# UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES

# TESIS DOCTORAL

La soberanía tecnológica como nueva racionalidad de la política de innovación: desarrollo conceptual, análisis empírico y nuevas herramientas de medición

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Aureliano Da Ponte

DIRIGIDA POR

Gonzalo León Serrano

María Isabel Álvarez González

© Aureliano Da Ponte, 2024

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES

# TESIS DOCTORAL

## LA SOBERANÍA TECNOLÓGICA COMO NUEVA RACIONALIDAD DE LA POLÍTICA DE INNOVACION: DESARROLLO CONCEPTUAL, ANÁLISIS EMPÍRICO Y NUEVAS HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR
Aureliano da PONTE

DIRECTORES
Gonzalo LEÓN SERRANO
María Isabel ÁLVAREZ GONZÁLEZ

© Aureliano da PONTE, 2024

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES

PROGRAMA DE DOCTORADO EN ECONOMÍA Y GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN

# TESIS DOCTORAL

## LA SOBERANÍA TECNOLÓGICA COMO NUEVA RACIONALIDAD DE LA POLÍTICA DE INNOVACION: DESARROLLO CONCEPTUAL, ANÁLISIS EMPÍRICO Y NUEVAS HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR

Aureliano da PONTE

DIRECTORES
Gonzalo LEÓN SERRANO
María Isabel ÁLVAREZ GONZÁLEZ

Madrid, 2024

***Dedicatoria***

*A mis hijas Agustina y Camila, que nunca dejen de pelear por sus sueños*

*A la memoria de mi mamá y nuestro hilo invisible,*

*A mi papá*

**Doctorado en Economía y Gestión de la Innovación**

# AGRADECIMIENTOS

El camino hasta llegar a este momento ha sido sinuoso, con momentos de alegría y otros más inciertos, cargados de dramatismos (artificiales como suele suceder en estos casos). Llegados a esta instancia, el saldo es desproporcionadamente positivo. Las innumerables anécdotas que contribuyeron a esta experiencia no hubiesen sido posibles sin la participación de muchas personas y, si bien es fundamental dar las gracias insistiendo en la sinceridad y en el significado que esa palabra tiene en este contexto puntual, muchas veces las palabras no logran expresar la profundidad de los sentimientos.

En primer lugar, quiero agradecer a mis directores de tesis, la Dra. Isabel Álvarez y el Dr. Gonzalo León. Sus consejos e intervenciones en distintas etapas de la elaboración de esta investigación fueron decisivas. Estas líneas no estarían siendo escritas sin su apoyo y contención. El compromiso y dedicación de cada uno de ustedes me ayudó a aprender y crecer en lo profesional y en lo personal. Isabel, tu paciencia y empuje fueron claves para superar crisis. Tu generosidad me permitió participar de actividades de formación en las cuales no solo incorporé conocimiento, sino que pude compartir momentos y mantener conversaciones con jóvenes investigadores y académicos de primer nivel.

Gonzalo probablemente apenas logre decir lo que ha significado para mi comenzar a trabajar contigo desde la etapa del MEGIN y casi por casualidad tener el honor de convertirme en tu último doctorando. Gracias a tu sabio consejo encontré mi tema de tesis, que no solo me resulta apasionante, sino que considero muy relevante en el mundo que se viene.

Una mención para Jordi Molas Gallart por sus valiosos comentarios durante mis actividades en Ingenio que me ayudaron a agudizar mi perspectiva. Tan importante como ello ha sido debatir estos asuntos compartiendo paella valenciana. Otra mención especial para Daniele Archibugi, por recibirme en el CNR en Roma y brindarme generosamente su conocimiento, así como los manjares romanos a la carbonara.

A uno de mis maestros en Argentina, el Dr. Justino Bertotto, quien no solo ha confiado en mi desde hace muchos años y me alienta a superarme, sino que sobre todo me honra con su amistad. Asimismo, a mis colegas de la Maestría en Estrategia y Geopolítica de la Escuela Superior de Guerra. A mi querido amigo Federico Divenanzio, tanto por sus valiosas sugerencias como por las horas que dedicó a discutir aspectos centrales de esta investigación. A Alberto por sus enseñanzas y palabras adecuadas en diferentes momentos clave. A Laura, por sus pacientes lecturas de los borradores del manuscrito. A Elías por sus consejos y apoyo en momentos difíciles, siento gran orgullo de ser su hermano. A José María Insenser por su generosidad e invalorables aportes a partes de esta investigación. A Chizu, por su cariño permanente y su apoyo invalorable sin los cuales esta historia hubiese quedado a mitad de camino. A mis hermanos de la vida, con quienes conformamos los 4 fantásticos (Ale, Ani y Leo).

Finalmente, a la *Chiqui*, por haber dejado Buenos Aires poco más de 5 años para acompañarme en esta aventura. Mientras que el camino no siempre fue sencillo, sin su apoyo, paciencia y contención a lo largo de los años definitivamente no estaría escribiendo estas líneas.

Madrid, 1 de octubre de 2024

**Doctorado en Economía y Gestión de la Innovación**

## Tabla de contenido


RESUMEN ..... i
SUMMARY ..... v
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN ..... 1
1.1 Motivación ..... 2
1.2 Pregunta de investigación y Objetivos ..... 6
1.3 Estructura de la tesis ..... 8
CAPÍTULO II. CRISIS DEL SISTEMA GLOBAL DE INNOVACIÓN Y CAMBIOS EN TABLERO GEOESTRATÉGICO ..... 13
2.1 Internacionalización económica y fragmentación productiva ..... 13
2.2 Colaboración internacional, generación de conocimiento e innovación tecnológica ..... 14
2.3 Cadenas de Valor Mundial ..... 16
2.4 Cambios en el tablero geoestratégico ..... 18
2.4.1 Resurgimiento del proteccionismo, la antesala de una nueva globalización ..... 18
2.4.2 Pugnacidad entre Estados Unidos - China y la crisis del sistema global de innovación . 22
2.4.3 Geopolítica de la tecnología y la innovación: de la diplomacia científica a la diplomacia tecnológica ..... 25
2.4.4 La "Guerra de los chips" y los cambios en el tablero geoestratégico ..... 27
2.5 Soberanía tecnológica como discurso político de la UE ..... 31
2.5.1 Soberanía Tecnológica y discurso político ..... 31
2.5.2 La crisis del orden internacional liberal como desafío a la Unión Europea ..... 35
2.6 Conclusiones ..... 39
CAPÍTULO III. SOBERANÍA TECNOLÓGICA Y POLITICAS DE LA INNOVACIÓN ..... 42
3.1 Interdependencia en condiciones de incertidumbre ..... 42
3.1.1 Riesgo geopolítico e interdependencia ..... 42
3.1.2 Capacidades tecnológicas y productivas "domésticas" como activos estratégicos ..... 46
3.2 Racionalidades en debate respecto a la Soberanía tecnológica ..... 50
3.2.1 Soberanía tecnológica desde la perspectiva de las asociaciones industriales ..... 50
3.2.2 Soberanía tecnológica como marco académico ..... 53
3.3 Fundamentos de la soberanía tecnológica ..... 59
3.3.1 Definición y dimensiones constitutivas ..... 59
3.3.2 Política de Innovación orientada a la Soberanía Tecnológica (PIST) ..... 61
3.3.3 Revisitando la dimensión externa y las redes de cooperación internacional ..... 64
3.4 Soberanía Tecnológica y Autonomía estratégica: delimitaciones conceptuales ..... 68
3.5 Conclusiones ..... 71

CAPÍTULO IV. HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN: EL ÍNDICE DE LA SOBERANÍA TECNOLÓGICA ..... 73
4.1 ¿Por qué medir la Soberanía tecnológica? ..... 73
4.2 Los índices sintéticos: explorando alternativas ..... 76
4.3 El Índice de Soberanía Tecnológica ..... 81
4.3.1. Estructura ..... 82
4.3.2. Metodología ..... 86
4.4 Conclusiones ..... 91
CAPÍTULO V. ÍNDICE DE SOBERANÍA TECNOLÓGICA APLICADO A LAS COMUNICACIONES AVANZADAS 5G EN LA UNIÓN EUROPEA ..... 93
5.1 Introducción ..... 93
5.2 Índice de Soberanía Tecnológica de la UE sobre comunicaciones avanzadas 5G ..... 95
1.2.1. Datos y metodología del IST para 5G ..... 100
1.2.2. IST para comunicaciones móviles avanzadas 5G ..... 106
5.3 Discusión ..... 109
5.3.1 ¿Qué dice la "fotografía" que provee el IST? ..... 109
5.3.2 ¿Qué ocurrió desde entonces? ..... 115
5.4 Conclusiones ..... 120
CAPÍTULO VI. SOBERANIA TECNOLOGICA Y SEMICONDUCTORES ..... 122
6.1 Introducción ..... 122
6.2 La industria de semiconductores ..... 125
6.2.1 La Cadena de Valor Mundial de los semiconductores ..... 126
6.3 El talón de Aquiles de la UE-27: ¿Cuáles son las opciones de la UE en la cadena de valor de los semiconductores avanzados? ..... 130
6.3.1 Geografía y economía de los chips semiconductores avanzados ..... 130
6.3.2 Diseño avanzado de semiconductores: actores y campo organizativo ..... 132
6.3.3 Fabricación avanzada de semiconductores: actores y campo organizativo ..... 133
6.4 Debate sobre la situación de la UE ..... 135
6.4.1 IST para semiconductores ..... 136
6.4.2 ¿Qué dice la "fotografía" que provee el IST? ..... 144
6.5 Tendencias en circuitos integrados para IA ..... 148
6.6 Política de innovación orientada a la soberanía tecnológica en la tecnología de semiconductores: propuestas para la UE ..... 151
6.6.1 Implicaciones ..... 153
6.7 Conclusiones ..... 161
CAPÍTULO VII. SOBERANÍA TECNOLÓGICA Y COLABORACIÓN INTERNACIONAL .. 164

7.1 Introducción ..... 164
7.2 Soberanía tecnológica y dependencia internacional de las co-invenciones ..... 166
7.3 Metodología y datos ..... 168
7.4 Una descripción de las principales tecnologías digitales ..... 171
7.5 Cartografía de las fuentes internacionales de conocimiento en tecnologías digitales ..... 181
7.5.1 Colaboración internacional de países y empresas de la Unión Europea ..... 181
7.5.2 Implicaciones políticas para la UE ..... 186
7.6 Conclusiones ..... 189
CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES ..... 193
8.1 Conclusiones ..... 193
8.2 Implicaciones ..... 198
8.3 Limitaciones de la investigación ..... 200
8.4 Futuras líneas de investigación ..... 202
Referencias ..... 205
Apéndices ..... 225
Listado de Acrónimos ..... 225
Apéndice 5.1 Definición detallada indicadores individuales (pilar Activos y competencias) ..... 226
Apéndice 5.2 Resultados indicadores individuales ..... 228
Apéndice 6.1 Resultados indicadores individuales ..... 232
Apéndice 7.1 Desglose sectorial ..... 235
Apéndice 7.2. Empresas de la UE, por sectores ..... 236
Apéndice 7.3. Clasificación de las tecnologías y principales grupos de la CIP ..... 237

