

María Luisa Poncela García*

LA INDUSTRIA DE LA CIENCIA Y SUS IMPLICACIONES EN LOS OTROS SECTORES INDUSTRIALES

A partir de la caracterización del sector de la industria de la ciencia, el artículo explica su importancia como actividad tractora de la innovación tecnológica del conjunto de sectores industriales al posicionarse a la vanguardia tecnológica. Se detallan los impactos primarios y secundarios de distintas naturalezas, abordando la complejidad del proceso de transferencia de tecnología. La industria de la ciencia ejemplifica como ninguna otra industria, el objetivo tan deseado en la teoría, pero tan complejo de lograr en la práctica, consistente en que la investigación básica se oriente hacia el mercado para que sus desarrollos tecnológicos subsiguientes sean aprovechados por la industria y que esta los integre en su oferta innovadora de bienes y servicios. Para su mejor percepción se incluyen como ejemplo algunos casos concretos y se detalla la acción de promoción industrial en España en este ámbito, destacando su carácter pionero a nivel internacional.

Palabras clave: investigación y desarrollo, innovación, tecnología.

Clasificación JEL: H54, L2, O32.

1. Caracterización de la industria de la ciencia

Cuando hablamos de industria de la ciencia (IdC), estamos definiendo un sector de actividad económica compuesto por un conjunto de empresas industriales que trabajan en la frontera del conocimiento y de las tecnologías, y su actividad fundamental está enfocada a realizar la ingeniería, diseñar, fabricar, suministrar y

dar servicios a las instalaciones científicas de carácter único o especial, conocidas en España como instalaciones científico técnicas singulares (ICTS), normalmente de tamaño medio, o a nivel internacional, las grandes instalaciones científicas (GIC) con mayor volumen de inversión. Es decir, son empresas que fabrican equipos e instrumentos necesarios para el desarrollo de la ciencia básica y la investigación aplicada.

Es un sector industrial de carácter emergente con una serie de características muy acusadas: son mercados bien identificados, de altas exigencias por parte del cliente que desarrolla grupos de tecnologías de tipología común, con transversalidad de los

* Técnico Comercial y Economista del Estado. Secretaría General de Ciencia, Tecnología e Innovación, Presidenta del Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI). Ministerio de Economía y Competitividad.

conocimientos, y diseño y fabricación de instalaciones e instrumentos muy singulares con tecnologías muy avanzadas. Esto significa, entre otras cosas, que los bienes de equipo tienen que adaptarse a entornos de ambiente estable como los que operan en los laboratorios, con el fin de garantizar que las condiciones en que se realiza la experimentación científica sean recurrentes y repetibles. Es decir, con unos requerimientos que suelen ser singulares en algunos de sus parámetros:

- Alta presión, alta temperatura, alto vacío y estabilidad ambiental.
- Altas prestaciones y alta precisión.
- Fiabilidad y durabilidad.
- Condiciones criogénicas de muy baja temperatura, en las proximidades de los cero grados Kelvin.
- Condiciones extremas (radiación, corrosión, riesgo de explosión).

La actividad económica que se desarrolla para el uso de la ciencia básica no solo la realizan las empresas de este sector, sino que también se lleva a cabo por otras organizaciones como departamentos universitarios o las propias instalaciones científicas. Estos agentes trabajan fundamentalmente para su propio consumo, y son las empresas, en estrecha colaboración con los especificadores científicos, y con los conocimientos y estándares más altos de fabricación, precisión y calidad, las que garantizan los recursos, objetivos y plazos requeridos.

Ser una empresa proveedora de la industria de la ciencia significa haber adquirido unas capacidades tecnológicas de alto valor de producción que las nuevas instalaciones científicas precisan para su construcción, y ser transferidas a continuación hacia otros sectores tecnológicamente avanzados como son la aeronáutica, energías renovables o la electromedicina, como veremos en el apartado 3, para posteriormente irse diseminando al resto de sectores productivos en función de sus circunstancias y necesidades.

Veamos cuáles son las características más comunes a todas estas empresas de la IdC:

a) Tener altas capacidades de gestión de proyectos y de garantías de calidad, aportando soluciones de ingeniería de alto valor añadido.

b) Tener vocación innovadora y medios para abordar retos de I+D, con largos plazos de realización y disponibilidad financiera.

c) Estar en la vanguardia en alguna de las tecnologías transversales más importantes, tales como mecanización precisa de materiales muy especiales, ingeniería de diagnósticos, detectores y sensórica, fabricación mecánica y mecatrónica, y sistemas ópticos y fotónica.

En resumen, podemos decir que trabajar en la frontera de las tecnologías es la característica que identifica a las empresas de la IdC. Ejemplos de esto podrían ser la fabricación de componentes para laboratorios e instrumentos que deben funcionar en el espacio durante largos años y a kilómetros de distancia de la Tierra, la mecanización con extrema precisión dimensional y superficial de componentes para estructuras de radiofrecuencia (RF) en materiales especiales (cobre exento de oxígeno, titanio, niobio, berilio, etcétera), la utilización de aplicaciones informáticas para el manejo rápido de enormes cantidades de datos (necesarios para la sincronización de aceleradores y telescopios), o soldadura de forma estanca de piezas de espesor delgado y alta precisión, etc.

