceánica de Canarias (PLOCAN). Pertenecer a un consorcio formado por la Administración central y la Comunidad Autónoma de Canarias. Dispone de una plataforma oceánica en mar abierto a una milla de la costa, así como otros instrumentos. Uno

² Puede encontrarse más información en *Mapa de infraestructuras científicas y técnicas singulares* (ICTS). Ministerio de Economía y Competitividad, Madrid 2015. También da referencia de la página web de cada centro.

de los ámbitos de su investigación es la energía renovable marina. PLOCAN a su vez es nodo de la infraestructura europea EMSO y participa en otras ESFRI.

- Sistema de Observación Costero de las Islas Baleares (SOCIB). También pertenece a un consorcio de la Administración central y la Comunidad Autónoma de Baleares, y se centra en la observación, recolección y gestión de datos generados en el mar Mediterráneo occidental. Participa, junto con el Instituto Oceanográfico, en la ESFRI EURO-ARGO, que engloba la participación europea en el sistema mundial ARGO de obtención y gestión de datos de los mares.

- Flota Oceanográfica Española. Compuesta por diez buques de los cuales uno pertenece a la Armada, tres al CSIC, cinco al Instituto Oceanográfico y uno a SOCIB. Dan servicio a las campañas de investigación que en el verano austral se llevan a cabo en el Ártico y el Antártico, y el resto del año en el Atlántico, Pacífico y Mediterráneo.

- Bases Antárticas Españolas (BAE). Son dos: la Base Antártica Juan Carlos I, localizada en la isla Livingston y gestionada por el CSIC; y la Base Antártica Gabriel de Castilla, en la isla Decepción en las Shetland del Sur, a 100 km de la Antártida y gestionada por el Ejército de Tierra. Equipadas con laboratorios de meteorología, geología y biología, proporcionan el soporte técnico y logístico para el desarrollo de las actividades científicas en la Antártida.

- Reserva Biológica de Doñana (RBD). Gestionada por la Estación Biológica de Doñana (EBD) perteneciente al CSIC, es un centro de referencia que dispone de laboratorios y sistemas de detección y control de la biodiversidad.

- Plataformas Aéreas de Investigación (PAI). Gestionada por el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial tiene instrumental acoplado en dos aviones, uno para la investigación atmosférica (medidas físico-químicas, partículas, ozono,...), y otro para la observación de la Tierra (imágenes hiperespectrales georreferenciadas con información de temperatura, radiancia, etc.).

Área de ciencias de la salud y biotecnología

- Infraestructura Integrada de Producción y Caracterización de Nanomateriales, Biomateriales y Sistemas en Biomedicina (NANBIOSIS). Se trata de una infraestructura distribuida que agrupa dos centros, que a su vez agrupan 27 unidades de investigación localizadas en distintos lugares de España. A efectos de coordinación están organizadas en diversas plataformas según su especialización. Los centros son:

- Centro de Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBERBBN), dependiente del Instituto de Salud Carlos III, que dispone de 20 unidades que trabajan en estos campos (producción de biomoléculas, biomateriales y nanomateriales para aplicaciones biomédicas), y otras actividades vinculadas.

- Centro de Cirugía Mínima Invasión Jesús Usón (CCMIJU), ubicado en Cáceres, y que dispone de siete unidades que trabajan en las tecnologías de cirugías mínimamente invasivas.

- Infraestructura Integrada de Tecnologías Ómicas (IOT). Infraestructura distribuida que agrupa dos centros que trabajan en cuantificar el conjunto de elementos que componen los sistemas biológicos, es decir, el ADN, proteínas, marcadores, etcétera. Son:

- Plataforma de genómica del Centro Nacional de Análisis Genómico (CNAG). Centro creado por la Administración central y la Generalitat de Catalunya ha sido absorbido en 2015 por la fundación Centro de Regulación Genómica, institución creada por los mismos socios y que es puntera en este ámbito. La plataforma se centra en la identificación de genes responsables del cáncer, enfermedades infecciosas y otras.

- Plataforma de metabolómica del Centro de Ciencias Ómicas. El Centro de Ciencias Ómicas (COS) depende de la Universidad Rovira i Virgili y aplica tecnologías en proteómica y metabolómica para mejorar el conocimiento y las aplicaciones en el ámbito de la salud, la alimentación animal y humana, y los medicamentos, analizando los mecanismos bioquímicos implicados.

- Red Distribuida de Imagen Biomédica (ReDIB). La integran dos centros:

- Infraestructura de Imagen Traslacional Avanzada (TRIMA). Ubicada como una unidad dentro del Centro Nacional de Investigaciones Cardiovasculares Carlos III, tiene tres plataformas: una de imagen molecular y funcional, otra de imagen avanzada, y otra de imagen de alto rendimiento. Ofrece imágenes de alta precisión en varias dimensiones y permite desarrollar aplicaciones, mejorando el estudio de enfermedades y patologías cardiovasculares.

- Plataforma de Imagen Molecular y Funcional de CIC-biomaGUNE. Es una instalación dentro del Centro de Investigación Cooperativa en Biomateriales (CIC-biomaGUNE), ubicado en San Sebastián. Se centra en la investigación en el ámbito preclínico y en el desarrollo de aplicaciones en imagen molecular y nanomedicina.

- Red de Laboratorios de Alta Seguridad Biológica (RLASB). Comprende dos laboratorios de alta seguridad, de titularidad pública:

- Laboratorio de Alta Seguridad Biológica del Centro de Investigación en Sanidad Animal (CISA). Depende del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, y está ubicado en la provincia de Madrid. Cuenta con 40 laboratorios, salas y animalario, y cumple con los niveles elevados de contención biológica fijados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Mundial de Sanidad Animal. Se centra en el estudio y prevención de enfermedades infecciosas.

- Laboratorio de Alta Seguridad Biológica del Centre de Recerca en Sanitat Animal (CReSA). Es una fundación pública creada por la Universidad Autónoma de Barcelona y el Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentaria de Catalunya. Tiene instalaciones que cumplen con los altos niveles de calidad fijados y se centra en la sanidad animal y sus consecuencias para la salud pública.

- Laboratorio de Resonancia Magnética Nuclear (LRB). Dependiente de la Universidad de Barcelona, dispone de espectrómetros de resonancia magnética avanzados y otros equipos para el estudio de la estructura y

dinámica de biomoléculas, biología funcional, fármacos, y otros elementos y materiales.

Área de tecnologías de la información y de las comunicaciones (TIC)

- Red Española de Supercomputación Ampliada (RES). Es una infraestructura distribuida que agrupa a varios supercomputadores localizados en diversos puntos de la geografía española, y que aportan capacidad de computación y acceso con una capacidad de procesamiento muy elevada al servicio de la I+D. Son estos:

- Centro Nacional de Supercomputación (BSC-CNS). Sus socios son la Administración central, la Generalitat de Catalunya y la Universidad Politécnica de Cataluña. Tiene dos máquinas muy potentes: Mare Nostrum y Minotauro, que ofrecen *High Performance Computing* (HPC), así como asesoramiento técnico al conjunto de la Red. Solo MareNostrum proporciona 1,1 Pflops de capacidad de cálculo. Un 24 por 100 de la capacidad de utilización de MareNostrum y un 60 por 100 de Minotauro son aportados a la RES. Es también uno de los cuatro grandes nodos de la ESFRI PRACE, que aporta capacidad de supercomputación a la UE.

- Centro de Supercomputación y Visualización de Madrid (CesViMa). Perteneciente a la Universidad Politécnica de Madrid. Un 20 por 100 de la capacidad de su máquina principal, Magerit, es aportada a la RES.

- Supercomputador Altamira en la Universidad de Cantabria (UC). Ubicado en el Instituto de Física de Cantabria (IFCA), depende de la Universidad de Cantabria y del CSIC. Contribuye a la RES con un 20 por 100 de su capacidad. Al mismo tiempo el IFCA forma parte de la arquitectura y red de computación del CERN, como Tier 2 (ver apartado 3).