# Índice de Tablas

Tabla 1.1. Publicaciones ..... 11
Tabla 3.1 Principales contribuciones académicas al concepto de soberanía tecnológica ..... 59
Tabla 3.2 Política de Innovación orientada por la Soberanía Tecnológica (PIST) ..... 63
Tabla 4.1 Pilar de activos y competencias ..... 84
Tabla 4.2 Pilar de condicionantes ..... 85
Tabla 4.3 Pilares impulsores de la soberanía tecnológica ..... 85
Tabla 5.1 Características de la Red 5G desde la perspectiva tecnológica ..... 96
Tabla 5.2 Indicadores compuestos Activos y competencias ..... 101
Tabla 5.3 Definiciones de los indicadores compuestos para Condicionantes ..... 104
Tabla 5.4 Resultados del Índice de Soberanía Tecnológica 5G ..... 108
Tabla 5.5 Principales dependencias identificadas ..... 113
Tabla 6.1 Indicadores compuestos Activos y competencias ..... 138
Tabla 6.2 Definiciones de los indicadores compuestos para Condicionantes ..... 140

Tabla 6.3 Resultados del Índice de Soberanía Tecnológica en semiconductores ..... 141
Tabla 6.4 Inversiones públicas para el sector de chips..... 148
Tabla 6.5 Principales opciones identificadas desde la perspectiva de la UE ..... 153
Tabla 7.1 Distribución de solicitudes de patentes por campos tecnológicos Economías UE ..... 177
Tabla 7.2 Número de empresas inversoras en I+D más importantes en sectores seleccionados, entre las 2500 primeras del mundo ..... 178
Tabla 7.3 Medida Relativa de Tecnologías digitales (valores del MRTD)..... 180
Tabla 7.4 Patentes por país y con colaboración internacional en la UE..... 182
Tabla 7.5 Patentes domesticas e inventores extranjeros, por industria y residencia del inventor ... 184

## Índice de Figuras

Figura 1.1 Esquema ..... 9
Figura 1.2 Esquema complementario ..... 9
Figura 3.1 Riesgo geopolítico e interdependencia..... 45
Figura 3.2 Soberanía Tecnológica y redes externas de cooperación..... 66
Figura 3.3 Relación entre Soberanía Tecnológica y Autonomía estratégica..... 71
Figura 4.1 Estructura del IST ..... 83
Figura 6.1 Cadena de valor de los semiconductores ..... 129
Figura 6.2 Brecha de talento potencial de mano de obra en semiconductores..... 160
Figura 7.1. Bases para desarrollar una estrategia geo-tecnológica para la generación de conocimientos en tecnologías digitales ..... 186

## Índice de Gráficos

Gráfico 2.1 Eventos geopolíticos y respuestas políticas de la UE en el siglo XXI ..... 21
Gráfico 6.1 Evolución de la facturación mundial vs. europea de semiconductores 2000-2022..... 125
Gráfico 6.2 Distribución de las ventas mundiales de semiconductores por segmentos de productos (2021) ..... 126
Gráfico 6.3 Valor añadido total de la industria mundial de semiconductores..... 131
Gráfico 6.4 Cuotas del mercado europeo de producción de circuitos integrados en distintos sectores ..... 132
Gráfico 7.1 Solicitudes de patentes para subcampos tecnológicos seleccionados, OEP (2010 - 2021) ..... 172
Gráfico 7.2 Solicitudes de patentes por campos técnicos digitales (todos los países), OEP (2010-2021) ..... 173
Gráfico 7.3 Evolución de las solicitudes de patentes en Comunicaciones Digitales ..... 174
Gráfico 7.4 Evolución de la relación concesiones/solicitudes en Comunicación Digital ..... 174
Gráfico 7.5 Evolución de las solicitudes de patentes en Telecomunicaciones..... 175
Gráfico 7.6 Evolución de la ratio Concesiones/Solicitudes en Telecomunicaciones..... 175

**Doctorado en Economía y Gestión de la Innovación**

# RESUMEN

## LA SOBERANÍA TECNOLÓGICA COMO NUEVA RACIONALIDAD DE LA POLÍTICA DE INNOVACION: DESARROLLO CONCEPTUAL, ANÁLISIS EMPÍRICO Y NUEVAS HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN

TESIS DOCTORAL
Candidato a doctorado:
**AURELIANO DA PONTE VAINMAN**

DIRECTORES
GONZALO LEÓN SERRANO
MARÍA ISABEL ÁLVAREZ GONZÁLEZ

La "soberanía tecnológica" (ST) emerge como un tema de investigación académica a partir de un debate originado en la política y sustentado en postulados y resultados económicos. Su importancia radica en la convergencia de dos procesos simultáneos: las transformaciones estructurales y los eventos contingentes que moldean el panorama geoestratégico. Las preguntas de investigación planteadas por esta tesis se basan en dos pilares fundamentales: uno contextual-conceptual y otro empírico-aplicado. Estos pilares se desarrollan a lo largo de los siete capítulos que componen la tesis, abordando siete objetivos específicos y culminando en las conclusiones. El objetivo general es desarrollar conceptual y empíricamente la noción de soberanía tecnológica (ST) así como los fundamentos que la justifican como nueva racionalidad de la política de innovación. A continuación, se resumen las principales contribuciones.

La primera aportación surge de considerar a la ST como una problemática emergente de un escenario en el que se ha intensificado sustancialmente la rivalidad estratégica entre actores clave. En el centro de la escena, la tensión entre Estados Unidos y China, particularmente en términos de poder estructural y de innovación, presenta una naturaleza que le confiere características inéditas. La comprensión de este proceso requiere construir un conjunto de herramientas de análisis que vinculen diferentes marcos desarrollados para explicar dinámicas pasadas, pero menos adecuadas para desentrañar dinámicas actuales y futuras que afectarán al sistema de innovación a nivel global, pero también nacional (reveladas por la bifurcación económico-tecnológica y la racionalidad geopolítica).

La ST constituye un elemento clave para la acción política de la UE, particularmente en virtud de las vulnerabilidades tecnológicas y productivas del bloque. Es la respuesta a procesos complejos que configuran un periodo de incertidumbre en el cual la exacerbación de la competencia mundial basada en la tecnología ha generado una creciente demanda para que los estados (solos o en coalición) preserven su capacidad de actuar estratégicamente en la consecución de sus objetivos.

La segunda aportación es la propuesta de definición de ST que asume como punto de partida el hecho de que el poder de agencia de un actor se funda en sus propias capacidades, categorizadas en esta tesis como Activos y Competencias. Los activos y las competencias que un país (y sus empresas) poseen en relación con un campo determinado de la tecnología o un sistema tecnológico complejo son los cimientos que posicionan a dicho actor frente a otros. Esta dimensión interna es estratégica y precedente a la dimensión externa que la complementa (cooperación internacional), y ambas dimensiones tienen un lugar equivalente. Requisitos como el capital humano, las infraestructuras y los marcos normativos son determinantes cruciales, al igual que lo es el contar con capacidades de investigación y desarrollo (I+D) sólidas, así como con capacidades de producción específicas. La existencia de este conjunto permite tomar decisiones proactivas, pero también gestionar riesgos potenciales y afrontar situaciones hostiles.

La tercera aportación es la delimitación fundamentada de la relación entre la ST y la autonomía estratégica. Al respecto, es pertinente señalar que la soberanía tecnológica actúa como un “habilitador” necesario para alcanzar una autonomía estratégica efectiva. Los márgenes de libertad de acción para adoptar decisiones estratégicas al tiempo que se garantizan las interdependencias de cooperación tecnológica con otros países dependen del nivel de soberanía tecnológica. En la gobernanza de la economía y de la innovación, cada actor prioriza sus intereses, incluso cuando participa en procesos de cooperación con países aliados. Para la UE, sin un adecuado nivel de ST el objetivo de la autonomía estratégica abierta carece de uno de los cimientos elementales que lo sostengan.

La cuarta aportación destaca la concurrencia de la inteligencia estratégica como herramienta de análisis de un enfoque de ST porque es compatible con el empleo de indicadores, pero además porque incorpora un análisis en profundidad que apunta a identificar aspectos clave relacionados con una tecnología o sistema tecnológico, añadiendo una narrativa relevante para la toma de decisiones. Comprender los diversos factores relacionados con una tecnología favorece una articulación entre las dimensiones geopolítica y económica más fluida y consistente. Esto a su vez facilita que se complementen los intereses públicos y privados para abordar de forma sostenible las posibles soluciones a las brechas existentes.

La quinta aportación es la combinación y complementación entre la metodología cualitativa y cuantitativa para abordar las problemáticas asociadas a la ST. La propuesta y aplicación de un Índice de Soberanía Tecnológica (IST), busca identificar las fortalezas vis a vis los factores condicionantes (tecnologías, subsistemas y los componentes de terceros) que impactan significativamente en el nivel de ST. Este enfoque mixto podría ayudar a los responsables políticos y a las instituciones a adoptar cursos de acción basados en datos y evidencias sólidas.

La sexta aportación es la definición y caracterización de la noción de Política de Innovación orientada a la ST (PIST), asignándole un lugar decisivo como racionalidad impulsora de la consecución de objetivos geoeconómicos. En su diseño se priorizan sectores y tecnologías alineados con un enfoque holístico resultante de una dinámica bidireccional ascendente-descendente producto del alineamiento de los intereses públicos y privados. Las implicaciones de diseñar e implementar una PIST tienen un doble propósito: reducir las vulnerabilidades, y promover los pilares que conforman la base del posicionamiento de un país (y el de sus empresas).

La séptima y última aportación es el desarrollo de la dimensión externa. A partir de un estudio de la colaboración internacional en países y empresas de la UE que sugiere que existen diversas alternativas para enfocar una estrategia europea de innovación en tecnologías digitales que sea compatible con la agenda más general de la ST, se destaca que una estrategia proclive a generar interdependencias favorables para el bloque debería apoyarse en tres

componentes: tecnológico, organizacional y geopolítico, lo cual agrega una dimensión no convencional a las decisiones en materia de cooperación internacional para la innovación.

En conclusión, la tesis ha contribuido a la comprensión teórica y práctica de la soberanía tecnológica, avanzando la investigación en políticas de innovación y formulando elementos que puedan ser eventuales insumos de las estrategias efectivas para su aplicación.

Palabras clave: Soberanía Tecnológica, innovación, geopolítica, Relaciones Internacionales, Unión Europea, índice sintético, colaboración internacional, patentes, semiconductores, Inteligencia Artificial, Comunicaciones avanzadas 5G.