Caracterización empresarial

En España existe un número de empresas que conforman la IdC, que se distribuyen entre los diferentes segmentos de los proyectos a abordar y que se pueden clasificar en:

- Grandes ingenierías integradoras: contratistas principales, (*prime contractors*) o empresas de primer nivel (*tier 1*), que tienen interlocución directa con las instalaciones científicas clientes.
- Ingenierías y fabricantes especializados.
- Empresas subcontratadas.
- Organizaciones de apoyo: centros tecnológicos, de investigación, de ensayo, asociaciones del sector y plataformas tecnológicas.

— Proveedores de materias primas singulares (aleaciones, metales exóticos y fluidos), fungibles para investigación (componentes, piezas y herramientas) y servicios conexos.

Caracterización científica

Los Organismos Públicos de Investigación (OPI) tienen un papel trascendental en el desarrollo de la IdC. Por una parte son centros desarrolladores de ciencia y, por tanto, suministradores de este conocimiento, solos o en colaboración con los técnicos de la industria, y a la vez son usuarios de equipos sofisticados que producen las empresas de la industria de la ciencia para ellos, y junto con ellos. Nos referimos entre otros a los institutos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), al Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) y al Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), o a cualquiera de los centros de excelencia «Severo Ochoa». Esta conexión es fruto de la capacidad que tiene el científico como prescriptor de conocimiento hacia la industria en la medida en que a través de los experimentos que concibe, diseña y ejecuta es capaz de poner a prueba los bienes de equipo que se utilizan en las instalaciones científicas y laboratorios técnicos; conocimientos y tecnología que una vez desarrollada y experimentada se pone a disposición del tejido productivo.

En el caso español se ha demostrado una evidente correlación entre la implicación de los investigadores de los OPI en actividades tempranas de diseño y configuración de las instalaciones con técnicos de los departamentos de I+D y de las oficinas técnicas de las empresas de la IdC, con el resultado de una mejora relevante de los retornos obtenidos en licitaciones internacionales.

La gran aportación de estos centros de excelencia estriba en los resultados científicos, que contribuyen a incrementar la base de conocimiento fundamental y a mejorar el progreso con soluciones que la ciencia

proporciona a los desafíos de la sociedad. Por las condiciones extremas en que tiene lugar la experimentación en las instalaciones científicas, especialmente en aquellas de carácter singular, la industria de la ciencia se beneficia de conocimiento de ingeniería de productos y procesos que luego podrán aplicarse a entornos más comunes y menos exigentes.

Caracterización del cliente

Aunque la IdC atiende al mercado de equipos sofisticados compuesto por laboratorios localizados en universidades, centros tecnológicos y de investigación y empresas, existe un cliente —importante de resaltar por su número, volumen de actividad e importancia cualitativa—, que es el conjunto de instalaciones científico-técnicas singulares que existen en España, donde se realizan los experimentos más rompedores y sujetos a condiciones de ensayo más extremas, así como el conjunto de instalaciones científicas internacionales: el European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI) y otras.

En 2007, España definió un mapa de ICTS (Mapa ICTS, 2015) con el que se incorporaba al mapa mundial de instalaciones científicas relevantes y que es evaluado recurrentemente por un panel de expertos con estándares internacionales. En 2013 se ha actualizado incorporando infraestructuras en red distribuidas por el territorio y permitiendo una planificación y desarrollo a largo plazo de las mismas, así como su sostenibilidad.

2. Impacto económico de la industria de la ciencia en los otros sectores industriales

Existen distintos estudios del impacto de las infraestructuras científicas y tecnológicas singulares en la actividad empresarial. El más exhaustivo ha sido emprendido por la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN) con el apoyo metodológico del foro de ciencia global de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE,

2014). Entre los indicadores medibles que las inversiones en ciencia e investigación básica producen están el número de doctores investigadores y el número de publicaciones científicas evaluadas. Sin embargo, el impacto que se busca por parte de la sociedad va más allá de la ampliación del conocimiento humano. Las sociedades modernas persiguen que trascienda a retornos económicos y sociales en favor de un mayor bienestar. En este apartado se van a repasar aspectos cualitativos y cuantitativos del impacto de la inversión en infraestructuras científicas y tecnológicas y las implicaciones que estas inversiones tienen para la industria de la ciencia.

Categorías de impactos de las inversiones en infraestructuras científicas y tecnológicas

El impacto de las inversiones en megaciencia o grandes infraestructuras científicas puede clasificarse en seis tipos:

- a) Resultados puramente científicos dirigidos al progreso del conocimiento fundamental.
- b) Impacto directo de la construcción y de la operación de las instalaciones y los laboratorios asociados.
- c) Formación de científicos, ingenieros, gestores y otros profesionales.
- d) Cooperación científica internacional y logro de objetivos nacionales e internacionales.
- e) Desarrollo y difusión de innovaciones tecnológicas derivadas de la propia misión científica, mayoritariamente ligadas al desarrollo de componentes y sistemas por medio del procedimiento de compras y contratación. En esta categoría, se pueden distinguir dos casos: *i)* grandes equipos y componentes principales que requieren un elevado coste de diseño, desarrollo y fabricación; y *ii)* innovaciones asociadas a disciplinas científicas distintas de la relevante en la instalación científica.
- f) Aspectos educativos y divulgativos. El análisis del impacto de las inversiones en grandes infraestructuras científicas y tecnológicas y en proyectos de I+D básica

que requieren de elevadas inversiones en sofisticadas instalaciones o laboratorios con equipos de altas prestaciones, es consecuencia de la creciente necesidad de justificar los resultados de las actividades de investigación en ellas ejecutadas. Detrás del análisis subyace la necesidad de optimizar los sistemas de compras asociados a este tipo de instalaciones. Por su volumen y por las propias características de los experimentos a desarrollar, la gestión de proyectos es de una complejidad superior a la habitual.