- Supercomputador La Palma, del Instituto de Astrofísica de Canarias. Aunque proporciona fundamentalmente capacidad y servicio a los observatorios astronómicos de Canarias, aporta un 50 por 100 de su capacidad a la RES.

— Supercomputador Atlante, del Instituto Tecnológico de Canarias (ITC), que proporciona supercomputación a las instituciones y empresas de Canarias, aportando un 30 por 100 de su potencia de cálculo a la RES.

— Supercomputador Tirant, de la Universidad de Valencia (UV). Aporta un 50 por 100 de su capacidad a la RES.

— Supercomputador Picasso, de la Universidad de Málaga (UMA). Está instalado en el Parque Tecnológico de Málaga, y aporta un 27 por 100 de su capacidad a la RES.

— Supercomputador Caesaraugusta, de la Universidad de Zaragoza (UNIZAR), ubicado en el Instituto de Biocomputación Física de Sistemas Complejos. Aunque centra su actividad en bioquímica y biofísica, aporta un 20 por 100 de su capacidad a la RES.

— Infraestructura de computación del Consorci de Serveis Universitaris de Catalunya (CSUC). Este Consorcio lo componen diez universidades y la Generalitat. Aporta un 20 por 100 de su capacidad a la RES.

— Supercomputador Finis Terrae del Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA). Sus socios son la Xunta de Galicia y el CSIC. Aporta un 20 por 100 de su capacidad a la RES.

- Red académica y de investigación española (RedIRIS). Creada en 1988 para dar servicio a las universidades y centros científicos se ha adaptado y actualizado, disponiendo en la actualidad de una red troncal de fibra oscura de 12.000 km enlazados con 60 puntos de presencia. A ello se añade su integración con la Red europea académica y científica GEANT a cuyo mantenimiento contribuye. Hoy trabajan con RedIRIS más de 500 instituciones.

Área de energía

- Plataforma Solar de Almería (PSA). Situada en la Sierra de Almería, pertenece al Instituto de Energías Renovables del CIEMAT, y centra su actividad en las

tecnologías solares de concentración, desalación y fotoquímica, disponiendo de instalaciones de ensayo.

- Laboratorio Nacional de Fusión (LNF). Integrado en el CIEMAT, en Madrid, sus instalaciones se centran tanto en el estudio del plasma generado en los procesos de fusión como en las propias tecnologías para construir y operar los reactores de fusión. Participa activamente en el Proyecto ITER a través de F4E (ver apartado 3), así como en el Acuerdo Broader Approach UE-Japón, y en IFMIF, piezas importantes del anterior.

Área de ingeniería

- Infraestructuras Agregadas para la Investigación Hidráulica Marítima (MARHIS). Es una infraestructura distribuida para el análisis de innovaciones y avances en la ingeniería hidráulica. Mantiene dos centros:

- Gran Tanque de Ingeniería Marítima de Cantabria (GTIM-CCOB). Situado en el Parque Científico y Tecnológico de Cantabria, dispone de tecnologías de generación de oleaje, corrientes, y modificaciones en parámetros que permiten hacer ensayos de estructuras, equipos, dispositivos y materiales.

- Infraestructuras Integradas Costeras para Experimentación y Simulación (iCIEM). Perteneciente al Laboratorio de Ingeniería Marítima de la Universidad Politécnica de Cataluña, tiene varias instalaciones en diferentes puntos de la costa. Dispone de canales de oleaje, de unidades de observación y simulación.

Área de materiales

- Sincrotrón ALBA. Ubicado en el Parque Tecnológico de Cerdanyola del Vallès, es propiedad de un consorcio cuyos socios son la Administración central y la Generalitat de Catalunya. Es un conjunto de aceleradores que producen luz sincrotrón, que es accesible desde 31 puertos o líneas. En ellos se realizan investigaciones de materiales, ciencias de la vida, y otros ámbitos.

- Red de Salas Blancas de Micro y Nano fabricación (Micronanofabs). Es una infraestructura distribuida compuesta por tres centros que dan servicios a la comunidad de microelectrónica, nanofotónica y optoelectrónica. Son:

- Sala Blanca Integrada de Micro y Nano fabricación del Centro Nacional de Microelectrónica del CSIC (SBCNM). Es parte del Instituto de Microelectrónica de Barcelona y dispone de una superficie de 1.500 m² equipada para trabajar con distintos procesos de fabricación.

- Central de Tecnología del Instituto de Sistemas Optoelectrónicos y Microtecnología de la UPM (CT-ISOM). Perteneciente a la Universidad Politécnica de Madrid, dispone de 400 m² de salas limpias y 500 m² de laboratorios equipados.

- Infraestructura de Micro y Nano fabricación del Centro de Tecnología Nanofotónica de la UPV (NF-CTN). Ubicada en la Universidad Politécnica de Valencia, dispone de 500 m² de salas equipadas para fabricación.

- Infraestructura Integrada de Microscopía Electrónica de Materiales (ELECMI). Es una infraestructura distribuida con instalaciones avanzadas de microscopía, compuesta por dos centros:

- Centro Nacional de Microscopía Electrónica (CNME). Perteneciente a la Universidad Complutense de Madrid dispone de equipamiento con tecnologías muy avanzadas.

- Laboratorio de Microscopías Avanzadas (LMA). Dependiente del Instituto de Nanociencia de Aragón y vinculado a la Universidad de Zaragoza, dispone de equipamiento y laboratorios.

- Centro de Láseres Pulsados Ultracortos Ultraintensos (CLPU). Se encuentra en el Parque Científico de la Universidad de Salamanca. Está financiado por la Administración central, la Junta de Castilla y León y la Universidad. Su tecnología de disparos a altísima velocidad en breves intervalos con alta potencia permite hacer mediciones y control de procesos en campos como los materiales, la nanotecnología, la cirugía, la física en general, y otros.

- Centro Nacional de Aceleradores (CNA). Participado por la Universidad de Sevilla, la Junta de Andalucía y el CSIC. Está situado en la Isla de la Cartuja, dispone de tres aceleradores y otro instrumental que permite la investigación en diferentes campos como la física e instrumentación nuclear, la biomedicina o las ciencias ambientales.

Área de ciencias socioeconómicas y humanidades

- Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución humana (CENIEH). Ubicado en Burgos, es un consorcio participado por la Administración central y la Junta de Castilla y León. Es responsable de la gestión y conservación de los yacimientos de Atapuerca y tiene laboratorios para la investigación sobre la evolución del hombre.

3. Las infraestructuras internacionales

En este apartado se recogen aquellas infraestructuras constituidas como organismo u organización internacional, sometidas por tanto a normas de derecho internacional, y de las que forman parte como miembros o asociados diferentes Estados, entre ellos España. En general, todas fueron creadas hace más de 20 años, aunque la incorporación de España en muchos casos es posterior. No se consideran dentro de esta categoría de infraestructura, y por tanto no se incluyen en este apartado, los grandes proyectos o programas como los de la Agencia Espacial Europea u otros.

Todas las infraestructuras tienen en común que han sido creadas para que los investigadores de los Estados miembros puedan utilizarlas o participar en sus trabajos, seleccionando su utilización de acuerdo con criterios de excelencia científica en el marco de concurrencia competitiva, y manteniendo siempre una cierta proporción entre el número de usuarios y la participación del país en la financiación de la

infraestructura. España participa como miembro en las más relevantes, que son³:

- CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire).

— Es un gran laboratorio creado en 1956 para desarrollar la colaboración en Europa en la investigación de la formación de la materia y las leyes que regulan sus procesos. Con sede en Ginebra, pertenecen a él 22 Estados miembros más tres asociados y acuden a sus instalaciones más de 12.000 investigadores de más de 600 instituciones de todo el mundo. Allí se reproducen las condiciones que se dieron en el Universo en los primeros segundos después del *Big Bang* cuando la materia se formó, estudiando el proceso.