**Doctorado en Economía y Gestión de la Innovación**

## SUMMARY

TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY AS A NEW RATIONALITY OF INNOVATION POLICY: CONCEPT DEVELOPMENT, EMPIRICAL ANALYSIS AND NEW TOOLS OF MEASUREMENT


DOCTORAL DISSERTATION

PhD Candidate:

**Aureliano da Ponte Vainman**

Supervisors

Gonzalo LEÓN SERRANO

María Isabel ÁLVAREZ GONZÁLEZ



Technological sovereignty' (TS) emerges as a subject of academic research from a debate rooted in politics and underpinned by economic postulates and outcomes. Its importance lies in the convergence of two simultaneous processes: structural transformations and contingent events that shape the geostrategic landscape. The research questions posed by this thesis are based on two fundamental pillars: a contextual-conceptual one and an empirical-applied one. These pillars are developed throughout the seven chapters that make up the thesis, addressing seven specific objectives and culminating in the conclusions. The general objective is to develop conceptually and empirically the notion of technological sovereignty (TS) and the foundations that justify it as a new rationality of innovation policy. The main contributions are summarised below.

The first contribution arises from considering TS as an emerging issue in a scenario in which strategic rivalry between key actors has substantially intensified. At centre stage, the tension between the United States and China, particularly in terms of structural power and innovation, is of a nature that gives it unprecedented characteristics. Understanding this process requires building a set of analytical tools that link different frameworks developed to explain past dynamics, but less well suited to unravel current and future dynamics that will

affect the innovation system at the global level, but also at the national level (revealed by economic-technological bifurcation and geopolitical rationality).

The TS constitutes a key element for EU policy action, particularly in view of the technological and productive vulnerabilities of the bloc. It is the response to complex processes shaping a period of uncertainty in which the exacerbation of technology-based global competition has generated a growing demand for states (alone or in coalition) to preserve their capacity to act strategically in pursuit of their objectives.

The second contribution is the proposed definition of ST that assumes as its starting point the fact that an actor's agency power is based on its own capabilities, categorised in this thesis as Assets and Competences. The assets and competences that a country (and its firms) possess in relation to a given field of technology, or a complex technological system are the foundations that position that actor vis-à-vis others. This internal dimension is strategic and precedes the external dimension that complements it (international cooperation), and both dimensions have an equivalent place. Requirements such as human capital, infrastructures and regulatory frameworks are crucial determinants, as are strong research and development (R&D) capabilities and specific production capacities. The existence of this set enables proactive decisions to be taken, but also potential risks to be managed and hostile situations to be confronted.

The third contribution is the well-founded delineation of the relationship between TS and strategic autonomy. In this regard, it is pertinent to note that technological sovereignty acts as a necessary ‘enabler’ for achieving effective strategic autonomy. The margins of freedom of action to make strategic decisions while ensuring technological cooperation interdependencies with other countries depend on the level of technological sovereignty. In the governance of the economy and innovation, each actor prioritises its interests, even when engaging in cooperation processes with allied countries. For the EU, without an adequate level of TS, the objective of open strategic autonomy lacks one of the elementary foundations to sustain it.

The fourth contribution highlights the concurrence of strategic intelligence as a tool for analysis of a TS approach because it is compatible with the use of indicators, but also because it incorporates an in-depth analysis that aims to identify key aspects related to a technology or technological system, adding a relevant narrative for decision-making. Understanding the various factors related to a technology favours a more fluid and consistent articulation between the geopolitical and economic dimensions. This in turn facilitates the complementarity of public and private interests to address possible solutions to existing gaps in a sustainable way.

The fifth contribution is the combination and complementarity between qualitative and quantitative methodology to address the issues associated with the TS. The proposal and application of a Technology Sovereignty Index (TSI) seeks to identify the strengths vis-à-vis the conditioning factors (technologies, subsystems and third-party components) that significantly impact on the level of TS. This mixed approach could help policy makers and institutions to adopt courses of action based on solid data and evidence.

The sixth contribution is the definition and characterisation of the notion of ST-oriented Innovation Policy (PIST), assigning it a decisive place as a driving rationale for achieving geo-economic objectives. Its design prioritises sectors and technologies aligned with a holistic approach resulting from a two-way upstream-downstream dynamic resulting from the alignment of public and private interests. The implications of designing and implementing a PIST have a dual purpose: to reduce vulnerabilities, and to promote the pillars that form the basis of a country's positioning (and that of its companies).

The seventh and final contribution is the development of the external dimension. Based on a study of international collaboration in EU countries and companies that suggests that there are various alternatives for approaching a European strategy for innovation in digital technologies that is compatible with the more general TS agenda, it is highlighted that a strategy prone to generate favourable interdependencies for the bloc should be supported by

three components: technological, organisational and geopolitical, which adds an unconventional dimension to decisions on international cooperation for innovation.

In conclusion, the thesis has contributed to the theoretical and practical understanding of technological sovereignty, advancing research on innovation policy and formulating elements that can be eventual inputs to effective strategies for its implementation.

Keywords: Technological sovereignty, innovation, geopolitics, international relations, European Union, synthetic index, international cooperation, patents, semiconductors, artificial intelligence, 5G advanced communications.

## **CAPÍTULO I.** INTRODUCCIÓN

La Primera subdirectora Gerente del Fondo Monetario Internacional (FMI), Gita Gopinath, inició una conferencia en el Instituto Stanford de Investigación sobre Política Económica en mayo de 2024 afirmando que, tras un período de varias décadas de intensa expansión internacional de la actividad económica a través del proceso de globalización, los países están reevaluando sus posiciones frente a socios comerciales. Ello sería consecuencia de una reacción que obedece a la búsqueda de resiliencia económica por parte de los gobiernos provocada por sucesivos eventos disruptivos.

La intervención de la Sra. Gopinath mencionó una serie de cuestiones relacionadas con la problemática que se aborda en esta tesis de las cuales interesa mencionar las siguientes. Primero, las restricciones comerciales han aumentado bruscamente, así como las sanciones financieras en los últimos años. Segundo, "la proporción entre el comercio de mercancías y el PIB se ha mantenido prácticamente estable, fluctuando entre el 41% y el 48%" en las recientes décadas. Tercero, los datos no muestran, por ahora, signos claros de desglobalización a nivel agregado. Estos elementos no le impidieron señalar que "*bajo la superficie, hay cada vez más signos de fragmentación. Los flujos comerciales y de inversión se reorientan en función de criterios geopolíticos*", agregando que "*si la tendencia continúa, podríamos asistir a un retroceso generalizado de las reglas de juego mundiales y, con ello, a un retroceso significativo de los beneficios de la integración económica*" [1]. Justamente es este argumento donde parece asomar la punta del iceberg, al margen de que se coincida o no total o parcialmente con su diagnóstico[2].

La noción de "soberanía tecnológica" (ST) fue adquiriendo una creciente centralidad desde la crisis provocada por el COVID-19[3], impulsada tanto por los impactos coyunturales como los efectos sistémicos generados[4]. Sin embargo, no existe consenso sobre la definición y

[1] La versión final, así como el video del evento pueden consultarse en: https://www.imf.org/en/News/Articles/2024/05/07/sp-geopolitics-impact-global-trade-and-dollar-gita-gopinath

[2] Un argumento similar ha elaborado *The Economist* (2024) en el que sostiene que el panorama se revela contradictorio ya que la economía mundial parece resiliente a diferentes turbulencias que la afectan, pero muestra signos de fragilidad al observarla en profundidad.

[3] "*La soberanía tecnológica ha avanzado en el debate político desde 2019, y predecimos que es probable que permanezca como un tema para los responsables políticos, y un objetivo de las iniciativas políticas*" (March y Schieferdecker, 2023).

[4] Entre los primeros, la pandemia dejó expuestas las dependencias de insumos y productos de muchos países y resignificó la relevancia de la capacidad productiva y de innovación. Entre los segundos, desencadenó una creciente preocupación en las economías desarrolladas especialmente respecto al acceso y disponibilidad de materias primas críticas, insumos, bienes intermedios y tecnologías, que se extendió a nivel global influyendo a otras economías emergentes. Un ejemplo ha sido el Foro Internacional en tecnologías críticas y Soberanía tecnológica organizado por el Instituto de Estrategia Futura de la

alcance del término ni tampoco sobre sus implicaciones políticas. Esta tesis pretende contribuir a este debate científico a través del desarrollo conceptual y empírico del concepto de soberanía tecnológica como un aspecto esencial y habilitador, aunque diferenciado en su significado y alcance, de la noción de Autonomía Estratégica.

### 1.1 Motivación

El fenómeno de la "globalización" se aceleró en las últimas décadas del siglo XX, configurando una nueva era de competencia internacional que rediseñó la producción y el comercio mundiales con efectos sobre la organización de las industrias y el funcionamiento de las economías nacionales. Transcurridas poco más de dos décadas del siglo XXI, dos dinámicas en apariencia contradictorias han ido desarrollándose en el seno del orden internacional liberal.

Por una parte, un conjunto de acontecimientos contingentes de alto impacto ha generado un cuestionamiento creciente a ese orden mundial, en particular la percepción respecto a sus perspectivas de futuro[5]. Por otra parte, bajo la superficie se advierten señales de movimientos tectónicos que evolucionan en sentido contrario al observado en las décadas pasadas donde predominó la integración económica[6].

Las evaluaciones menos optimistas apuntan a las crecientes tendencias proteccionistas de Estados Unidos y otros países avanzados como una respuesta a la pérdida de su base industrial y de empleo como consecuencia de las deslocalizaciones a países de bajo coste (Gopalakrishnan *et al*., 2022; Mariotti, 2022). Este proceso, lejos de circunscribirse a la esfera económica es percibido por el primero como una erosión a su liderazgo tecnológico y militar (Darby y Sewal, 2021; Wang, 2023), lo cual viene afectando de manera más o menos directa un amplio abanico de dimensiones que abarcan desde la organización de la

Universidad Nacional de Seúl, la Fundación Coreana de Estudios Avanzados y el Instituto Fraunhofer de Investigación en Sistemas e Innovación (ISI) que se desarrolló en octubre de 2022 en Seúl. Para más detalles puede verse: https://techforum2022.com/

[5] La crisis de 2008, junto a la pandemia y la guerra de Ucrania configuran tres eventos que han puesto en primer plano el riesgo, la incertidumbre y la resiliencia, contribuyendo a una creciente "securitización" de las políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación (OECD, 2023; López Garrido, 2023).

[6] Capri (2020) estudia cómo el tecno-nacionalismo, al que define como *"un comportamiento mercantilista que vincula directamente la innovación tecnológica y la empresa con la seguridad, la prosperidad y la estabilidad de una nación"*, está reconfigurando la diplomacia entre los Estados o grupos de estados en la economía mundial actual, forzando a los gobiernos a buscar alianzas y asociaciones estratégicas que remodelarán profundamente las instituciones internacionales y los marcos normativos que rigen el comercio mundial.

producción y las relaciones comerciales hasta la elaboración de las normas técnicas que ordenan la economía mundial (Björk y Rühlig, 2022)[7].

El aumento de las tensiones redibuja el mapa del flujo de producción, comercio y financiación (Aiyar *et al*., 2023)[8]. La lógica de bloques geopolíticos, económicos y paulatinamente caracterizados también por lo tecnológico dominan sobre "lo global". Mientras que la discusión sobre este proceso está abierta, un denominador común a los diferentes puntos de vista es que la seguridad (nacional y económica) y no la eficiencia económica es el criterio rector que influye sobre los actores estatales y crecientemente sobre muchas empresas[9]. Mientras que China busca posicionarse desde un lugar de liderazgo y control (Kroll y Frietsch, 2022), acorde a su peso económico y tecnológico específico, Estados Unidos procura defender su posición a través de un comportamiento similar en términos de prácticas proteccionistas que le resultan favorables a sus intereses (Eliasson *et al*., 2023). Ello ha derivado, esquemáticamente, en dos apreciaciones.