Ejemplos del amplio espectro de aplicaciones de la IdC a otros ámbitos industriales podrían ser los siguientes:

- Física de partículas y de altas energías: el gran colisionador de hadrones (LHC) del CERN ha facilitado que la electromedicina aplique la hadronterapia en la lucha contra el cáncer; y la fusión nuclear y el reactor experimental ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) están aportando desarrollos avanzados en sensorica, criogenia y aceros de alta resistencia.

- Astronomía: las altas exigencias de metrología extrema que demandan los telescopios impactan en sensores y sistemas de posicionamiento con requerimientos extremos de carácter dimensional y en tratamiento avanzado de superficies.

- Supercomputación: tomando como antecedente Internet, cuyo desarrollo debe mucho al CERN, todas las grandes instalaciones científicas son usuarias de informática y computación críticas para simulación y modelización, demandando alta velocidad de procesamiento y reacción en tiempo real.

- Espacio: el desarrollo de esta industria viene marcado por las misiones diseñadas por las agencias estatales, sin cuyas directrices no podría tener lugar.

Un caso práctico: impacto directo, impacto indirecto y efecto multiplicador inducido de las actividades basadas en ciencias físicas

Nos centraremos en los trabajos de la Sociedad Europea de Física (SEF), la cual ha realizado un estudio

económico del impacto que las actividades económicas basadas en ciencias físicas, incluidas las inversiones en infraestructuras científicas especializadas en física, tienen en la Unión Europea (Centre for Economics and Business Research, 2013). El estudio metodológico está basado en las tablas *input-output* aplicadas a los sectores industriales intensivos en conocimientos de física, cuya producción agregada a precios de mercado en la UE ascendió a 3.300 millones de euros en 2008.

El análisis de la SEF obtiene como resultado un índice multiplicador de 2,28 desglosado de la siguiente manera:

— Impacto directo: índice 1,00, es decir que un incremento de 1 euro en el gasto en bienes y servicios basados en física activa genera una producción de 1 euro adicional.

— Impacto indirecto: índice 1,11, es decir que el incremento de 1 euro de la actividad ligada a bienes y servicios basados en física induce una actividad de 1,11 euros en aquellos otros sectores de la cadena de valor que se ven directamente afectados al suministrar sus bienes y servicios.

— Impacto inducido: índice 0,17 que se origina por los ingresos adicionales emanados de salarios y rentas empresariales más altas en el sector.

En síntesis, a la vista de los impactos directo, indirecto e inducido equivalentes a un coeficiente de 2,28 se demuestra la rentabilidad de invertir en este segmento de la IdC.

3. Transferencia de tecnología y curva de economías de escala

Como ya se ha mencionado en el apartado 1, las empresas de la industria de la ciencia se caracterizan por la alta intensidad tecnológica y de conocimiento de sus productos y servicios, y por la alta cualificación de su personal. Esta es la base sobre la que se sustenta una excelente capacidad para transferir tecnología hacia otros sectores industriales y hacia la búsqueda de soluciones a problemas de la sociedad. En esencia, la

industria de la ciencia ejemplifica como ninguna otra el objetivo tan deseado en la teoría, pero tan complejo de lograr en la práctica, consistente en que la investigación básica se oriente hacia el mercado, y sus desarrollos tecnológicos subsiguientes sean aprovechados por la industria y que esta lo integre en su oferta innovadora de bienes y servicios.

Es preciso destacar la singularidad de las ramas científicas que estimulan la demanda de la industria de la ciencia (física de altas energías y de partículas, astronomía, espacio y supercomputación, por citar solo algunas disciplinas), por lo que el proceso de transferencia de tecnología no puede ser inferido de forma automática ni parametrizado en unos indicadores simples. Los tiempos de maduración de las tecnologías —aun acelerándose tanto en su desarrollo como en la implantación— son el resultado de distintas variables, tales como la cantidad de recursos empleados (humanos, económicos, calidad de materiales) y de la accesibilidad y disponibilidad de los mismos.

Surgen también aplicaciones que trascienden a los entornos más naturales y que se aprovechan de las tecnologías disruptivas que aplica la IdC, que se erige así en facilitadora de nuevos paradigmas de mercado. Hay múltiples casos que se pueden relatar (en este monográfico se recogen algunos) de actividades de transferencia de tecnología ligadas, por ejemplo, al CERN, como puede ser el ya mencionado LHC y las tecnologías de aceleradores que están revolucionando el progreso tecnológico de la electromedicina y las terapias de lucha contra el cáncer. Puede afirmarse que la investigación científica en física de partículas, en su conjunto, está impactando entre otras cosas en el estado del arte de la medicina nuclear.