— Con imanes superconductores enfriados a la temperatura de -271°C , cerca del cero absoluto, el Gran Colisionador de Hadrones (LHC por sus siglas en inglés) es capaz de hacer circular partículas simultáneamente en direcciones opuestas en tubos de vacío ultra alto y a velocidad cercana a la de la luz. Los haces se enfrentan en cuatro puntos concretos, y una parte de los millones de partículas que circulan colisionan provocando pequeñas explosiones igual a las que se produjeron durante el *Big Bang*. Estas explosiones generan un calor cercano al del sol, registrándose estos choques entre partículas en los cuatro grandes detectores de los experimentos: ATLAS, CMS, LHCb y ALICE. Equipos detectores de altísima precisión registran esos impactos, y con los datos registrados (más de 600 millones de impactos por segundo), se estudia el comportamiento de las partículas y las leyes que rigen la formación de la materia. El bosón de Higgs, descubierto en 2012 y que motivó la concesión del Premio Nobel, es precisamente uno de los elementos dentro de esas leyes, cuya existencia era defendida por la teoría y cuya evidencia ha sido encontrada por el CERN.

— Aparte del LHC y los cuatro grandes experimentos, tiene otras instalaciones con instrumentos que desarrollan investigación en el ámbito de la física nuclear y aplicaciones médicas, neutrinos, futuros aceleradores, etc.

— Una cuestión que reviste una especial importancia es la arquitectura del sistema de computación que permite el registro, almacenamiento y tratamiento de esa cantidad ingente de datos. Con un primer nivel o Tier 0 compuesto por supercomputadores ubicados en Ginebra y Budapest, hay un segundo escalón Tier 1, formado por 13 supercomputadores ubicados en países distintos, que a su vez cuentan detrás con un tercer escalón Tier 2. En España está un Tier 1 en el Port d'Informació Científica (PIC) de la Universidad de Barcelona. El Tier 2 en España está formado por los computadores del IFCA, CIEMAT, IFIC, Universidad de Santiago y de Barcelona.

— El presupuesto anual del CERN asciende a unos 1.000 millones de euros/año, aportado en un 90 por 100 por los Estados miembros. Con ello se financia, entre otros, el LHC, los restantes experimentos y actividades, y como un 20 por 100 de los cuatro grandes experimentos en torno al LHC. El 80 por 100 restante lo soportan el conjunto de instituciones y centros de todos los países que lo forman, en función de su participación. Su aportación es en parte en metálico y en parte en especie (*in kind*).

- ESO (European Southern Observatory).

— Principal organización de astronomía en el mundo, tiene grandes telescopios ópticos y de radio en el desierto de Chile, instalados en cuatro ubicaciones, por encima de los 2.600 metros. En ellas se encuentran una serie de telescopios de gran precisión centrados cada grupo de ellos en diferentes objetivos: Paranal, con un conjunto de telescopios ópticos; La Silla, de más antigüedad; Armazones, donde está en construcción el EELT que, con sus 40 metros de diámetro de superficie de espejos hexagonales, será el más grande telescopio óptico del mundo; y Chajnantor, donde está ALMA, el mayor radiotelescopio con un conjunto

³ Para más información sobre las diferentes infraestructuras, consultar: www.cern.ch; www.eso.org; www.esrf.eu; www.ill.eu; www.iter.org; www.fusionforenergy.europa.eu; www.embl.org; www.inl.int; www.efi.int; www.gbif.org; www.sesame.org.jo; www.iidp-icdp.es; www.auger.org

de 66 antenas conectadas por interferometría, a 5.000 metros de altitud. En esta última instalación participan, junto a los miembros de la ESO, EE UU, Japón, Canadá, Taiwán y Corea. Adicionalmente está en negociaciones con la ESFRI CTA para la posible ubicación de unos telescopios de esta en la zona entre Paranal y Armazones.

— Tiene 15 Estados miembros, más Brasil en proceso de incorporación, Chile con un acuerdo especial como país sede, y varios Estados negociando su entrada.

- ESRF (European Synchrotron Radiation Facility).

— Funcionando desde 1994 en Grenoble, es un gran sincrotrón que produce radiación electromagnética que permite a través de sus diferentes líneas recibir el haz y desarrollar experimentos con materiales, elementos biomédicos, y una amplia gama de aplicaciones.

— Tiene nueve Estados miembros y otros asociados.

- ILL (Institute Max von Laue-Paul Langevin).

— Ubicado también en Grenoble, muy cerca de la anterior, es una fuente de neutrones para el análisis de materiales.

— Pertenece a una sociedad sin ánimo de lucro de la que son socios Francia, Alemania y Reino Unido. España, al igual que otros 11 países, mantiene un acuerdo de participación para que los investigadores accedan a horas de haz.

- ITER (*The Way to New Energy*).

— Es el gran proyecto mundial para el desarrollo de la generación de energía por fusión nuclear y su viabilidad tecnológica. Participan en él la UE más Suiza, EE UU, Japón, Corea, Rusia e India. En total 35 países. Dado que hay un reparto entre las partes sobre lo que se aporta a la construcción, los países europeos se agrupan en la institución Fusion for Energy (F4E), con sede en Barcelona, que selecciona, contrata y canaliza estas aportaciones.

— Está aún en fase de construcción ubicándose en Cadarache, Francia, y por su complejidad técnica y también organizativa es un proyecto que aún tardará

unos años en estar operativo. El tema central de la construcción en Cadarache es el Tokamak, o máquina innovadora que, absorbiendo el calor de la fusión nuclear que se producirá en su interior, permitirá convertir este en electricidad.

— En paralelo a esta construcción se desarrollan otros proyectos para investigar y experimentar sobre los materiales de las instalaciones futuras de generación. Se trata del proyecto Broader Approach y del IFMIF, ambos liderados por Japón, pero en los que España juega un papel tecnológico importante, especialmente en el primero. En IFMIF está pendiente de decisión la futura ubicación de la instalación IFMIF-DONES para la experimentación y testado de materiales.

- EMBL (European Molecular Biology Laboratory).

— Creado por un tratado internacional y con sede en Heidelberg, Alemania, y subsedes en Reino Unido, Francia, Italia y Alemania, tiene un conjunto de laboratorios donde trabajan grupos de investigación en los campos más avanzados de la biología y la bioquímica. Está en proceso de creación una sede en España que se ubicará en Barcelona, en las instalaciones del Centro de Regulación Genómica, que viene manteniendo una unidad mixta de investigación con el EMBL desde hace unos años.

- INL (International Iberian Nanotechnology Laboratory).

— Creado por España y Portugal para ser centro de referencia en nano, y ubicado en Braga, Portugal, dispone de un instrumental e instalaciones con capacidad para convertirse en un gran centro. De hecho tras un período de *impasse* por limitación de recursos, una vez terminada la construcción, hoy está en fase de expansión, desarrollando proyectos propios y proyectos en colaboración con diferentes instituciones y empresas españolas, portuguesas y de otros países.

— Sus ámbitos de especialización son la nanomedicina, agua y medioambiente, microelectrónica y energía.

- EFI (European Forest Institute).

— Desarrolla investigaciones en el ámbito de los bosques y la política forestal. Con sede en Finlandia

tiene una subselección en Barcelona. Tiene 25 Estados miembros y trabajan como asociadas 120 instituciones de 35 países.

- GBIF (Free and Open Access to Biodiversity Data).

— Creada por un acuerdo internacional, está formada por una red de nodos en sus 38 Estados miembros y 16 asociados, una de cuyas misiones es ir volcando los datos sobre biodiversidad, y los inventarios de especies, fundamentalmente del mundo vegetal, que mantiene archivados en una gran base de datos. Esta es accesible libremente y de modo gratuito por todos los investigadores. Ello le permite ofrecer información sobre más de 1.500.000 de especies.

— En España el nodo se ubica en el Real Jardín Botánico de Madrid, del CSIC, siendo uno de los nodos más prestigiosos y activos de la organización por su actividad, y papel de soporte y apoyo a otros países.