Una aproximación incluida en la noción de "desacoplamiento" al menos parcial entre estas dos economías, pero con efectos globales (Bateman, 2022). En este caso, la valoración está asociada a la percepción de inminencia, la cual ha motivado estudios de los posibles impactos en diversos escenarios (Cerdeiro *et al*., 2021; Cáceres *et al*., 2019). Por otro lado, un abordaje centrado en la idea de "bifurcación" que sugiere un sendero menos lineal, mucho más gradual y heterogéneo (García-Herrero, 2023)[10]. Estos planteamientos están apoyados por

[7] Este tema estuvo ausente durante mucho tiempo de la competición de poder entre Estados, pero ha pasado a ocupar un lugar central en las consideraciones estratégicas de China, Estados Unidos (EE.UU.) y la Unión Europea (UE). Por ejemplo, la Brújula Digital 2030 de la UE refleja la relevancia de las normas técnicas y destaca la intención de cooperar con socios afines en este campo. El Consejo de Comercio y Tecnología UE-EE.UU., cuyo propósito es facilitar la coordinación en cuestiones comerciales, económicas y tecnológicas globales, ha incorporado un grupo de trabajo de cooperación en materia de normalización técnica. China publicó en octubre de 2021 una nueva estrategia nacional de normalización técnica que subraya la importancia estratégica atribuida a las normas técnicas. En marzo de ese mismo año, este país adoptó el XIV Plan Quinquenal mencionando las normas técnicas en casi un tercio de sus capítulos (Björk y Rühlig, 2022, p. 78). En el capítulo V se profundiza en este tema focalizado al caso 5G.

[8] Proyectos como la Iniciativa Belt and Road (BRI) de China, así como el Acuerdo Estados Unidos-México-Canadá (USMCA) y el nuevo Marco Estratégico del hemisferio occidental de Estados Unidos con respecto a América Latina se inscriben en esta lógica.

[9] En 2019 la publicación *The Economist* utilizó el término "*slowbalisation*" para describir el frágil estado del comercio internacional. Algunos analistas sostienen la idea de ralentización e incluso la reversión permanente de la globalización argumentando que estamos frente a un nuevo tiempo de desglobalización mundial o re-globalización (Buckley, 2020; Petricevic y Teece, 2019). Otros describen el proceso como de desacoplamiento con efectos estructurales (Witt, 2019). Un tercer grupo subraya los cambios en su naturaleza (Gopinath, 2024; Cernat, 2022a; The Economist, 2024 y 2022).

[10] El desacoplamiento es un concepto que los economistas han tomado prestado de la ingeniería y es lo contrario del acoplamiento estrecho. Implica una acción repentina de separación (García Herrero, 2023).

fundamentos distintos y, más allá de la consistencia de cada uno, tienen implicaciones diferentes para la política de innovación de la Unión Europea (UE).

No resulta casual entonces que el entrelazamiento entre la lógica del poder, la innovación y la política internacional haya vuelto a ser revalorizada en forma explícita a través de la noción de "*poder de innovación*" (Schmidt, 2023), concepto desarrollado en un artículo publicado en la influyente revista *Foreign Affairs*[11]. Kennedy y Lim (2018) desarrollan un análisis en el mismo sentido cuando aluden al imperativo de la innovación, entendido como "la necesidad de adquirir y desarrollar nuevas tecnologías para superar los retos estructurales a los que se enfrentan los Estados de renta media y continuar su ascenso internacional" (p. 554). La innovación tecnológica remite a la capacidad de inventar, adoptar y adaptar nuevas tecnologías, pero también puede incluir nuevas funciones de tecnologías maduras que mejoren sus prestaciones, o la combinación de ambas, lo cual contribuye tanto al poder duro (militar o sancionador) como al poder blando (entre ellos, el económico y cultural) de un país (Schmidt, 2023; Nye, 2005). A su vez, la innovación también determina el poder económico, ya que otorga a los Estados influencia sobre las cadenas de suministro y la capacidad de establecer las reglas para los demás (Farrell y Newman, 2019)[12].

La consecuencia es que la capacidad de un país para proyectar poder en la esfera internacional -militar, económica y culturalmente- depende de su capacidad para innovar más rápido y mejor que sus competidores[13]. Por ello, la pérdida de capacidades productivas especializadas y de capital humano, relacionadas con una serie de tecnologías cada vez más relevantes para el siglo XXI, es un tema de preocupación en la UE (Ragonnaud, 2022; EU, 2022; EPRS, 2022; EC, 2021a)[14].

[11] En el campo de las Relaciones Internacionales, los trabajos clásicos de Gilpin (1975 y 1981) y de Strange (1994) dan cuenta de que esta disciplina ha sido asumido hace varias décadas que la innovación tecnológica desempeña un papel clave en las transiciones de poder y en la política internacional en general.
[12] Los países que dependen de los recursos naturales o del comercio, especialmente los que deben importar materias primas fundamentales o tierras raras, se enfrentan a vulnerabilidades que otros no tienen.
[13] La OMPI (2023) agrega que la capacidad de explotar nuevas combinaciones tecnológicas amplia el punto de vista para abarcar la innovación incremental pero también el de "innovación sin investigación".
[14] En junio de 2023, Josep Borrell, el Alto Representante de la Unión Europea para Asuntos Exteriores y Política de Seguridad y vicepresidente de la Comisión Europea, presentó una comunicación en la cual la Seguridad económica es jerarquizada como fundamento de la política exterior y de seguridad de la UE. Al respecto puede consultarse: https://www.eeas.europa.eu/eeas/economic-security-new-horizon-eu-foreign-and-security-policy_en

La importancia de la producción dentro de la economía de la innovación constituye un asunto significativo a la luz de lo sucedido durante la pandemia de Covid-19. Entonces, la preocupación por la falta de suministros médicos esenciales, semiconductores, así como otros bienes y materiales en Estados Unidos motivó que el tema haya recobrado notoriedad. Shih, Huckman, y Wyner (2021) identifican como causa a la erosión de los "bienes industriales comunes" del país, entendidos como "*las capacidades nacionales necesarias para apoyar el desarrollo y la producción de muchos bienes considerados críticos para los intereses estadounidenses"*. Igualmente, hace una década Andreoni y Gregory (2013) ya habían advertido que la sobreestimación de ventajas para las empresas industriales y/o proveedores de servicios incidió en las políticas de subcontratación y externalización, perjudicando las cadenas de provisión local.

Mientras que el debate excede los alcances de esta tesis doctoral, sus derivaciones prácticas son las que configuran los factores contextuales de emergencia del problema de investigación que serán ampliados en el capítulo II. Además, ubican el tópico dentro de una problemática teórica y empírica más amplia relacionada con la necesidad de replantearse la racionalidad sobre la cual los países diseñan su política de innovación e implementan las estrategias derivadas, ya sea solos o en coalición, asunto que será discutido en el capítulo III.

En tal virtud, reflexionar sobre la ST requiere una perspectiva que no se limite a un ejercicio teórico, sino que sea pensada desde la acción gubernamental, las relaciones internacionales y las capacidades de innovación (León, 2023). Además, asumir como premisa de partida, en línea con los autores que han trabajado el tema (Edler *et al.,* 2020 y 2023; March y Schieferdecker, 2021 y 2023; Crespi *et al.,* 2021), que la soberanía tecnológica es un medio para (la consecución de objetivos políticos y económicos) y no un fin en sí mismo. En este sentido, esta racionalidad coloca el énfasis en retener la agencia en tecnologías críticas en el largo plazo frente a la renuncia de competencias en aras de la maximización de beneficios a corto plazo (Edler *et al.,* 2023), lo cual conlleva diversos impactos potenciales sobre las fusiones y adquisiciones, así como con la necesidad de reducir riesgos a través del *"reshoring",* retorno de la actividad industrial al país original*, "nearshoring*", reubicación de la actividad en países cercanos, o *friendshoring"*, reubicación en países amigos (Pedroletti

y Ciabuschi, 2023)[15]. Consecuentemente, la ST se ha convertido *de facto* en una cuestión transversal con implicaciones para las políticas de innovación, económica, industrial, educación, exterior y de seguridad (Edler *et al*., 2023)[16].

### 1.2 Pregunta de investigación y Objetivos

La tesis procura realizar un aporte a una discusión que apenas está emergiendo en la academia y de forma gradual. A pesar de que el asunto reviste una relevancia en el ámbito de la política con impactos sobre la economía, el sistema global de innovación, la colaboración internacional y las cadenas de valor, entre otras dimensiones, hasta ahora son pocas las investigaciones o trabajos que se han dedicado a discutir si consiste apenas en un fenómeno pasajero o no y si existen suficientes elementos que justifiquen que se lo considere como parte de las dinámicas globales de las próximas décadas.

Este planteo es relevante no solo para identificar las brechas existentes, sino porque pueden condicionar la forma en que se aborda el tema. En este sentido, el artículo de Edler *et al.* (2023) comienza diciendo "*la política de innovación es un campo establecido desde hace mucho tiempo, tanto en la investigación académica como en la práctica política*, *sigue estando sujeta a una presión externa constante desde el ámbito político más amplio*". Sin embargo, los autores reconocen que el orden internacional "basado en reglas" es desafiado por países centrales y que el debate sobre la soberanía tecnológica ha cobrado impulso en los discursos políticos prácticos pero que no se sustenta en un concepto teórico.

Consecuentemente, la pregunta que guía esta investigación se formula en estos términos: ***¿Por qué la soberanía tecnológica constituye una nueva racionalidad que debe incorporarse a las políticas de innovación?***

[15] La adquisición de Kuka, una empresa de robótica con sede en Alemania por parte de la firma china Midea en 2016 por valor de 4.500 millones de dólares, simbolizó el aumento de la presencia de las inversiones chinas en Alemania (Levery, 2023), en los años posteriores se dieron una serie de vetos a operaciones similares. En 2019 el Ministerio alemán de Economía y Energía (BMWi) publicó su Estrategia Industrial Nacional 2030, con el objetivo explícito de garantizar la "soberanía industrial y tecnológica" en un contexto de competencia (BMWi, 2019). En el documento se destaca el impulso al desarrollo del mecanismo alemán de selección de las inversiones extranjeras directas, la ampliación de las ayudas estatales a sectores estratégicos y la formación de "campeones nacionales y europeos" mediante su impulso a la reforma de la legislación de la UE en materia de competencia.

[16] Este trabajo indagará sobre la cuestión desde el punto de vista de la Unión Europea, aunque muchos de los puntos abordados por algunas secciones de la investigación son válidos para otros actores.