Curvas de economías de escala en la construcción de grandes proyectos de infraestructuras

La naturaleza compleja de los grandes proyectos de infraestructuras científicas requiere de un

CASO 1

AVS ADDED VALUE SOLUTIONS SL

- Fundada en 2006, tiene su sede social y el centro productivo en Elgóibar (Guipúzcoa), con oficinas en Sevilla y Anecy (Francia) y una filial AVS UK en Reino Unido.
- Plantilla actual: 29 trabajadores; 90 por 100 adscritos a la industria de la ciencia.
- Proyecto o programa de la industria de la ciencia: equipo de control de intensidad y diagnosis de haz desarrollado para el CERN, que validó el prototipo. El equipo de diagnóstico de haz es muy compacto con un área activa de 2,5x2,5cm², mínimo *readout* de 100 micras y apertura de 100 micras.
- Transferencia de tecnología: el proyecto inicial de I+D y el consiguiente contrato de suministro al CERN posibilitaron el posicionamiento líder de AVS como empresa suministradora de diagnósticos de haz de última generación para electromedicina y otras grandes infraestructuras científicas en el mundo.
- Impacto previsto en el futuro: AVS espera que el 30 por 100 de la facturación actual provenga en 2018 de electromedicina (protonterapia).

esfuerzo de planificación concienzudo que no está al alcance de cualquier organización. La identificación de las tareas más críticas a lo largo del ciclo de vida de un proyecto es una actividad esencial que marca las ventajas competitivas de una empresa, ya que las desviaciones de cualquier índole —presupuestarias, temporales, recursos técnicos— pueden conducir a retrasos temporales y a pérdidas económicas de tal magnitud, que pueden llegar incluso a poner en peligro la viabilidad de las empresas que ejecutan el proyecto.

Esta actividad de planificación requiere de técnicas de dirección de proyectos que se han ido sofisticando. En el caso de instalaciones científicas, las empresas de ingeniería especializadas en grandes proyectos se benefician de las curvas de economías de escala derivadas del aprendizaje de repetir la experiencia acumulada a lo largo de varios proyectos tan singulares.

Algunos casos de éxito de la industria española de la ciencia

Para ilustrar de forma práctica cómo se realiza la transferencia de tecnología de la industria de la ciencia al conjunto de la industria y la sociedad, se ha

seleccionado una serie de empresas españolas de la IdC ubicadas en distintas regiones y especializadas en tecnologías muy variadas, que nos muestran algún ejemplo concreto de esta actividad.

La información sobre cada una de ellas se presenta en siete casos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 donde, además de información general, se indica el porcentaje de la plantilla adscrita a la IdC respecto del total. Se han escogido en estos ejemplos empresas de todos los tamaños, incluida una microempresa *start-up* creada por los propios investigadores de una universidad.

En cada uno de los casos seleccionados se indican dos aspectos esenciales del impacto de la inversión en ciencia y del efecto inducido que genera la industria de la ciencia:

— Transferencia de tecnología: descripción de aplicaciones industriales, oportunidad de diversificación, apertura de nichos innovadores y sectores de aplicación.

— Impacto previsto en el futuro: posición de liderazgo y nicho de mercado; internacionalización; y expectativas de expansión y cuantificación orientativa del crecimiento experimentado merced al equipamiento innovador derivado desde la industria de la ciencia.

CASO 2

CADINOX SA

- Fundada en 1966, su fábrica se localiza en Belauntza (Guipúzcoa).
- Plantilla actual: 63 trabajadores; 22 por 100 adscritos a la industria de la ciencia.
- Proyecto o programa de la industria de la ciencia: diseño de detalle, fabricación y ensayos de las cámaras de helio y vacío de los criomódulos HIE-ISOLDE para el CERN fabricadas para un nivel de vacío de 10⁻⁷ milibares operando a temperaturas de 4,5 Kelvin.
- Transferencia de tecnología: liderazgo mundial en tecnologías de soldadura, mecanizado de precisión de aceros especiales para la fabricación de equipos de criogenia de grandes dimensiones en condiciones de alto vacío y de otros bienes de equipo mecánicos.
- Impacto previsto en el futuro: fabricación de equipos para instalaciones espaciales y astrofísicas.

CASO 3

EQUIPOS NUCLEARES SA (ENSA)

- Empresa pública creada en 1973 con sede en Madrid y fábrica en Maliaño (Cantabria).
- Plantilla actual: 485 trabajadores; 2 por 100 adscritos a la industria de la ciencia.
- Proyecto o programa de la industria de la ciencia: fabricación, montaje, soldadura y ensayos no destructivos de los nueve sectores de la vasija de vacío del reactor experimental ITER en Cadarache (Francia).
- Transferencia de tecnología: los equipos para introducción y posicionamiento de películas radiográficas, para la protección gaseosa durante la soldadura, cajas de vacío para la realización de pruebas de fugas, además de los estrictos controles de calidad, se aplican a fabricación de bienes de equipo para la industria nuclear.
- Impacto previsto en el futuro: Ensa apuesta por mejorar su competencia tecnológica en fabricación avanzada, robótica y mecatrónica.

CASO 4

INSTRUTEC SLU

- Fundada en 2015, se ubica en La Laguna (Tenerife).
- Plantilla actual: 1 trabajador; 100 por 100 adscrito a la industria de la ciencia.
- Proyecto o programa de la industria de la ciencia: diseño de prototipo de una unidad de rendijas configurables (10 micras), para criogenia y vacío, para el espectrógrafo multiobjeto infrarrojo (proyecto EMIR) del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC).
- Transferencia de tecnología: instrumentación de automatización industrial integradora óptica, mecánica y electrónica de precisión, en campos como manipulación de materiales peligrosos, defensa, aeronáutica y espacio.
- Impacto previsto en el futuro: estrategia de diversificación desde el sector de la astronomía a otros sectores de la ciencia (nanosatélites, fusión, física de partículas, energía, biología y ciencias de la vida) a partir de la actual posición líder en instrumentación de precisión para criogenia y vacío, incluyendo la contratación de personal especializado.