- SESAME (Synchrotron-light for Experimental Science and Applications in the Middle East).

— Surgido a mediados de los años noventa como una iniciativa de colaboración internacional en la que ubicar un sincrotrón que se daría de baja en Alemania, siendo el embrión de la instalación, el proyecto contó con el apoyo de la UNESCO, iniciándose su construcción en 2003.

— Con sede en Jordania, son miembros nueve países de la zona, incluidos entre otros Israel y la Autoridad Palestina, y observadores otros ocho, más la UE, la UNESCO y el CERN. Al ser España observador tiene acceso a participar en las licitaciones de equipos e instrumentos necesarios para la construcción.

— Sus campos de aplicación cubren muchos dominios de la ciencia y tecnología (química, biología, medicina, materiales, arqueología, física, energía y aplicaciones medioambientales). Mantiene relaciones de colaboración con otros grandes sincrotrones en Europa, como el sincrotrón ALBA de España.

- IODP/ICDP (Integrated Ocean Drilling Program/International Continental Scientific Drilling Program).

— Realmente se trata de dos acuerdos jurídica y funcionalmente distintos aunque mantienen aspectos

en común. En ambos casos se trata de acuerdos internacionales por los que se pone a disposición de los Estados miembros una infraestructura o medios para realizar campañas de investigación.

— En el caso de IODP, son dos barcos de perforación que permiten hacer sondeos en los fondos marinos a gran profundidad en la corteza terrestre del fondo, obteniendo muestras que luego se depositan en una litoteca para ser analizados. En el caso de ICDP los sondeos son terrestres por lo que los equipos también lo son.

- Pierre Auger Observatory.

— Ubicado en Argentina, cerca de Mendoza, es un observatorio para la detección de rayos cósmicos de alta energía y su impacto en la entrada de la atmósfera, con una red de detectores desplegada en una superficie de unos 3.000 km².

— Construido entre 2004 y 2008, con gran apoyo de EE UU, tiene 16 países miembros, de ellos cuatro latinoamericanos (Argentina, Brasil, Colombia y México en calidad de asociado), junto a EE UU, Australia, Italia, Francia y España, entre otros. Actualmente está siendo reconsiderado por algunos miembros.

4. Las ESFRI de la Unión Europea

El Consejo de la UE adoptó en 2007 la Hoja de Ruta de las ESFRI, que recogía 48 iniciativas de infraestructuras que eran consideradas entonces de interés prioritario, y por tanto debería impulsarse su creación. En unos casos se trataba de instalaciones únicas o centralizadas, por ejemplo, una fuente de espalación; si bien, en su gran mayoría, se trataba de crear una red de nodos, uno por Estado miembro, con un *hub* central, que aglutinara y pusiera en común el conocimiento y las experiencias desarrolladas en los distintos centros de los diferentes Estados miembros; por ejemplo, en materia de ensayos clínicos, bases de datos genómicas o investigación marina. Por último, había también e-Infraestructuras, centradas en la computación y el tratamiento y acceso a la información.

Para su constitución, los Estados miembros interesados tenían que expresar su intención de participar en el trabajo de constitución, siendo uno de ellos quien liderara el proceso. La Comisión Europea destinaba recursos para el proceso de creación que implicaba, desde la definición del ámbito de actividad o alcance de la infraestructura, al papel de los nodos si era distribuida, el modelo de gobernanza, el presupuesto, la distribución de aportaciones en metálico o *in kind* en su caso, y la estructura jurídica.

A estos últimos efectos, y para unificar la figura legal que deberían tener estas infraestructuras, la UE creó la figura del Consorcio de Investigación (ERIC)⁴, como estructura legal. Se trata de una institución con personalidad jurídica, sin ánimo de lucro, y unas normas de funcionamiento y gobernanza.

En 2014 y 2015 se ha llevado a cabo un proceso de revisión para actualizar esa Hoja, priorizando y apoyando económicamente la Comisión a aquellas infraestructuras consideradas más importantes y con dificultades de implementación. El mapa actual es el siguiente⁵:

Área de ciencias biológicas y médicas

- ELIXIR (European Life Science Infrastructure for Biological Information).

⁴ Reglamento del Consejo 723/2009 de 25 de junio de 2009. DOUE de 08-08-2009.

⁵ Para más información pueden consultarse las diferentes webs: www.elixir-europe.org; www.eurobioimaging.eu; www.eu-openscreen.eu; www.eatris.eu; www.ecrin.org; www.bbmri-eric.eu; www.embrc.eu; www.structuralbiology.eu; www.infrafrontier.eu; www.mirri.org; www.erinha.eu; www.project.isbe.eu; www.anaee.com; www.plant-phenotyping.org/about_emphasis; www.lifewatch.eu; www.euro-argo.eu; www.iagos.org; www.icos-ri.eu; www.emso-eu.org; www.epos-eu.org; www.sios-svalbard.org; www.eiscat3d.se; www.actris.eu; www.danubius-ri.eu; www.prace-ri.eu; www.cta-observatory.org; www.skatelescope.org; www.eso.org/public/teles-instr/e-elt; www.est-east.eu; www.km3net.org; www.fair-center.de; www.eli-laser.eu; www.ganil-spiral2.eu; www.europeanspallationsource.se; www.xfel.eu; www.ill.eu; www.esrf.eu; www.emfl.eu; www.cern.ch; www.eusolaris.eu; www.eccsel.org; www.myrrha.skcn.be; www.cad.cea.fr/rjh; www.windscanner.eu; www.europeansocialsurvey.org; www.share-project.org; www.clarin.eu; www.dariah.eu; www.cessda.net y www.e-rihs.eu

— Lanzada como un programa del EMBL, bajo la forma legal de consorcio y no de ERIC, su objetivo es el almacenamiento, gestión, distribución y explotación de la información biológica acumulada de forma muy fragmentada en Europa, con objeto de apoyar la investigación en ciencias de la vida y conseguir una mejor y rápida traslación a la medicina, medioambiente, agricultura, y bioindustria. Para ello, eliminará barreras de acceso, introduciendo estándares y condiciones de interoperabilidad y computación flexible.

— Tiene sede en Hinxton, Reino Unido, en el Instituto de Bioinformática, que alberga una subsección del EMBL, y tiene 13 miembros. España y Francia se han adherido como miembros provisionales, estando dos más en proceso de firma.

- EURO-BIOIMAGING (European Biomedical Imaging Infrastructure).

— Infraestructura distribuida cuyo objeto es facilitar el acceso a tecnologías de imagen en biología y medicina. En proceso de constitución como ERIC estará formada por nodos con un *hub* central que además de la coordinación prestará servicios de formación y apoyo técnico. Están interesados en participar 14 países más el EMBL, y tendrá su sede en Finlandia, con un *hub* para imagen médica en Italia y otro para imagen biológica en el EMBL.

- EU-OPENSOURCE (European Infrastructure of Open Screening Platforms for Chemical Biology).

— Es una infraestructura distribuida que permitirá el acceso a una amplísima base de compuestos químicos y la información sobre la respuesta de los organismos y células a su presencia y utilización, siendo muy útil para el desarrollo de nuevos fármacos y de terapias en medicina personalizada. En proceso de constitución como ERIC participan 12 países.

- EATRIS (European Advanced Translational Research Infrastructure in Medicine).

— Infraestructura distribuida cuyo objetivo es promover el desarrollo de herramientas y tecnologías innovadoras que impulsen el avance en medicina traslacional, poniendo en común conocimientos sobre

imagen médica, biomarcadores, vacunas, y otros, facilitando la prevención, diagnóstico y el uso de terapias avanzadas (celular, genética, regenerativa). Con sede en Amsterdam, son miembros 11 países.

- ECRIN (European Infrastructure for Clinical Trials and Biotherapy).