Para precisar el foco de interés del trabajo es pertinente agregar una serie de cuestiones complementarias:

*¿En qué contexto ha surgido la noción de Soberanía Tecnológica?*

*¿Cuáles son las dimensiones constitutivas del concepto?*

*¿Qué particularidades presenta este desarrollo conceptual desde la perspectiva de la Unión Europea?*

*¿Cómo puede ser operacionalizado para el análisis empírico?*

El conjunto de interrogantes indica que la tesis apunta a ahondar en el tema desde una perspectiva teórica pero también práctica de forma que la elaboración conceptual sea complementada por su contrastación empírica. En tal virtud, el objetivo general de esta tesis se enuncia:

**Desarrollar conceptual y empíricamente la noción de soberanía tecnológica (ST) así como los fundamentos que la justifican como nueva racionalidad de la política de innovación**.

El logro de este objetivo está sujeto a que se alcancen los siete objetivos específicos contribuyentes. Desde la perspectiva teórica:

1. Contextualizar las condiciones que dieron lugar a la emergencia de la soberanía tecnológica como problemática.

2. Estudiar la incorporación de la problemática subyacente a la soberanía tecnológica al discurso político de la UE en relación con el objetivo de autonomía estratégica abierta.

3. Definir el concepto de soberanía tecnológica y sus fundamentos como nueva racionalidad de la política de innovación.

4. Proponer un enfoque que combine la metodología cualitativa y cuantitativa para abordar las problemáticas asociadas a la ST, articulando la inteligencia estratégica con una métrica sintética multidimensional en la que se capturen, a través de distintas dimensiones, tanto las

vulnerabilidades como los riesgos potenciales de un país o bloque regional (tal como es la Unión Europea, UE) con respecto a una tecnología seleccionada.

Desde la perspectiva práctica:

5. Estudiar los casos de las comunicaciones móviles avanzadas 5G y los semiconductores desde el enfoque mixto -cualitativo y cuantitativo- propuesto por esta investigación, aplicando el Índice de Soberanía Tecnológica e identificando las vulnerabilidades del bloque.

6. Contrastar empíricamente la noción de Política de Innovación orientada a la Soberanía Tecnológica propuesta a través del análisis del impacto de las opciones disponibles de la UE para mejorar su posicionamiento y resiliencia en la cadena global de los semiconductores.

7. Analizar la capacidad relativa de las empresas de la UE para generar tecnologías digitales a través de un estudio de sus patentes explorando cómo ésta puede condicionar su agencia para tomar decisiones y, por lo tanto, su soberanía tecnológica.

### 1.3 Estructura de la tesis

Para dar respuesta a las preguntas de investigación y cumplimentar los objetivos formulados, la tesis se soporta en dos pilares esenciales, el primero es de carácter contextual-conceptual y el segundo adopta un enfoque empírico-aplicado. Con el espíritu de ordenar la lectura del documento, es apropiado anunciar la lógica argumental del documento de tesis. Tras la presente introducción, profundiza en el análisis del entorno como punto de partida para exponer los fundamentos conceptuales y prácticos del concepto de ST que se propone. Seguidamente, el pilar empírico amplía el foco analítico al desagregar la propuesta en sus componentes más relevantes; en primer lugar, un estudio de caso aplicado, en segundo lugar, lo que podría denominarse la dimensión “interna” de la ST y, por último, la dimensión “externa”.

Las Figuras 1.1 y 1.2 son representaciones visuales que permiten una mayor claridad de las conexiones específicas que se dan entre la pregunta de investigación, los capítulos y los objetivos específicos vinculados al primer pilar y los correspondientes al segundo pilar, así como respecto a las preguntas complementarias. Por último, las conclusiones donde se busca

recuperar los argumentos centrales que se discuten a lo largo del trabajo y exponer las aportaciones. La tesis se divide en 8 capítulos adicionales a esta introducción.

**Figura 1.1** Esquema

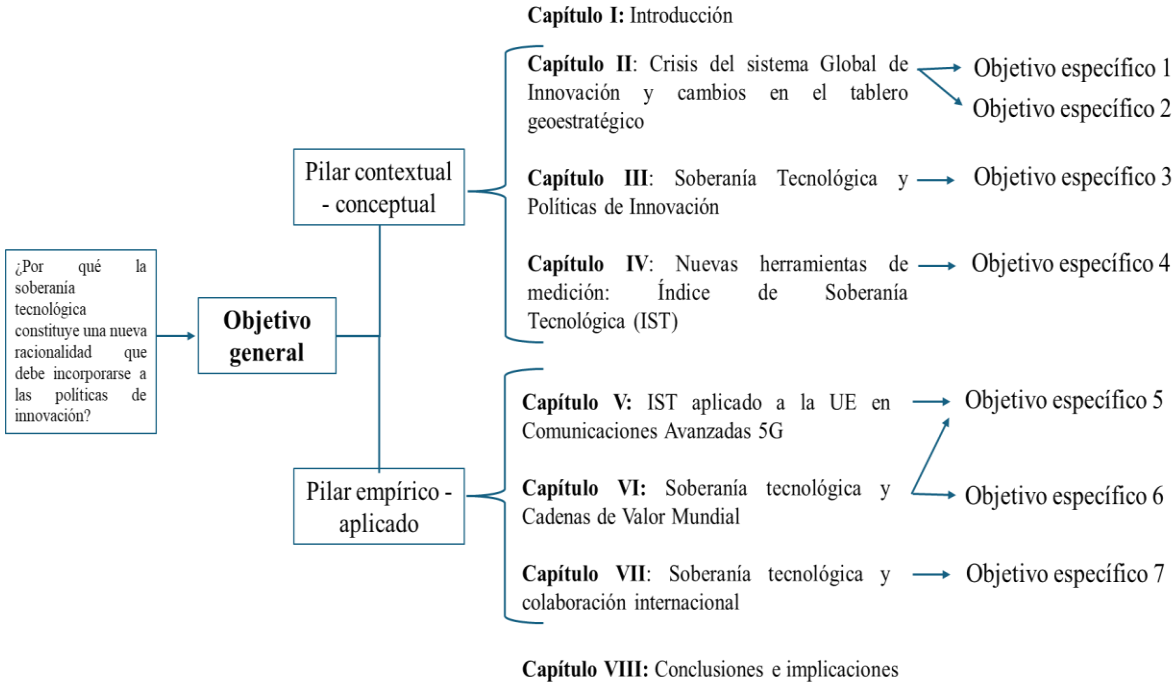
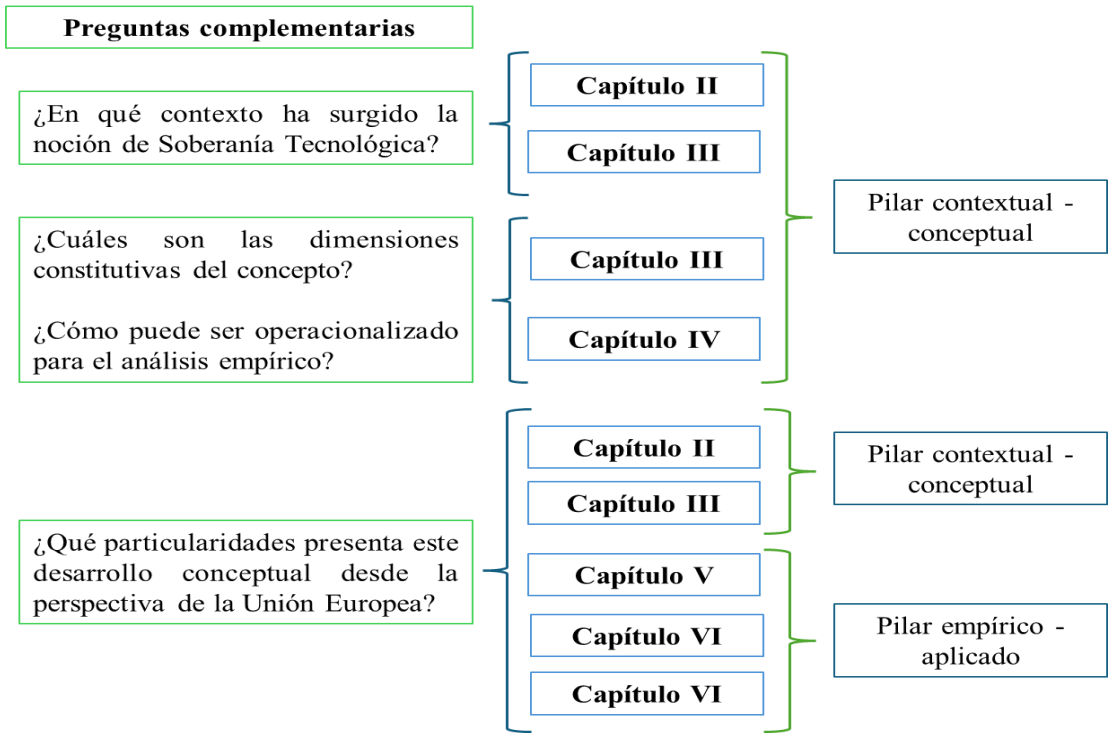



**Figura 1.2** Esquema complementario



El capítulo II se titula "Crisis del sistema Global de Innovación y cambios en el tablero geoestratégico", e indaga en las transformaciones y los principales elementos contextuales que justifican el resurgimiento de la cuestión de la soberanía tecnológica como una problemática propia de las dinámicas del escenario internacional. En virtud del enfoque de la tesis, se reseña específicamente el debate en el seno de la Unión Europea.

El capítulo III "Soberanía Tecnológica y Políticas de Innovación" presenta el estado de la cuestión y explora la literatura sobre colaboración internacional como una dinámica particular para el proceso de cambios analizados en el capítulo anterior. En ese marco, se propone la definición del concepto, sus elementos constitutivos y se discute su naturaleza principalmente práctica desde el punto de vista cualitativo.

El capítulo IV "Nuevas herramientas de medición: Índice de Soberanía Tecnológica" propone una métrica sintética multidimensional -el Índice de Soberanía Tecnológica (IST)- formulada para proporcionar una medida global que capte el grado de exposición (actual y potencial) a tecnologías específicas o sistemas tecnológicos complejos por parte de un país (o grupo de países), así como las vulnerabilidades que pueda presentar. Por lo tanto, constituye una herramienta complementaria a una evaluación cualitativa y completa el enfoque mixto -cualitativo-cuantitativo- de la tesis sobre la ST.

El capítulo V "IST aplicado a la UE en Comunicaciones Avanzadas 5G" emplea el IST examinando la posición de la UE respecto a un sistema tecnológico como 5G centrándose en los segmentos de hardware y componentes.

El capítulo VI "Soberanía tecnológica y Cadenas de Valor Mundial" aplica el IST y analiza uno de los sectores clave para la economía moderna, la industria mundial de los semiconductores a fin de evaluar los principales puntos fuertes y débiles de las capacidades de diseño y fabricación de chips de los Estados miembros de la UE.

El capítulo VII "Soberanía tecnológica y colaboración internacional" está dedicado a analizar la compatibilidad del concepto de ST con la colaboración internacional en innovación. El tema se enfoca a partir del caso de las tecnologías digitales con el propósito de contribuir al desarrollo del marco interpretativo teniendo en cuenta que las fuentes de conocimiento están

globalmente dispersas y que las invenciones de las empresas se realizan a menudo en países distintos al de origen, esto es, en países extranjeros.