CASO 5

JEMA ENERGY SA

- Creada en 1953 y con sede en Lasarte-Oria (Guipúzcoa), tiene filiales en Estados Unidos, México y Brasil.
- Plantilla actual: 125 trabajadores; 40 por 100 adscritos a la industria de la ciencia.
- Proyecto o programa de la industria de la ciencia: fabricación de fuentes de alimentación para grandes instalaciones científicas en todo el mundo (JT60SA, MAST, JET, IFMIF, RAL-ISIS, DESY, IFIC, ESS, SNS, TJ-II, Wendelstein 7-X).
- Transferencia de tecnología: aplicaciones de electrónica de potencia a redes eléctricas inteligentes, equipos de electromedicina y de ensayos de materiales.
- Impacto previsto en el futuro: crecimiento de la facturación en los nuevos mercados.

CASO 6

SENER

- Creada en 1956, con sede social en Las Arenas (Bilbao), cuenta con centros productivos en Tres Cantos (Madrid), Cerdanyola del Vallés (Barcelona) y Valencia, y delegaciones y filiales en todo el mundo.
- Plantilla actual: 2.500 trabajadores en el área de ingeniería y construcción; 6 por 100 dedicados a la industria de la ciencia, incluyendo actividades del espacio.
- Proyecto o programa de la industria de la ciencia: mecanismos de precisión (micras en traslación y microrradiares en rotación) para el posicionado de grandes telescopios terrestres (cargas entre varios centenares de kilos y varias toneladas). Empezando por el gran telescopio de Canarias GTC, se han diseñado y fabricado mecanismos para los telescopios VISTA (Chile), IRAIT (Antártida), Javalambre (Teruel), ALMA (Chile), WHT (La Palma) y E-ELT (en fase de diseño, Chile), o el mecanismo rotador para sistema de óptica adaptiva del telescopio VLT (Chile).
- Transferencia de tecnología: aplicación transversal de mecanismos de precisión a un sistema doblador de espejos de rayos X con precisión nanométrica bajo licencia de ALBA al sector espacial (antenas, sistemas desplegados) y a posicionamiento de heliostatos de plantas de energía solar térmica.
- Impacto previsto en el futuro: suministros al telescopio europeo E-ELT (39m), comercialización mundial de dobladores de espejos para instalaciones de luz sincrotrón e instalaciones láseres de electrones libres de rayos X (XFEL), y expansión a espacio, defensa, aeronáutica, tecnología sanitaria y plantas industriales.

CASO 7

SEVENSOLUTIONS SL

- Fundada en 2006 como *spin-off* de la Universidad de Granada.
- Plantilla actual: 20 trabajadores; 70 por 100 adscritos a la industria de la ciencia.
- Proyecto o programa de la industria de la ciencia: red basada en Ethernet para el proyecto *White Rabbit* (WR) del CERN, mejorando el protocolo de tiempo de precisión PTP (IEEE 1588) con precisión de sincronización del orden del subnanosegundo en una red extensa (decenas de km) de fibra óptica.
- Transferencia de tecnología: sincronización susceptible de aplicarse a cualesquiera instalaciones, redes, servicios y equipos cuya interrupción o destrucción tendría un impacto grave en la salud, la seguridad, la comunicación, o el bienestar económico de los ciudadanos, incluyendo la defensa, tales como infraestructuras críticas, redes eléctricas inteligentes, finanzas y sistemas de localización en tiempo real (RTLS).
- Impacto previsto en el futuro: con incrementos de ventas de 37 por 100 y 50 por 100 entre 2014 y 2015, y una base de clientes global, sus ejes de crecimiento serán otras GIC e implantarse en los mercados estadounidense y asiático.

Formación y transferencia de conocimiento. Un caso práctico: actividades de formación de científicos, ingenieros y técnicos españoles en el CERN

El entorno intelectual en el que se desenvuelven y operan las infraestructuras científicas que son demandantes de los bienes y servicios de la industria de la ciencia presenta unas características excepcionales en las que la propia actividad académica en la frontera del conocimiento provoca que los intercambios de información, ideas y conocimientos sean constantes. Intrínsecamente la comunidad investigadora es exigente con los niveles tecnológicos de los equipos que maneja por mor de la precisión, la fiabilidad, la seguridad y la trazabilidad de la experimentación.

Para la industria de la ciencia son críticas las actividades de formación del capital humano, tanto de las empresas como de las instalaciones científicas. La comunicación entre la comunidad científica y el mundo industrial es fundamental para optimizar el esfuerzo y la inversión en el diseño, la fabricación, la operación y el mantenimiento de los equipos de laboratorio. Dentro de una infraestructura científica los planos en los que el personal desempeña su actividad son distintos. Si se quiere maximizar el retorno de una óptima comunicación entre el personal de la correspondiente infraestructura y el colectivo empresarial de la IdC española, habría que favorecer la presencia de españoles entre los siguientes tres colectivos:

- Científicos, como responsables de la investigación básica y fundamental.
- Ingenieros y técnicos, como responsables de la implantación factible y adecuada de los proyectos, incluyendo también los cuadros intermedios y la formación profesional.
- Administración y finanzas, como responsables de los aspectos legales de la contratación pública y del cumplimiento financiero de los presupuestos.

Con el fin de maximizar la actividad investigadora y empresarial de España en el CERN, uno de los aspectos relevantes es mejorar la formación de

recursos humanos en aquellas tecnologías de interés para esta organización. Existe un acuerdo entre CIEMAT y CERN dirigido a reforzar la participación de este OPI, de centros tecnológicos y empresas en esta organización internacional en actividades relacionadas con aceleradores, detectores e infraestructuras asociadas.