- Infraestructura distribuida que tiene por objeto facilitar la realización de ensayos clínicos en Europa con grupos de población mucho más amplios. Trata de superar así las limitaciones a la hora de llevar a cabo ensayos en los diferentes países debido a la fragmentación de los sistemas de salud, la baja interoperabilidad en los datos, y los requerimientos legales y éticos. La infraestructura presta servicios de asesoramiento y gestión, y proporciona herramientas e información.

- Tiene su sede en París y son miembros del ERIC cinco países participando también centros de otros 17, tres no comunitarios.

- BBMRI (Biobanking and Biomolecular Resources Research Infrastructure).

- Infraestructura distribuida que ofrece acceso a un gran banco de muestras y datos con colecciones de enfermedades raras, poblaciones determinadas, etc.

- Constituida como ERIC en 2013, con sede en Graz, Austria, tiene 11 miembros.

- EMBRC (European Marine Biological Resource Center).

- Infraestructura distribuida cuyo objetivo es apoyar el desarrollo de las llamadas *blue technologies*, esto es, todas las relacionadas con la optimización de los recursos marinos, desde la biodiversidad marina, a la ecología, acuicultura, pesca, biotecnología, etc.

- En fase de constitución, tendrá su sede en París con nueve miembros iniciales.

- INSTRUCT (Integrated Structural Biology Infrastructure for Europe).

- Infraestructura distribuida que se centra en aportar un enfoque integrado para la biología estructural, poniendo a disposición de los usuarios diferentes tecnologías y herramientas para facilitar el estudio

molecular al nivel de átomo, así como métodos y técnicas de preparación de muestras, y otros servicios y plataformas. Presta también formación, concediendo además ayudas a proyectos de investigación.

- La constitución legal del ERIC está en tramitación, siendo un consorcio desde 2012. Su sede está en Oxford, Reino Unido, y tiene de momento 11 miembros.

- INFRAFRONTIER (Mouse Disease Models).

- Infraestructura distribuida cuyo objetivo es aportar toda la información disponible sobre los trabajos de investigación existentes en ratones en relación con el papel de los genes en la salud y las enfermedades. Junto a datos, modelos y plataformas de trabajo, proporciona asesoramiento y apoyo.

- Creada en 2013 como sociedad sin ánimo de lucro con sede en Munich, está tramitando su transformación en ERIC. Tiene seis miembros, más el EMBL y participan instituciones o centros de 14 países, entre ellos España.

- MIRRI (Microbial Resource Research Infrastructure).

- Como infraestructura distribuida, su objetivo es eliminar la fragmentación existente en la disponibilidad de los recursos microbianos, y en toda la información y datos relacionados, en los diferentes centros en diferentes países, estableciendo una red coordinada entre ellos, que permita aportar todos los recursos disponibles a los usuarios.

- Está en una situación de prórroga de la fase preparatoria, debido a los retrasos en su desarrollo. En principio la sede estará en Alemania, habiendo expresado su interés como miembros diez países, más la participación de centros de otros siete.

- ERINHA (European Research Infrastructure on Highly Pathogenic Agents).

- Infraestructura distribuida cuyo objetivo es compartir información y coordinar esfuerzos en los retos que plantean las emergencias derivadas de las infecciones en humanos y animales que plantean riesgos altos para la salud, y reforzar la colaboración ante los niveles de Riesgo 4 según la tipología de la OMS.

— En fase aún de preparación tendrá sede en Lyon y participarán 13 países.

- ISBE (Infrastructure for System Biology in Europe).

— Infraestructura distribuida cuyo objetivo es mejorar y promover la estandarización de los datos biológicos, herramientas y modelos, asegurando que los recursos de los diferentes laboratorios en Europa puedan ser integrados y reutilizados.

— Finalizada su fase preparatoria está pendiente de su constitución legal. Con sede en Londres, participarán 12 países.

- ANAEE (Analysis and Experiments on Ecosystems).

— Infraestructura distribuida que busca apoyar a los investigadores en la tarea de testar los potenciales impactos del cambio climático y el uso de la Tierra, evaluando los riesgos sobre los ecosistemas europeos, incluyendo la agricultura. Facilita información y herramientas, útiles en el ámbito de la bioeconomía.

— Con sede prevista en París, está en fase preparatoria. Tendrá seis miembros.

- EMPHASIS (European Infrastructure for Multi-scale Plant Phenomics and Simulation for Food Security in a Changing Climate).

— Infraestructura distribuida que facilita acceso y herramientas para el estudio de los genotipos en escenarios agroclimáticos diferentes, aportando conocimiento para el aumento de las producciones agrarias en un contexto de cambio climático.

— En fase preparatoria con sede en Montpellier, Francia, participan cuatro países.

Área de ciencias medioambientales

- LIFEWATCH (Science and Technology Infrastructure for Biodiversity Data and Observatories).

— Es una e-Infraestructura distribuida, liderada por España, cuyo objetivo es poner a disposición de los investigadores, gestores medioambientales y responsables políticos el acceso a una amplísima base de datos sobre biodiversidad, incluidos todos los diferentes

aspectos, así como un laboratorio virtual con herramientas para poder trabajar y hacer simulaciones con esos datos.

— La sede estará en Sevilla y serán miembros ocho países, más tres observadores.

- EURO-ARGO (European Contribution to the ARGO Program).

— Es la contribución europea a la red mundial de observación del océano, cuyo objetivo es disponer de 3.000 boyas perfiladoras robóticas sumergibles desplegadas en el océano para realizar medidas de variables físicas como la temperatura, la salinidad, las corrientes, etc.

— Con sede en Plouzané, Francia, tiene siete miembros, participando centros de otros países.

- IAGOS (In-service Aircraft for a Global Observing System).

— Su objetivo es la observación a largo plazo de la composición y calidad del aire como vector del cambio climático. Para ello cuenta con la implantación de instrumentos de alta tecnología desplegados a bordo de líneas aéreas comerciales, que realizan las mediciones en tiempo real.

— Constituida en 2014 y con sede en Bruselas, está integrada por tres países, con la participación de varias líneas aéreas asociadas. España como Estado no es miembro, pero Iberia forma parte de las aerolíneas participantes, habiendo incorporado equipos de medida IAGOS en uno de los Airbus A340.

- ICOS (Integrated Carbon Observatory System).

— Es una infraestructura distribuida, con nodos nacionales y estaciones, tanto marinas como terrestres y atmosféricas, cuyo objetivo es investigar y comprender la naturaleza de equilibrio-perturbación de los gases efecto invernadero. Para ello, armonizará y proporcionará datos obtenidos por las diferentes infraestructuras nacionales o regionales.

— Es ya un ERIC, con sede en Helsinki, y tiene ocho miembros más cuatro en proceso.

- EMSO (European Multidisciplinary Seafloor Observations).

— Infraestructura distribuida en nodos fijos, establecidos a lo largo de aguas europeas. Estos, en conexión con los observatorios marinos nacionales, tendrán por objetivo establecer una conexión de datos en tiempo real, que permita la monitorización y el estudio multidisciplinar (biológico, geológico, químico, físico, informático) de los ecosistemas, desde los polares hasta los tropicales.

— En fase final para la constitución de ERIC, con sede en Roma, tiene inicialmente cuatro miembros, participando centros de cinco más.

- EPOS (European Plate Observatory System).

— Infraestructura distribuida, cuyo objetivo es construir, a partir de infraestructuras de investigación nacional ya existentes, una red multidisciplinar de instrumentos y observatorios geofísicos y geológicos, que permitan monitorizar datos en tiempo real, para identificar deficiencias y mejoras existentes en los planes medioambientales, y de prevención de sismos y otros fenómenos.

— En fase de constitución como ERIC, con sede en Roma, serán miembros 18 países.

- SIOS (The Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System).

— El objetivo de la infraestructura es compartir, sobre la base de infraestructuras anteriores ya instauradas en la zona, el conocimiento y acceso a los datos, así como una mejor coordinación de los servicios y la logística, al ser las islas Svalbard un lugar óptimo para el estudio del clima.