El capítulo VIII presenta las conclusiones e implicaciones, las limitaciones de la tesis y las futuras líneas de investigación identificadas.

En cuanto a la validación y mejora del trabajo realizado, a lo largo del proceso de elaboración de la tesis, se han realizado actividades formativas y también se fueron presentando avances parciales en seminarios y conferencias. Asimismo, se han publicado algunos trabajos y otros se encuentran en ese proceso de publicación. La Tabla 1.1, a continuación, resume las actividades y publicaciones hasta la fecha de defensa de la tesis.

**Tabla 1.1.** Publicaciones

| **Objetivos específicos** | **Metodología** | **Estrategia de difusión de resultados de la tesis** | **Contribuciones** |
|---|---|---|---|
| Contextualizar las condiciones en las que emergió la noción de soberanía tecnológica y estudiar la incorporación de la problemática en el discurso político de la UE | - Revisión de la literatura.<br>- Estudio de caso | Centro Superior de la Defensa Nacional (CESEDEN) (2020). | Publicación 1<br>Entre la Geopolítica y la soberanía tecnológica. Desafíos para la Unión Europea en las Redes de Innovación y Producción de Comunicaciones Móviles, Semiconductores e Inteligencia Artificial |
| | - Revisión de la literatura.<br>- Estudio de caso | Revista del IEEE, Instituto Español de Estudios Estratégicos Nro. 18 (2022). | Publicación 2<br>Soberanía tecnológica y poder inteligente de la Unión Europea en un contexto geopolítico inestable: el escenario de África como ejemplo de aplicación, |
| Desarrollar una nueva racionalidad de la política de innovación y proponer una métrica sintética multidimensional<br><br>Aplicar el Índice de Soberanía Tecnológica al caso de las comunicaciones móviles avanzadas 5G | - Revisión de la literatura.<br>- Estudio de caso | Economía Industrial 427, 1º trimestre (2023), Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, España. | Publicación 3<br>Soberanía tecnológica de la UE, ¿un objetivo alcanzable? Delimitaciones conceptuales y derivaciones prácticas. |
| | - Revisión de la literatura.<br>- Elaboración índice sintético<br>- Estudio de caso | Telecommunications Policy Volume 47, Issue 1, (2023) (Q1) DOI: 10.1016/j.telpol.2022.102459 | Artículo 1.<br>Technological sovereignty of the EU in advanced 5G mobile communications: an empirical approach |
| Analizar la ST como fundamento de la política de innovación a través del caso de la tecnología de semiconductores, así como su relación | - Revisión de la literatura.<br>- Aplicación índice sintético<br>- Estudio de caso | En preparación para enviar a una revista científica internacional | Artículo 2<br>The Achilles' heel of the EU-27 and its repositioning in the semiconductor GVC: Insights for a technological sovereignty-oriented innovation policy |

| | | | |
|---|---|---|---|
| con la Inteligencia Artificial.<br><br>Aplicar el Índice de Soberanía Tecnológica al caso de semiconductores | | | |
| Analizar la dimensión externa de la soberanía tecnológica en el marco de las redes internacionales de generación de conocimiento | - Análisis de patentes (EPO), período 2010-2021<br>- Clasificación tecnológica WIPO, (Schmoch 2008).<br>Co-invenciones, localización de inventores | Science and Public Policy (en revisión) | Artículo 3.<br>Is Europe sovereign in digital technologies? And what can be done? |

## **CAPÍTULO II.** CRISIS DEL SISTEMA GLOBAL DE INNOVACIÓN Y CAMBIOS EN TABLERO GEOESTRATÉGICO

Este capítulo tiene el objetivo de contextualizar las condiciones en las que emergió la noción de soberanía tecnológica. En virtud de las consideraciones esbozadas en la introducción, profundiza en el análisis de las transformaciones que indican una reconfiguración de las dinámicas internacionales. En particular interesa su impacto sobre la colaboración internacional y las CVM que han caracterizado a la economía internacional en las últimas décadas. Luego se presenta un recorrido sintético en el cual se estudia la incorporación de la problemática subyacente a la soberanía tecnológica al discurso político de la UE en relación con el objetivo de autonomía estratégica abierta.

### 2.1 Internacionalización económica y fragmentación productiva

La globalización generó una nueva era de competencia internacional que reconfiguró la producción y el comercio mundiales con efectos sobre la organización de las industrias y el funcionamiento de las economías nacionales (Gereffi, Lim y Lee, 2021; De Marchi y Alford, 2021)[17]. Ello derivó en la adopción de nuevas formas organizativas descriptas por la literatura (Dicken, 2011) y en la especialización de las economías (Coveri y Zanfei, 2023; Timmer *et al*., 2019). La consecuente dispersión geográfica indujo una lógica en la cual las redes de innovación surgieron de la integración productiva mundial pero también la estimularon (WIPO, 2019)[18].

El nivel de interdependencia en la esfera económica y productiva entre empresas, que a menudo se ha extendido a los gobiernos en situaciones en las que se registran efectos sistémicos (Lund *et al*., 2020), se volvió inédito. Las cadenas de suministro, así como las infraestructuras críticas, aunque locales por su ubicación, se componen en muchos casos de

[17] La fragmentación de la producción se fue acelerando desde la década de 1980 del siglo XX, provocando cambios en el tamaño, la estructura, la velocidad del comercio y los flujos de capital transfronterizos (Rodrik, 2011). En las décadas de 1990 y 2000, las cadenas mundiales se expandieron desde productos terminados a componentes y subconjuntos, no únicamente en sectores manufactureros sino también a la energía, la producción de alimentos y los servicios (Ponte *et al*., 2019; Gereffi, 2014).

[18] Este proceso de rápido crecimiento de la interdependencia entre las economías fue denominado "hiperglobalización" (Subramanian y Kessler, 2013) o Nueva Globalización (Baldwin, 2016) con el propósito de marcar un contraste con la etapa posterior a la Segunda Guerra Mundial.

materias primas, componentes, tecnologías intermedias, capital humano, información y servicios que proceden de o se elaboran en, otros lugares[19].

Un conjunto de factores o facilitadores económicos, pero sobre todo políticos (la voluntad implícita de aceptar la creciente interdependencia y los riesgos asociados) explican el surgimiento y posterior evolución de este fenómeno hasta el presente[20]. Es clave subrayar que estos elementos constituyeron la condición de posibilidad para la colaboración internacional y la conformación de CVM.

### 2.2 Colaboración internacional, generación de conocimiento e innovación tecnológica

Este proceso de internacionalización tuvo su correlato en la esfera tecnológica. Consecuentemente, trabajos de referencia como el de Archibugi y Michie (1997) introdujeron una taxonomía para comprender los aspectos polifacéticos del proceso de globalización tecnológica[21] y, poco después, Guellec y van Pottelsberghe (2001) describieron la internacionalización de la Investigación y Desarrollo (I+D) y de las actividades innovadoras como un componente importante de la tendencia inherente de la globalización económica. Esta literatura académica, que se ha extendido desde entonces, elaboró sus enfoques en las condiciones de expansión de la globalización (última década del siglo XX y primera década del siglo XXI).

La lectura retrospectiva de ambos estudios revela que el proceso de innovación ya había cambiado significativamente para el cambio de siglo, abarcando bienes físicos y mercancías, pero también impactando en los servicios, las ideas, los datos, la información y la I+D. Desde la publicación de estos trabajos, la inversión en actividades relacionadas con activos intangibles se intensificó de forma constante en distintos niveles (empresa, economía y

[19] En la mayor parte de los casos, la fabricación de productos complejos requiere cadenas con suministros en varios niveles (Tier 1, Tier 2, etc.,) lo que dificulta su gestión, control y reestructuración en caso de conflictos.

[20] Entre los primeros se destacan la disminución de costos de transporte, la relevancia de las economías de escala, la innovación empresarial, la apertura comercial, las diferencias en costos salariales, el aumento de la utilización de las tecnologías de la información y las comunicaciones, y la capacidad tecnológica aparecen (Dedrick y Kraemer, 2017; Amador y Cabral, 2016). Entre los segundos, la creación de la Organización Mundial del Comercio (OMC) como centro del sistema comercial multilateral, la proliferación de acuerdos bilaterales de inversión y las políticas gubernamentales activas para atraer la inversión extranjera directa (EPRS, 2021a).

[21] Siguiendo a los autores, pueden diferenciarse tres categorías: 1) Explotación internacional de la tecnología que se refiere al uso y aplicación a escala mundial de la tecnología producida en un país concreto; 2) Generación global de Innovaciones que se concentra en la creación y generación de nuevas tecnologías donde las innovaciones surgen de esfuerzos de colaboración transfronterizos; y 3) Colaboraciones tecnológicas globales que presta atención a los esfuerzos de colaboración (investigación conjunta, desarrollo e intercambio de conocimientos) entre entidades de distintos países.

mundial)[22], e incorporó nuevos agentes de innovación localizados en economías emergentes[23].

La colaboración internacional en Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) se fue consolidando como uno de los tipos más comunes de generación de tecnología y de acceso de los países al conocimiento tecnológico (UNCTAD, 2023; Belderbos *et al*., 2014; Milanov y Fernhaber, 2014). A menudo adopta la forma de acuerdos entre agentes de diferentes países para desarrollar conjuntamente la innovación tecnológica, centrados en la inversión en I+D y en patentes, pero también expresado a través de otras actividades o indicadores tales como publicaciones científicas (Damásio *et al.*, 2023). De hecho, las empresas utilizan este mecanismo para diversos fines, como superar las limitaciones de recursos, adquirir conocimientos específicos de un país, de un socio o de una tarea, mejorar el posicionamiento estratégico y ganar flexibilidad en entornos inciertos (Alonso-Martínez *et al*., 2021).

Las patentes han sido ampliamente utilizadas en los estudios sobre innovación por ser uno de los indicadores de output más importantes debido a que se encuentran entre las mejores fuentes de información de acceso abierto para el mapeo tecnológico y la prospectiva (Puccetti *et al.*, 2023; Joung and Kim, 2017). A pesar de las limitaciones que la literatura de referencia en el tema ha señalado hace décadas (Pavitt, 1985; Griliches, 1990), la patente sigue siendo una aproximación imperfecta que intenta proporcionar una medida de la producción innovadora o de la capacidad tecnológica (Teece, 2021) por lo que continua siendo relevante para acceder a una cantidad de datos relacionados con el estado de la técnica, los datos bibliográficos, series temporales, pero además sobre lo que en un sentido amplio entenderse como las geografías del conocimiento codificado[24].