Los objetivos del convenio son optimizar el retorno en formación tecnológica y de ingeniería, y, a la larga, incrementar los suministros de tecnología española al CERN. Así, las áreas temáticas de especialización seleccionadas contribuyen a la mejora de la calidad de la investigación nacional y al fortalecimiento de la competitividad de la IdC española:

- Imanes superconductores y resistivos.
- Convertidores de potencia y sistemas electrónicos asociados.
- Electrónica para detectores de partículas y aceleradores, incluyendo la resistencia de la electrónica a altas dosis de radiación.
- Criogenia y vacío.
- Tecnologías e ingeniería asociadas a las infraestructuras de aceleradores y detectores.

El formato de la ayuda consiste en becas de estancia e integración en la actividad formativa del CERN de los ingenieros y técnicos españoles con un programa de trabajo de especialización por espacio de dos años. Terminada su estancia en esta organización, y dada la alta cualificación técnica adquirida, estos profesionales resultarán atractivos para su incorporación a empresas españolas.

4. Promoción de la industria de la ciencia en España

Por todo lo expuesto hasta aquí es obvio el interés de la Administración por apoyar el crecimiento de la industria de la ciencia en nuestro país, ya que es una industria posicionada en el segmento de tecnología punta y de alto valor añadido que todavía no ha alcanzado el peso deseado en las exportaciones de bienes y servicios españoles.

El proceso de consolidación de capacidades del tejido industrial de la ciencia en España empezó a articularse a principios de los años 90 y hoy, veinte años después, se puede afirmar que existe un conjunto de empresas con una dilatada experiencia que acuden a licitaciones internacionales de grandes infraestructuras que requieren invertir en el diseño, ingeniería y fabricación de equipos de altas prestaciones que operan en situaciones extremas. Así se ha pasado de suministrar material fungible o auxiliar, o incluso bienes comunes (como puede ser helio), a ser referente en una serie de tecnologías punta de fabricación para infraestructuras científicas singulares de excelencia mundial.

La pléyade de instalaciones científicas desplegadas sobre el territorio español, o en las que se participa a nivel internacional, han generado nichos a la industria de bienes de equipo, que tiene que trabajar con unos condicionantes que ya se han explicitado en este artículo, teniendo en cuenta que —en muchas ocasiones— los nichos de mercado solo pueden ser cubiertos por un único suministrador, el cual atiende el único pedido posible en un horizonte temporal duradero.

El Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), como organismo responsable del apoyo financiero a la política de innovación industrial, trata de mejorar los retornos tecnológicos e industriales asociados a los programas de inversión de las organizaciones científicas internacionales, como contrapartida a la contribución española a las mismas. Estas instituciones internacionales funcionan unas por el denominado «justo retorno» (es el caso de la Agencia Espacial Europea); y otras, la mayoría, se rigen por procedimientos competitivos abiertos y transparentes de licitación pública.

Para apoyar a la IdC se han puesto en marcha varias medidas tales como:

- El seguimiento sistemático de las instalaciones científicas y de sus licitaciones futuras.

- En las instalaciones y programas relevantes (por ejemplo, el CERN, la Instalación Europea de Radiación Sincrotrón ESRF, el Observatorio Europeo

Austral ESO, ITER/F4E, y el instituto Laue-Langevin ILL), el CDTI ha ubicado un Industry Liaison Officer (ILO) como enlace con la industria.

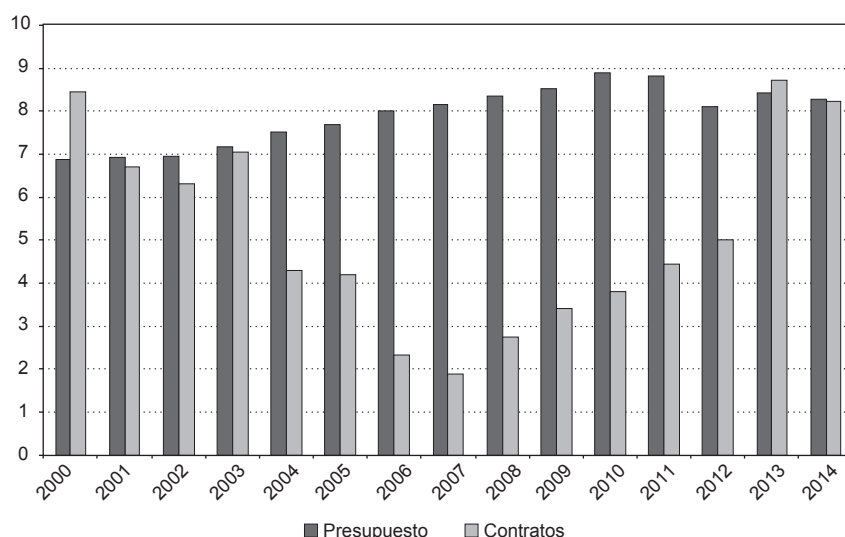
- Apoyo a la creación de capacidades mediante ayudas a proyectos de desarrollo tecnológico asociados a las necesidades singulares de las grandes instalaciones con el fin de mejorar los retornos industriales de España, denominado administración por objetivos (APO).

- Colaboración público-privada: en estos entornos de megaciencia se explicitan las virtudes y los procesos de ganancia mutua de la simbiosis de intereses públicos y privados; pero la materialización de todo su potencial requiere de la existencia de vehículos y de instrumentos de articulación que permitan la cooperación duradera de todos los agentes involucrados.