— Con sede en Noruega, tiene diez miembros, participando otros cuatro países.

- EISCAT 3D (Next Generation European Incoherent Scatter Radar System).

— Es una infraestructura distribuida cuyo objetivo es la investigación de las capas de la atmósfera por observación de radar y técnicas de dispersión incoherente, y la conversión de estas mediciones en imágenes 3D.

— En fase preparatoria, con sede en Kiruna, Suecia, tiene seis miembros y centros de otros cuatro países.

- ACTRIS (Aerosols, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure Network).

— Se ha incorporado a la nueva Hoja de Ruta 2016. Es una infraestructura distribuida cuyo objetivo es analizar los aerosoles, nubes y trazas de gases y sus interacciones, proporcionando una visión 4D de las nubes y de las propiedades físicas, ópticas y químicas, desde la superficie hasta la estratosfera, con un elevado nivel de precisión, coherencia e integración.

— Con sede en Helsinki y en Roma, serán miembros, en principio, 11 países, participando centros de otros tantos.

- DANUBIUS (International Centre for Advanced Studies on River-Delta-Sea Systems).

— También incorporada a la nueva Hoja de Ruta, esta infraestructura descentralizada analizará los ecosistemas en los deltas de los ríos en la desembocadura, proporcionando información, plataformas y herramientas para la investigación, y formación.

— Con sede en Rumanía en el delta del Danubio, participarán 11 países. Sus promotores han manifestado su intención de seguir el modelo de tratamiento de la información diseñado por España para LifeWatch.

Área de computación

- PRACE (Partnership for Advanced Computing in Europe).

— Es una infraestructura distribuida cuyo objetivo es proporcionar una altísima capacidad de computación, basándose en cuatro grandes supercomputadores ubicados en Francia, Alemania, Italia y España, los cuales van turnándose en inversiones para mantenerse actualizados con la última tecnología, lo que permite estar conjuntamente prestando la máxima capacidad de computación conjunta. Prestan además asesoramiento y formación. Por parte de España, el centro participante es el Centro de Supercomputación de Barcelona (BSC-CNS).

— Con sede en Bruselas y constituida como una sociedad belga sin ánimo de lucro (AISBL), forman parte como miembros, en total, 25 países.

Área de ciencias físicas e ingeniería

- CTA (Cherenkov Telescope Array).

— Es un observatorio astronómico que dispondrá de un conjunto de telescopios para rayos gamma para el estudio del Universo. Tendrá en principio dos sedes con telescopios: una en el hemisferio norte que se ubicará en Canarias, en la isla de la Palma, y otro en el hemisferio sur, que previsiblemente se ubicará en Chile, en terrenos del ESO junto al observatorio de Paranal.

— Constituida como sociedad sin ánimo de lucro alemana (GmbH), con sede en Heidelberg, participan o colaboran 32 países.

- SKA (Square Kilometers Array).

— Por su dimensión, es uno de los proyectos más ambiciosos, al ser el proyecto de radiotelescopio más grande del mundo. Desplegará unas 200 antenas planas de 15 metros de diámetro más unas 130.000 antenas con sensores, conectadas por interferometría a lo largo del desierto de Australia y de Sudáfrica, y otros Estados limítrofes, lo que permitirá la información más completa lograda hasta ahora. El tratamiento de datos exigirá una capacidad de computación análoga a la que maneja el CERN. Adicionalmente plantea el reto técnico del suministro de energía al total de la instalación.

— Constituida como entidad legal en 2011, está en fase de preparación. Tiene de momento ocho miembros y participan centros de siete países más, entre otros España. Está en proceso de decisión nuestra participación como Estado miembro.

- E-ELT (European Extremely Large Telescope).

— Se trata de la construcción del gran telescopio del ESO ubicado en Chile en cerro Armazones al que nos referimos en el apartado 2.

— Por tratarse de una organización en la que los Estados miembros son europeos, se incluyó en la Hoja de Ruta como una de las grandes infraestructuras para los investigadores, considerándose como una ESFRI a efectos de los fondos H2020.

- EST (European Solar Telescope).

— Incorporado en la Hoja de Ruta 2016, será un telescopio dedicado al estudio del sol y la atmósfera solar.

— Liderado por España, se ubicará en Canarias. Han confirmado su participación centros de 12 países.

- KM3NET (Kilometer Cubic Net).

— Es una infraestructura descentralizada dedicada a la observación de los neutrinos, que dispone de dos instalaciones o telescopios ubicados en el mar, uno en Francia frente a la costa de Toulon, y otro en Italia, en Capo Passero. A su vez está comunicado con la instalación o telescopio de detección de neutrinos ubicada en el Polo Sur, la IceCube, para complementar las mediciones.

— Con sede en Amsterdam, y centros de tratamiento de información en Francia e Italia, tiene cuatro miembros, participando centros de otros países.

- FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research).

— Es un gran proyecto de física nuclear consistente en un gran acelerador de alta energía y alta intensidad para investigar el comportamiento de la materia, su estructura y dinámica, en condiciones extremas.

— En 2010 diez países firmaron el acuerdo para iniciar la construcción, en Darmstadt, Alemania, constituyéndose como sociedad sin ánimo de lucro (GmbH). En el momento actual está en un proceso de revisión de sus costes que se han elevado respecto a lo inicialmente previsto.

- HL-LHC (High Luminosity Large Hadron Collider).

— Es el proyecto de *upgrade* o adecuación y mejora tecnológica del LHC del CERN o gran acelerador de hadrones, que permite trabajar con más potencia, más colisiones, y más capacidad de detección en el proceso de interacción o choque de las partículas, obteniendo una información mucho más completa. Se aumentará la potencia para 2025 en un factor diez. Ya iniciado, los resultados obtenidos de lo desarrollado hasta ahora dan unos resultados muy buenos.

— Al ser el CERN un centro europeo, está incluido en la Hoja de Ruta, siendo así considerado como una infraestructura ESFRI a efectos de los fondos H2020.

- ELI (Extreme Light Infrastructure).

- Es una infraestructura distribuida para el estudio con aceleradores de láser, del átomo, del plasma y otros elementos.

- Con sede en Bruselas y constituida como ASBL, sin ánimo de lucro, tiene nodos en Praga, Szeged en Hungría y Magurele en Rumanía, y seis miembros.

- SPIRAL2 (Système de Production d'Ions Radioactifs en Ligne de Deuxieme Génération).

- Es una instalación que produce un determinado tipo de iones orientados a la investigación de hadrones e isótopos con diversas aplicaciones.

- Es parte de una instalación más amplia francesa, el Gran Acelerador Nacional de Iones Pesados (GANIL, por sus siglas en francés), ubicada en Caen. Tiene diez miembros.

Materiales e instalaciones de análisis

- ESS (European Spallation Source).

- Es una gran fuente de neutrones, por espalación, con una intensidad 30 veces más fuerte que las demás fuentes existentes y que permitirá realizar investigaciones con diferentes aplicaciones, desde física a ciencias de la vida.

- Constituida como ERIC en 2015, con sede en Lund, Suecia, tiene 11 miembros.

- XFEL (European X-Ray Free Electron Laser).

- La instalación producirá ráfagas de rayos X ultracortos con un brillo un millón de veces superior a un sincrotrón ordinario, lo que permitirá analizar detalles de los virus, tomar imágenes en 3D de nanopartículas, y muchas otras aplicaciones, facilitando los avances en investigación en esos campos.

- Constituida como GmbH con sede en Hamburgo, tiene diez miembros. España ha venido participando, estando en proceso de incorporación como Estado asociado.

- ILL 20/20 (Institute Max von Laue-Paul Langevin Upgrade).

- Es un *upgrade* o adecuación y mejora tecnológica del ILL. Por tratarse de una organización europea se incluyó en la Hoja de Ruta como una de las grandes infraestructuras a disposición de los investigadores, siendo así también considerado como una ESFRI a efectos de los fondos H2020.