[22] Si bien la cuota mundial de estos flujos no físicos sigue siendo relativamente pequeña, son actividades caracterizadas por una importante impronta internacional (van der Marel, 2020).
[23] Shih (2024) señala que el volumen de publicaciones de investigación ha aumentado significativamente a escala mundial y el progreso científico ha sido rápido desde fines de la Guerra Fría, lo que se deriva del aumento de la colaboración internacional y de la circulación de talento en recursos humanos en el mundo.
[24] El Manual de Estadísticas de Patentes de la OCDE (2009) apunta a que las patentes representan una parcialidad ya que no todas las invenciones registradas como tales llegan al mercado en forma de productos o servicios (Jaffe *et al*., 1993, Glänzel y Meyer, 2003, Motohashi y Tomozawa, 2016). También al revés porque muchas invenciones en el mercado no han sido patentadas por el uso de secreto industrial, a lo cual se añade la diferente consideración del software. De todos modos, los derechos de propiedad intelectual actúan como proxy del conocimiento tecnológico explícito acumulado (Patel y Pavitt, 1997).

De manera similar a lo ocurrido en la producción de bienes y servicios tangibles, en la actividad de producción de conocimiento también se configuró una estructura que se volvió más compleja, colaborativa y geográficamente deslocalizada (OMPI, 2023). Por esta razón, se ha visto afectada en forma creciente por los cambiantes equilibrios de poder a escala mundial (Marginson, 2022). Eso explica que, en la esfera de la colaboración científico-tecnológica, la rivalidad entre Estados Unidos y China exhiba barreras perceptibles en su vínculo bilateral que afectan a terceros (ver la sección 2.4.2 de este capítulo).

## 2.3 Cadenas de Valor Mundial

La necesidad de un marco de investigación integrado para conceptualizar los novedosos acuerdos organizativos de empresas interconectadas a través de una red mundial sobre la cual se generaba valor añadido en diferentes localizaciones geográficas, vinculando los niveles de análisis macro (mundial), meso (industria y país) y micro (empresa y comunidad) para afrontar los retos de la globalización económica, se tradujo en el corpus académico orientado al análisis de las CVM a comienzos de la década de 1990 (Gereffi, 2019), complementado por otros marcos conexos de las redes mundiales de producción (RGP) y las cadenas mundiales de productos básicos (CGM). Estos enfoques, aun con ciertos matices, comparten una caracterización de la economía centrada en las redes económicas complejas y dinámicas compuestas por relaciones interempresariales e intra-empresariales[25].

Mientras que las economías avanzadas tendieron a especializarse en etapas situadas al principio y al final de la cadena de valor donde se requieren mayores conocimientos y competencias tecnológicas, la fabricación y ensamblaje se deslocalizaron a economías emergentes y en desarrollo (Baldwin *et al.,* 2014). Esta división del trabajo no impidió la transferencia de capacidades de producción de bajo valor añadido, así como de operaciones de fabricación complejas e incluso de competencias tecnológicas (Harrington y Srai, 2016). Incluso en algunos casos facilitó la creación y captura de valor por parte de proveedores de economías no avanzadas (Møller Larsen *et al*., 2018; Ponte y Sturgeon, 2014)[26].

[25] El enfoque ha sido enriquecido desde entonces, adoptándose distintas perspectivas entre las que se encuentra la centrada en la innovación tecnológica. El elemento de referencia común entre ellos remite a la estructura y la dinámica de las industrias globales, tales como las telecomunicaciones, la electrónica y más recientemente la llamada economía de plataformas (Gereffi, 2022).

[26] Muchas economías asiáticas se convirtieron en centros activos en la mayoría de las cadenas productivas, especialmente China. También la emergencia de India como polo de atracción de inversiones, instalación de Centros de I+D, así como

En este sentido, la evolución de las capacidades productivas y tecnológicas de estos países generó el desplazamiento de la demanda mundial, tanto de productos acabados como intermedios[27], del Norte al Sur, especialmente hacia Asia en general y el sudeste asiático en particular (EPRS, 2021a). Ello tiene diversas implicaciones; entre otras, un cambio que condujo a que los países se especialicen en tareas en determinados eslabones de la cadena de valor más que en productos concretos (Coveri y Zanfei, 2022; Timmer *et al*., 2019).

Los trabajos teóricos y empíricos han revelado que la participación en CVM impulsadas por empresas líderes mundiales ha ofrecido una vía que facilitó el aprendizaje y el aumento del potencial de desarrollo de las empresas y territorios proveedores (Gereffi, 2018), pero al mismo tiempo no ha implicado que la capacidad de apropiarse de valor y mejorar a través de esa participación haya sido automática o de fácil concreción[28].

Existen diferentes valoraciones respecto a los resultados de la expansión de las CVM para empresas y países. Por un lado, se registra un impacto positivo en los costes de producción, la eficiencia productiva y la competitividad de un conjunto de economías (Antràs, 2020), en particular aquéllas que han logrado formar parte de los mercados mundiales, alcanzando altas tasas de crecimiento económico[29]. Por otro lado, demuestran que la externalización internacional de funciones tanto de menor como de mayor valor añadido han tenido múltiples efectos negativos traducidos en la pérdida de capacidades críticas para el desarrollo de nuevos productos de vanguardia y la innovación de procesos, tales como la fabricación (montaje y embalaje sencillos, integración, materiales y componentes avanzados), el diseño y la ingeniería, los proveedores especializados y el capital humano (Pisano y Shih, 2009 y 2012)[30]. Otros estudios reafirmaron esta línea de análisis señalando que la desvinculación de

capacidades de fabricación, al que se agregan otros *hubs* de innovación alternativos como México respecto a Estados Unidos y otros en el sudeste asiático tales como Indonesia, Vietnam, Filipinas, Malasia y Singapur

[27] Los datos revelan fluctuaciones en los últimos años, pero al mismo tiempo siguen registrando un funcionamiento estable de las cadenas de provisión, aunque revelan cambios en las dinámicas intra-regionales (WTO, 2023).

[28] De Marchi y Alford (2021) señalan que tanto los intereses de las partes implicadas como las asimetrías de poder entre las empresas líderes mundiales y su base de proveedores fragmentada, son elementos importantes a la hora de valorar los resultados de dicha apropiación.

[29] Antràs (2020) señala que el aumento la productividad de las empresas generado por las tecnologías digitales impulsará su tamaño óptimo, siendo dos factores que conducirán al mismo tiempo a una mayor demanda de insumos intermedios, muchos de los cuales serán componentes deslocalizados.

[30] Eichengreen (2018) plantea que la globalización y el declive de la industria manufacturera estadounidense fueron importantes para impulsar las elecciones presidenciales de 2016 en ese país, en las que se puso de relieve en general una retórica proteccionista contraria al comercio y a la cadena de suministro global.

las actividades previas (I+D) y de producción en las CVM resulta perjudicial para la capacidad de innovación de las empresas (Buciuni y Pisano, 2021; Zirpoli & Becker, 2011), en contraposición a hallazgos que indican que la coubicación de la I+D y la producción configura un mecanismo clave para la generación de innovación (Buciuni & Finotto, 2016). La importancia de las capacidades productivas será retomada más adelante (ver sección 3.1.2 en el capítulo siguiente).

## 2.4 Cambios en el tablero geoestratégico

### *2.4.1 Resurgimiento del proteccionismo, la antesala de una nueva globalización*

La configuración de poderes económicos y financieros con normas y mecanismos de articulación entre las naciones bajo las premisas del denominado "consenso de Washington" surgido a principios de la década de 1990, asumió que las cuestiones geopolíticas quedaran relegadas a un plano secundario, dándose por sentadas o consideradas como un aspecto neutral en la adopción de decisiones en torno a la internacionalización de las empresas o la cooperación científico-tecnológica. Sin embargo, un número creciente de incidentes y tendencias que, combinados, han ido generando un entorno más turbulento e incierto (McKinsey, 2021, 2020; Buckley, 2020; Petricevic y Teece, 2019)[31], amplificando preocupaciones sobre las dependencias en aquellas cadenas de suministro no diversificadas (OECD, 2023) ha socavado estos supuestos.

En ese sentido, la crisis financiera mundial de 2008 desencadenó un movimiento proteccionista contra el orden económico liberal (Mariotti, 2022) que ralentizó el ritmo de avance de las CVM, dando lugar a una disminución de la tasa de crecimiento de la globalización (Antràs, 2021; Antràs y Chor, 2021; Banco Mundial, 2020)[32]. Además, una serie de catástrofes naturales de amplia cobertura en la década de 2010 contribuyó a asentar

[31] Desde la crisis económica de 2008 (Archibugi *et al*., 2019), el resquebrajamiento de las relaciones trasatlánticas (Burwell y Propp, 2020), la pandemia del COVID-19 en 2019 y la guerra provocada por la invasión rusa de Ucrania en 2022, que ha puesto de manifiesto la vulnerabilidad del suministro de hidrocarburos y cereales, o los problemas en el tráfico comercial en el Mar Rojo por los ataques de los hutíes derivados de la respuesta militar de Israel a Hamas en Gaza tras su ataque en octubre de 2023, todos ellos con efectos económicos desestabilizadores. Ciravegna y Michailova (2022) argumentan que, a pesar de que la pandemia ha sido un problema mundial, la coordinación global tuvo muchos inconvenientes y resistencias para materializarse dado que los gobiernos de la mayoría de los países respondieron unilateralmente, socavando las instituciones multilaterales que proporcionan las reglas del juego para la globalización.

[32] Los datos sugieren que la exportación mundial de bienes y servicios creció desde la década de 1990 a más del doble del ritmo del PIB, pero tras la crisis "financiera" de 2008, la tasa de crecimiento del comercio internacional se frenó al mismo ritmo que el PIB, incluso declinando el comercio al interior de las CVM (UNCTAD, 2020; Zhan, 2021).

la opinión de que las naciones dependían demasiado de los proveedores extranjeros (Abe y Ye, 2013)[33]. Es decir que la discusión sobre algunas CVM es previa a la crisis provocada por el COVID-19 tanto en Europa como en EE.UU. donde la decisión de relocalizar había ganado aceptación, aunque había tenido pocas derivaciones concretas (European Reshoring Monitor, 2018; Moser, 2019)[34].

Entre las manifestaciones que parecen verificar el direccionamiento de estas transformaciones se destacan la iniciativa "*Remaking America*" formulada durante la administración Obama que consistió en un programa que restringía la deslocalización y promovía la reubicación en Estados Unidos; seguida de la política "*America first*" de la administración Trump que reforzó en gran medida la reubicación del país dentro de ese esquema; y Biden formalizó en agosto de 2022 la Ley de Reducción de la Inflación (IRA), presentada como "*una de las mayores inversiones en la economía estadounidense, la seguridad energética y el clima que el Congreso ha realizado en la historia de la nación*"[35].

En Europa, el Reino Unido puso en marcha "*Reshore UK*" un cambio de estrategia para promover la relocalización de las instalaciones de producción en el extranjero de vuelta al territorio; Francia implementó "*Colbert 2.0*" productos "*Made in France*" con el fin de revitalizar la demanda interna. La UE también está concretando acciones para proteger a sectores industriales que son prioritarios para jugadores de peso tales como los Vehículos Eléctricos a Baterial (BEV en inglés)[36]. En 2019, el gobierno japonés eliminó a Corea del

[33] A partir de datos de la OCDE sobre comercio en valor añadido, Miroudot y Nordström (2020) comprobaron que las cadenas de suministro se han ido acortando desde 2012, con una tendencia principal hacia la dimensión nacional en lugar de la regional. Como consecuencia, la economía mundial estaría invirtiendo la tendencia al aumento constante de la integración que caracterizó la segunda mitad del siglo XX.