El CERN ha producido un efecto tractor en empresas españolas al haber mejorado estas sustancialmente, no solo su posición ante esta institución sino en otros proyectos o programas científicos internacionales tales como ITER, ALMA (ESO), la ampliación de ESRF o XFEL. En total, la contratación del CERN a empresas españolas en el período 1983-2014 ascendió a 400.000.000 de euros. En el Gráfico 1 se puede ver el ciclo de construcción de los grandes proyectos (el colisionador de electrones y positrones LEP y el LHC) en los que España ha mantenido un nivel de retorno que ha ido creciendo en los últimos años, como resultado de las medidas de apoyo desplegadas. El ciclo de retornos está ligado al programa de funcionamiento del LHC, incluyendo su período de parada técnica, la modernización de los equipos y el lanzamiento de nuevos experimentos.

En el futuro el objetivo es mantener el ascenso continuado logrado en los últimos años, aprovechando el ciclo inversor asociado a la compra de equipamiento y servicios para la parada del LHC y el comienzo del proyecto de aumento de la luminosidad del LHC (HL-LHC). Es relevante la participación española en la fase actual de estos proyectos para mejorar los retornos tecnológicos en la etapa de construcción de grandes aceleradores e instrumentos. Por ello, juega un papel

GRÁFICO 1
CONTRIBUCIÓN ESPAÑOLA AL CERN Y RETORNO INDUSTRIAL, 2000-2014
(En %)



FUENTE: CERN, CDTI.

muy importante el denominado ILO, además del que hacen los representantes de España en los órganos de gobierno en los que se controlan los asuntos financieros y científicos de la organización internacional, y se validan y controlan los hitos de los programas de inversión y de realización de experimentación científica.

A continuación se describen las principales actividades de enlace con la industria española:

- Facilitación del acceso de la IdC española al CERN a través de peticiones de ofertas, acuerdos de colaboración, transferencia de tecnología, entre otros medios, y modular la participación para que esta se produzca en las áreas de mayor interés tecnológico para el país. Además, se organizan presentaciones o reuniones específicas con el personal técnico y el departamento de compras del CERN.

- Identificación y apoyo a iniciativas que puedan reforzar el objetivo general de aumentar la participación

tecnológica española en el CERN, como pueden ser la financiación de proyectos de I+D con fondos del CDTI o el apoyo financiero a la preparación de ofertas (ayudas APO), y proyectos de colaboración tecnológica y transferencia de tecnología.

- Asesoramiento a la delegación española en cuestiones industriales y de compras, y apoyo en la definición de nuevas contribuciones tecnológicas españolas a la organización.

Este ILO tiene como objetivo maximizar el retorno industrial, canalizar la información sobre la programación de inversiones y de los procedimientos de licitación, ayudar y modular la participación hacia áreas de gran interés tecnológico para el país, animar a las empresas a acreditarse para poder acudir a las licitaciones futuras e introducirlas ante los departamentos relevantes y en la búsqueda de socios a la hora de formar consorcios.

Estructurar la oferta industrial y tecnológica: INEUSTAR, la asociación española de la industria de la ciencia

A partir de numerosas historias de éxito individual originadas en los últimos 20 años, se puede visualizar la existencia de un tejido productivo asociado a la demanda de grandes instalaciones científicas. Al principio, tal vez de una forma desestructurada, gracias al empuje de entidades públicas como CIEMAT y CDTI, se consiguió que empresas españolas se adjudicaran contratos en estas instalaciones, pero hacía falta crear una masa crítica de empresas que trabajaran en este tipo de mercados para poder actuar de manera organizada y estructurada. Y esto ha venido dado por el incremento de contratos en términos cuantitativos y cualitativos, unido a la experiencia ganada en el conocimiento de los procedimientos de licitación competitiva internacional y en el dominio de capacidades tecnológicas singulares.

Así, en 2010 un grupo de empresas decidió fundar la Asociación Española de la Industria de la Ciencia (INEUSTAR), que contempla entre sus principios fundacionales la colaboración con la Administración española, dado que es quien representa los intereses nacionales ante las organizaciones internacionales en torno a las que suelen estructurar las acciones de la megaciencia, especialmente en el marco europeo de infraestructuras de investigación ESFRI.

INEUSTAR es pionera en Europa, pero ha sabido analizar fracasos y extraer lecciones: al final solo un país, una región o una ciudad concreta pueden ser el emplazamiento de una instalación singular de las características de una infraestructura de investigación como las comentadas. Es el caso del reactor experimental de fusión nuclear ITER, la fuente de espalación ESS (European Spallation Source) o el gran telescopio EELT que se fueron hacia otros países, a la vez que en España se construía el sincrotrón ALBA, con una inversión asociada que superaba los 200 millones de euros, y se estaban planeando del orden de 500 instalaciones científicas singulares en el contexto europeo, para lo cual había que

prepararse. Parecía el momento justo de acometer una acción colectiva que facilitara la promoción internacional de las capacidades industriales y tecnológicas de nuestro país.

El paso siguiente de INEUSTAR fue la constitución de la plataforma tecnológica de la IdC española INDUCIENCIA, que permite ampliar el alcance de las actuaciones de colaboración público-privada asociadas al mercado de grandes instalaciones científicas, al incorporar en la plataforma a otros agentes relevantes como son los organismos públicos de investigación (CSIC, CIEMAT, IAC), centros tecnológicos, y las infraestructuras científicas tecnológicas singulares como el sincrotrón ALBA e IAC para intercambiar experiencias prácticas útiles con las empresas que diseñan y fabrican equipos y sistemas (como parte del proceso sistemático de mejora continua de la industria de la ciencia).