- ESRF Upgrade (European Synchrotron Radiation Facility Upgrade).

- Por la misma razón que en el caso anterior, el *upgrade* del ESRF ha sido incluido como ESFRI en la Hoja de Ruta.

- EMFL (European Magnetic Field Laboratory).

- Es una infraestructura distribuida constituida por instalaciones que producen campos magnéticos de la máxima potencia, lo que permite la investigación en muchos ámbitos como los imanes superconductores, el magnetismo, etc.

- Con sede en Bruselas, y forma legal de AISBL, tiene cuatro miembros.

Energía

- EU-SOLARIS (European Solar Infrastructure for Concentrated Solar Power).

- Infraestructura distribuida centrada en la investigación sobre las tecnologías para la generación de energía solar de concentración.

- Liderada por España está en fase preparatoria, participando otros nueve países. Tendrá su sede en Sevilla.

- ECCSEL (European Carbon Dioxide Capture and Storage Laboratory Infrastructure).

- Infraestructura distribuida centrada en las tecnologías de nueva generación para la captura y almacenamiento de dióxido de carbono.

- En fase de creación de ERIC, con sede en Noruega, participan otros ocho países.

- MYRRHA (Multipurpose Hybrid Research Reactor for High-Tech Applications).

- Es un reactor nuclear con múltiples aplicaciones como la investigación sobre residuos, radioisótopos médicos, etc.

— Con sede en Bélgica, está aún en fase preparatoria, participando 16 países.

- JHR (Jules Horowitz Reactor).

— Instalación para el análisis del comportamiento de los materiales y el combustible en entornos nucleares extremos con alta radiación.

— Constituido como consorcio en 2007 pero aún en construcción, se ubica en Cadarache, Francia, junto al ITER. Tiene ocho miembros.

- WINDSCANNER (European WindScanner Facility).

— Infraestructura distribuida centrada en la investigación del viento y sus turbulencias en la generación de energía eólica.

— Con sede en Dinamarca, participan seis países más.

Ciencias sociales y humanidades

- ESS SOCIAL (European Social Survey).

— Su objetivo es seguir realizando la encuesta europea sobre actitudes y comportamientos, que se realiza desde 2001 cada dos años. Los diferentes nodos de esta infraestructura, descentralizada, se encargan de realizarla en cada país.

— Creado el ERIC en 2013, España no es miembro pero participa en la realización de la encuesta. Tiene sede en Londres.

- SHARE (Survey of Health, Ageing and Retirement in Europe).

— Su objetivo es llevar a cabo, periódicamente en sucesivas oleadas, una encuesta sobre envejecimiento que, basada en una amplia muestra de mayores de 50 años en 21 países (estable, corrigiéndose cuando procede o hay fallecimientos), ofrece información no solo de datos personales, con entrevistas, sino también de ciertos parámetros médicos (analítica...).

— Creado como ERIC en 2011, con sede en Munich, España no es miembro pero participa en la realización de la encuesta.

- CLARIN (Common Language Resources and Technology Infrastructure).

— Infraestructura distribuida que busca facilitar el acceso a todos los datos sociales sobre humanidades con un lenguaje digital que sea interoperable.

— Creado como ERIC en 2012 con sede en Utrecht, tiene 16 miembros, participando instituciones de otros países más, entre ellos España.

- DARIAH (Digital Research Infrastructure for the Arts and Humanities).

— Infraestructura distribuida formada por una amplia *network* de centros y equipos que trabajan en digitalización de contenidos de arte y humanidades. El *hub* central aporta no solo aplicaciones y tecnologías para ser utilizadas, sino también asesoramiento técnico y formación.

— Constituida como ERIC en 2014 con sede en París, tiene 18 miembros, estando España en proceso de decidir su participación como tal.

- CESSDA (Council of European Social Science Data Archives).

— Tiene por objeto ofrecer acceso a los archivos en temas sociales aportando estandarización de datos y metadatos e interoperabilidad.

— Constituida como consorcio sin ánimo de lucro, tiene su sede en Bergen, Noruega, y forman parte de ella 14 países.

- E-RIHS (European Research Infrastructure for Heritage Science).

— Incorporada en 2016 como infraestructura distribuida, su objetivo es facilitar el acceso a toda la información y estudios sobre la herencia cultural y natural de los humanos, ordenando así la fragmentación existente en este campo.

— Tendrá sede en Florencia y cuenta con la participación de 12 países, más instituciones de otros varios.

En definitiva, la Hoja de Ruta de la UE recoge un amplio número de infraestructuras, en su mayoría descentralizadas, que ofrecen a los investigadores europeos la posibilidad de trabajar con instrumental potente y sofisticado, aplicaciones de *software* avanzado, y

tener acceso a un abundante número de datos estandarizados.

5. La innovación y modernización tecnológica de las grandes infraestructuras

En cuanto al modo en que las diferentes infraestructuras adquieren y renuevan su equipamiento e instrumental, no existe una norma común salvo la de los procedimientos competitivos. En general, las adquisiciones se hacen a través de licitaciones abiertas y competitivas entre las empresas e instituciones de los Estados, si bien en los casos de las aportaciones *in kind* el esquema es diferente. Puede decirse que, si bien la casuística es grande, pueden destacarse algunas características comunes a muchas de ellas. Estas serían las siguientes.

- En las infraestructuras internacionales o en las ESFRI centralizadas, consistentes en una única instalación, el procedimiento más utilizado es que sean los servicios de la propia infraestructura, con los recursos económicos que le aportan los Estados miembros, quienes en licitaciones competitivas, abiertas a las empresas de los Estados miembros, procedan a licitar, seleccionar y conceder los contratos de suministro de equipos, componentes y servicios, habiendo fijado previamente los requisitos técnicos. El papel del Industrial Liaison Officer (ILO), como experto destacado del Estado miembro para facilitar el contacto con la industria de su país, es clave para facilitar una mayor participación de esta en las licitaciones⁶.

- Diferente es el caso de la aportación por parte de los Estados miembros de los equipos e instrumental como contribución *in kind*. Esto se da cuando la participación de un miembro se valora como suma de su contribución de una parte en metálico y otra parte *in kind* o en equipos. En este caso hay a su vez dos tipos de variantes:

— La aportación de un equipo o componente respondiendo a unas características y especificaciones muy determinadas, fijadas por la Organización. Sería el caso de las aportaciones de los centros que participan en los experimentos del CERN como ATLAS, CMS, LHCb y ALICE. El conjunto del proyecto (detectores, calorímetros, etc.) es definido distribuyéndose las partes o componentes entre las instituciones participantes de los diferentes países con capacidad técnica y económica de construirlo y aportarlo, computándolo como aportación.

— El modelo del ITER, donde los Estados miembros se distribuyen qué parte de la construcción harán, dentro de unos parámetros más generales, siendo luego las diferentes licitaciones las que establecen las condiciones y requerimientos más específicos. Así, F4E canaliza la participación europea. Existiendo instituciones similares para canalizar la aportación de los otros socios en los diferentes países (EE UU, Rusia, Japón, Corea e India), esto a veces provoca problemas de ajustes o correlación entre los diferentes contratos o partes del conjunto.

— En el caso de las infraestructuras nacionales, como las ICTS, la actualización y la innovación en el instrumental es decidida por los responsables de esta, contando para financiar los cambios con el apoyo financiero de fondos FEDER.

— En las ESFRI que son infraestructuras distribuidas, son los nodos nacionales los responsables de actualizar sus equipamientos. En el proceso de definición y creación de la infraestructura, como parte de la fase preparatoria, un paso importante es definir precisamente los requerimientos y el papel de los nodos. A partir de ahí se hace una valoración de estos como aportación *in kind* del país al conjunto. Los Estados miembros asumen el compromiso de mantener sus nodos actualizados con el último estadio de la tecnología. Ahí operan también las licitaciones.