Por tanto, la Administración española, consciente de que el entorno de la industria de la ciencia desarrolla una parte importante de su actividad a través del programa asociado a la red europea ESFRI, además de acciones de divulgación, información, promoción, y puesta a disposición de instrumentos financieros, también apoya el ciclo de vida de los proyectos y las actividades consorciadas de investigación fundamental desarrolladas en las grandes instalaciones científicas que tuvieran el suficiente grado de excelencia como para ser parte del mapa de la red.

5. Conclusiones

Por todo lo expuesto en este artículo, es preciso seguir apostando por este segmento industrial, que es la industria de la ciencia, al reconocer su carácter de vanguardia de la tecnología y las externalidades que este conocimiento técnico induce sobre otras actividades económicas.

Más allá del planteamiento economicista para medir el impacto de las inversiones en grandes instalaciones científicas internacionales, hemos podido demostrar el impacto que la IdC tiene en otras actividades industriales

en España en forma de transferencia de tecnología hacia otros sectores y, transversalmente, entre infraestructuras de distintos campos científicos. Por medio de una serie de casos de éxito se puede visualizar que la industria española de la ciencia ocupa nichos de excelencia tecnológica y que sus perspectivas son prometedoras, a la vista de los programas de inversiones que van a acometerse por parte de organizaciones y grandes instalaciones científicas internacionales en los próximos años.

La apuesta decidida de las políticas científica, tecnológica y de innovación por apoyar a la industria española de la ciencia ha rendido frutos materializados en forma de retornos industriales. Sin embargo, no podemos caer en la autocomplacencia, y es preciso incorporar a más empresas innovadoras y de alta tecnología a la industria de la ciencia. También se debe incrementar la dinamización y la agilidad con que se desarrollan en España los fenómenos de transferencia de tecnología desde la industria de la ciencia hacia los otros sectores industriales.

Referencias bibliográficas

[1] CENTRO DE INVESTIGACIÓN ECONÓMICA Y EMPRESARIAL (2013). *The Importance of Physics to the Economies of Europe*. European Physics Society, Londres, Reino Unido.

[2] CENTRO PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO INDUSTRIAL (2012). *Spanish Companies Activities in Fusion*. CDTI y CIEMAT, Madrid, España.

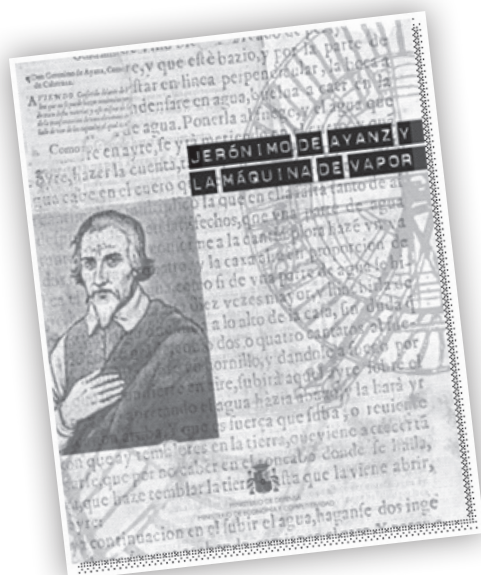
[3] CENTRO PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO INDUSTRIAL (2014). *Spanish Industry Capacities and Activities in Particle Physics*. CDTI, Madrid, España.

[4] CENTRO PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO INDUSTRIAL (2015). *Spanish Capacities in Technologies for Astronomy*. CDTI y Red de Infraestructuras de Astronomía, Madrid, España.

[5] MAPA DE INFRAESTRUCTURAS CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS SINGULARES (2015). Ministerio de Economía y Competitividad, Madrid, España.

[6] ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS (OCDE) (2014). *The Impacts of Large Research Infrastructures on Economic Innovation and on Society: Case Studies at CERN*. Paris, Francia.

Jerónimo de Ayanz y la máquina de vapor



Número de páginas: 114

Precio papel: 8,00 € (IVA incluido)

Precio ePub: 6,00 € (IVA incluido)

El objetivo de este libro es dar a conocer la figura del inventor español del siglo XVI Jerónimo de Ayanz, y mostrar los trabajos que desarrolló para utilizar la máquina de vapor con fines industriales. Tres de los nueve artículos son semblanzas biográficas de su vida militar. Se refirieron a él personajes tan importantes como Lope de Vega o Baltasar Gracián. Con un amplio contenido técnico el libro dedica un capítulo a la descripción de los “ingenios de vapor” propuestos por Ayanz; en otro se desarrollan sus “invenciones notables en navegación submarina, buceo y máquinas diversas”, y se completa con el estudio de un documento inédito. Este documento se trata de una carta dirigida por Ayanz, en 1613, año de su muerte, a Emanuel Filiberto de Saboya y contiene el primer capítulo de un libro científico que no ha sido localizado. Lo integran ocho hojas y siete dibujos realizados por el autor, en el que Ayanz se ocupa de la existencia del vacío, del movimiento perpetuo y de desmentir la presencia de una esfera de fuego más allá de la luna. Este documento, adquirido en 2013 por la Biblioteca Nacional, se reproduce íntegramente en el libro