— Por último, un modelo diferente es el aplicado por el CERN para ciertos proyectos de *upgrade* del LHC de desarrollar proyectos conjuntos de I+D con centros o empresas proveedoras, cualificadas para buscar una innovación o resolver algún tipo de

⁶ España tiene ILO en las grandes infraestructuras con un gran componente industrial como CERN, ESO, ITER/F4E, ESRF y ILL. El ILO es destacado por el CDTI que se encarga de su trabajo.

problema concreto o encontrar una solución a un reto específico. En este caso, el trabajo conjunto del organismo y de los centros o las empresas genera un modelo de transferencia de tecnología completamente diferente al convencional, ya que las innovaciones y el aprendizaje son compartidos.

— Una variedad que está empezando a utilizarse, con el apoyo incluso financiero de la UE, es la compra pública innovadora⁷, como procedimiento para adquirir determinados equipos o determinados servicios que por sus características no tiene sentido que sean sometidas a procedimientos ordinarios de licitación abierta. Un ejemplo es el proyecto QUACO sobre el que está trabajando el CERN.

— Por último, un tratamiento específico, común a prácticamente todas ellas, es el aplicado a los desarrollos de *software*, dada la necesidad de contar con unas potentes herramientas que permitan el funcionamiento operativo de la instalación, su control, y el tratamiento de la información que generan. En general la contratación se hace por licitación, salvo que se valore como una contribución en especie o *in kind* parte de esa capa de *software*.

Un caso particular también aquí es el del CERN, con una arquitectura diseñada para el tratamiento de los millones de datos generados al minuto, y que ya fue comentada en el apartado 3.

Precisamente, con el objeto de poder aportar a los investigadores facilidades en términos de almacenamiento de datos, la llamada *Open Science Cloud*, la Comisión Europea viene impulsando la necesidad de facilitar no solo la capacidad de computación suficiente, sino las plataformas de *cloud*. En ese sentido existen grupos de trabajo en marcha en el marco de la UE para debatir sobre estos temas, teniendo España una participación activa, dado el reconocido posicionamiento que tenemos en supercomputación y redes.

Este sería, de modo resumido, el panorama sobre cómo se produce la participación de empresas y centros en las innovaciones y desarrollos tecnológicos. Hay que decir, aunque no sea materia de este artículo, que en muchas de estas infraestructuras el posicionamiento de la industria española es importante. Este es el caso de la astronomía, física de partículas, física nuclear, microscopía, computación y *software*, y un largo etcétera.

6. Reflexiones finales.

Hemos hecho un repaso rápido a las grandes infraestructuras de investigación que tiene España en su territorio y a aquellas internacionales en las que participamos de un modo u otro. Esto es: las 29 ICTS que agrupan a 59 infraestructuras; las 12 organizaciones internacionales y las 50 ESFRI, muchas de ellas con nodos nacionales en nuestro país. Para completar el mapa de centros de investigación habría que sumar las instalaciones o infraestructuras de los ocho OPI, entre ellos el CSIC con sus 123 centros o el ISCIII con sus centros y sus tres fundaciones; más aquellos centros de investigación creados por las comunidades autónomas, en algunos casos con participación de la Administración central, y algunos centros de universidades. La suma total de estas instalaciones técnicamente bien equipadas dedicadas a la investigación supera las 250. En todas ellas, y en diferente medida según el sector de actividad, confluye la necesidad de disponer de un instrumental sofisticado y avanzado, y una capacidad potente de tratamiento de datos e imágenes.

Es también una característica común, en casi todas, que los investigadores demandan continuamente a los tecnólogos e ingenieros mejoras e innovaciones que les permita poder avanzar más en sus experimentos. Son los expertos de los centros y las empresas que colaboran con ellos, los que acaban diseñando e implementando esas mejoras e innovaciones. En aquellas infraestructuras que trabajan más en la vanguardia de la ciencia, muchos de los avances conseguidos en instrumentos, en sus componentes o simplemente en su concepto y

⁷ Sobre esta modalidad de compra pública, ver CUETO ALVAREZ DE SOTOMAYOR, L. y GARRIDO MORENO, J.M. (2013). *Compra pública innovadora. Fundamentos e instrumentación*. Madrid. Instituto Nacional de Administración Pública.

diseño, acaban aplicándose en otros equipos o instrumentos más estandarizados y comunes, bien en el mismo sector de actividad o bien en otros.

Por citar algún ejemplo concreto, podemos mencionar el caso de los aceleradores del CERN y su relación con los equipos médicos de diagnóstico y tratamiento de cáncer; la criogenia y las aplicaciones en la industria de frío de los sectores alimentarios y farmacéutico; las estructuras mecánicas de precisión para la orientación de los telescopios y su utilización en otros sectores; la propia óptica de los telescopios de ESO, o de los centros de imagen y su aplicación a la fotografía o a la medicina; la electrónica resistente a la radioactividad, etc.

En definitiva, las grandes infraestructuras juegan un papel de motor o *driver* en el desarrollo tecnológico que llevan a cabo las empresas y centros que trabajan en este ámbito, la llamada industria de la ciencia.

En el caso de España, hasta muy recientemente no ha habido una consideración específica de la industria de la ciencia como tal, y sin embargo tenemos centros y empresas muy bien posicionados como proveedores en muchas de estas infraestructuras. De ahí que por coherencia es importante dedicar una atención más prioritaria a este sector. Máxime si se tiene en cuenta que un mayor grado de implicación tecnológica en los desarrollos más punteros contribuye, como se ha dicho, no solo a mejorar la posición de las empresas en los mercados, sino también a que su *know how* se traslade de un modo u otro hacia desarrollos en otros

sectores, mejorando a su vez la competitividad de nuestra industria.

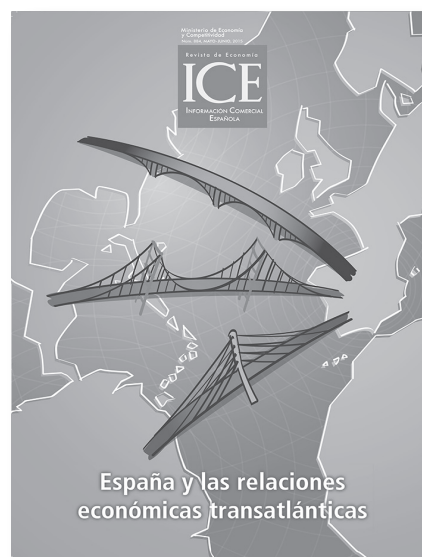
Esta atención más prioritaria se debe traducir en el diseño e implementación de una política de apoyo al sector con medidas para facilitar su desarrollo. En lo que a infraestructuras se refiere, estas medidas consisten básicamente en incorporar, de alguna forma, el elemento de «retornos tecnológicos e industriales» a la hora de decidir sobre la participación en una infraestructura internacional y en apoyar la implicación activa de nuestras empresas en los avances tecnológicos que quieran realizar. Obviamente se trata de infraestructuras para facilitar la investigación y por tanto las ventajas o «retornos científicos» deben ser el criterio principal. Pero las potenciales ventajas sobre la industria o los servicios avanzados que empresas españolas puedan prestar, son factores a considerar. En el caso de ESFRI distribuidas, con nodos nacionales, puede resultar clave el apostar por tener nodos tecnológicamente punteros en algún ámbito específico, con lo que esto puede implicar de dinamismo en el sector y en la región.

Esta es por tanto la conclusión final. Un país como España debe apostar claramente por apoyar a las empresas y centros que constituyen este sector, teniendo una participación y un posicionamiento activo en aquellas infraestructuras donde las oportunidades para nuestra industria y las implicaciones derivadas para otros sectores son más evidentes.

ICE

MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD INFORMACIÓN COMERCIAL ESPAÑOLA Secretaría de Estado de Comercio

Últimos números publicados



www.revistasice.com
Librería virtual, suscripción y venta: www.mineco.gob.es
Pº de la Castellana, 162. 28046 Madrid.
Telf. 91 603.79.97/93
distribucionPublicaciones@mineco.es