[34] Entre 2014-2018, el reporte sobre relocalización de regreso al territorio destaca los casos de Francia e Italia con 39 y 36 casos registrados en el período (Eurofound *et al.* 2019, p. 17).

[35] La norma ofrece facilidades (más de 20 incentivos fiscales para la energía limpia y la fabricación) para proyectos, contratar trabajadores y fabricar equipos en Estados Unidos que refuercen las cadenas de suministro nacionales. Para más detalles puede consultarse: https://home.treasury.gov/policy-issues/inflation-reduction-act y https://home.treasury.gov/policy-issues/inflation-reduction-act/ira-related-tax-guidance. De todos modos, el país cuenta con una larga tradición bipartidista en el uso de diversos instrumentos de política industrial que se aplican tanto a nivel federal como subnacional (estatal o de condado). Estos abarcan las subvenciones federales, los subsidios estatales y locales, así como la concesión de contratos gubernamentales a los campeones nacionales americanos (Terzi *et al*., 2022, p. 9).

[36] El 4 de julio de 2024, tras una investigación de la Comisión Europea que se extendió durante nueve meses, se establecieron derechos compensatorios provisionales sobre las importaciones de vehículos eléctricos de batería (BEV en inglés) procedentes de China, con una tasa promedio ponderada del 20,8% para las compañías que cooperaron con las autoridades europeas y del 37,6% para las que no lo hicieron. El fundamento esgrimido por la Comisión es que las subvenciones desleales que aplica China benefician a sus empresas y provocan “una amenaza de perjuicio económico a los productores” de la UE. Para más detalles puede consultarse la gacetilla de prensa en línea: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_24_3630. Asimismo, las las conclusiones detalladas de la investigación se reflejan en el Reglamento de aplicación que fue publicado en el Diario Oficial: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401866

Sur de su lista blanca de países que reciben un trato preferencial para la concesión de licencias de exportación. Recién en 2023 alcanzaron un nuevo consenso para revertir esa situación.

La breve reseña de eventos mencionados, más o menos disruptivos pero contingentes en su naturaleza, erosionaron parcialmente las dinámicas de la cooperación internacional por su tendencia al debilitamiento de las instituciones y acuerdos internacionales encargados de diseñar y hacer cumplir las reglas de la globalización, pero sobre todo por el proteccionismo global que está minando la existencia y la naturaleza del modo de producción de las CVM (*The Economist,* 2024; Enderwick y Buckley, 2020). En todo caso, la novedad de la pandemia es que agudizó el debate, especialmente en las economías avanzadas, sobre el valor del multilateralismo y los beneficios desiguales de la globalización (Aiyar *et al*., 2023; WEF, 2021)[37].

En línea con este último punto, la pugnacidad sistémica que marca la relación entre Estados Unidos y China se ha convertido en la cuestión fundamental que incide en el momento actual, pero sobre todo que condicionará progresivamente la próxima década con efectos en otros muchos países[38].

La primera consecuencia derivada es la aparición del objetivo político de "desacoplamiento", aunque sea parcial y limitado a algunas tecnologías, en las relaciones comerciales entre países para reducir los riesgos (Nguyen-Quoc, 2023; Nicolas, 2023). Hasta el cambio en la caracterización de China como una fuente de riesgos en la Estrategia de Seguridad Nacional de Estados Unidos y la consiguiente escalada de tensiones que afectó a otros países (por ejemplo, Australia, Canadá, la UE), la industria y el comercio mundial priorizaban el "justo

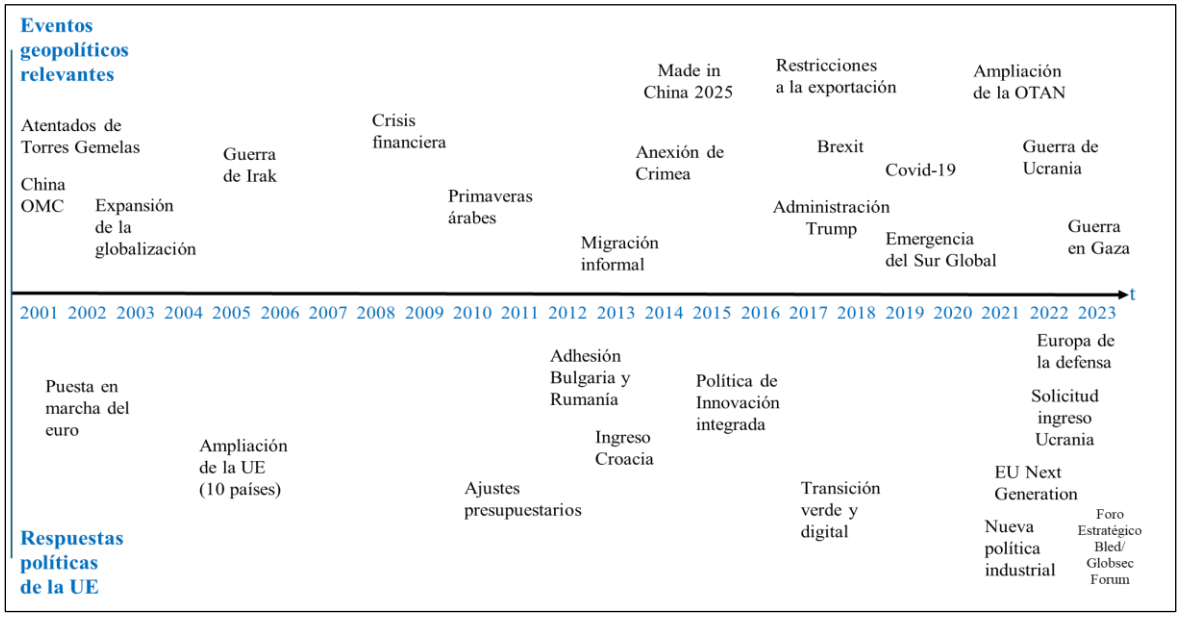
[37] El debate sobre la reconfiguración de las CVM había comenzado a tener lugar después de la crisis de 2008 pero se profundizó durante la pandemia tanto entre los académicos (por ejemplo, Baldwin y Evenett, 2020; Contractor, 2020; Enderwick y Buckley, 2020; Gereffi, 2020; Zhan, 2021), como entre las instituciones (Betti y Hong, 2020; UNCTAD, 2020). Mariotti (2022) plantea que el alcance y profundidad se explica por la ruptura de los equilibrios en las relaciones internacionales de posguerra.

[38] La mencionada Iniciativa de la Franja y la Ruta (ver nota al pie 4), así como el plan "Made in China 2025" y también de la estrategia de "doble circulación" representan acciones hacia una creciente autonomía de los intereses chinos y, en última instancia, congruentes con una perspectiva de disociación (Mira Godinho y Simões, 2023). En EEUU, la administración Trump provocó una grieta en la asociación entre Estados Unidos y la Unión Europea, sobre todo en relación con el rechazo de elementos del sistema comercial multilateral y de la Organización Mundial del Comercio (OMC) (Burwell y Propp, 2020). En la administración Biden, la Ley de Reducción de la Inflación destina unos 369.000 millones de dólares en subvenciones, préstamos y créditos fiscales al despliegue de energías renovables y tecnologías limpias. En muchos sectores, las empresas domésticas serán recompensadas por fabricar equipos en el país o por abastecerse de componentes y minerales esenciales en Estados Unidos o en países con los que tiene un acuerdo de libre comercio. Esta normativa fue cuestionada por priorizar a los proveedores nacionales por sobre los extranjeros, abandonando ciertas reglas del libre comercio que guiaron las relaciones económicas globales desde los años noventa.

a tiempo" y la eficiencia. Ahora la resiliencia, la redundancia del suministro, la deslocalización y la regionalización tienen una prioridad mucho mayor (COTEC, 2023; Preziosi *et al*., 2019)[39]. La seguridad de las cadenas de suministro, cuestión abordada durante los últimos veinte años casi exclusivamente como un inconveniente técnico (que debían resolver las empresas), se ha convertido en un problema geopolítico en el que deberían involucrarse los gobiernos (Nicolas, 2023). En todo caso, la novedad de la pandemia es que agudizó el debate, especialmente en las economías avanzadas, sobre el valor del multilateralismo y los beneficios desiguales de la globalización (Aiyar *et al*., 2023; WEF, 2021).

El gráfico 2.1 permite observar algunos de los múltiples acontecimientos que han marcado apenas las últimas dos décadas, a los que cabría incorporar los efectos de larga duración de eventos previos. Evidentemente, no todos han sido comentados en los párrafos precedentes por razones de economía de espacio, pero también para no desviar excesivamente el foco de atención del análisis. Sin embargo, la reseña y la síntesis visual parecen suficientes para apoyar el argumento presentado.

**Gráfico 2.1** Eventos geopolíticos y respuestas políticas de la UE en el siglo XXI




Fuente: Elaboración propia

[39] El punto de inflexión habría sido la publicación de la estrategia "*Made in China 2025*" en la cual se revela el objetivo de este país de alcanzar el liderazgo tecnológico mundial (Zenglein y Holzmann, 2019), así como la utilización y/o adaptación del sistema institucional mundial a sus propios fines (Kroll y Frietsch, 2022).

*2.4.2 Pugnacidad entre Estados Unidos - China y la crisis del sistema global de innovación*

China es un jugador central de la economía internacional desde el punto de vista de la producción, la inversión, y en los últimos quince años en el sistema global de innovación[40]. En este sentido, el objetivo de Beijing es reducir la dependencia de la tecnología extranjera y convertirse en una potencia líder en innovación para 2049[41]. Dicho de otra manera, no es un *outsider* o actor externo, sino que es un protagonista en la Organización Mundial de Comercio (OMC) y el Fondo Monetario Internacional (FMI), por mencionar únicamente dos instituciones multilaterales.

Esta descripción pone en evidencia la naturaleza de la rivalidad entre China y Estados Unidos donde la disputa por el liderazgo tecnológico y militar está en centro de la ecuación[42]. Al mismo tiempo tiene rasgos inéditos que le confieren su complejidad ya que las economías de ambos países están ampliamente imbricadas (COTEC, 2023)[43]. De hecho, una parte del comercio y la inversión se están desviando a través de terceros países, lo que compensa en parte la erosión de los vínculos directos como mecanismo para amortiguar el impacto económico mundial (Gopinath, 2024)[44]. El aspecto definitorio de la competencia entre Estados Unidos y China se mide en términos de innovación tecnológica.

Desde el Campo de la Economía Política Internacional (EPI) Strange (2016) realizó aportaciones para la comprensión de la dinámica del poder en el sistema mundial donde el

[40] China es una potencia innovadora, tal como revela una investigación que ha descubierto que es líder en 37 de las 44 tecnologías críticas, según las mediciones de la investigación del Centro *Belfer* para la Ciencia y las Relaciones Internacionales de la Universidad de Harvard (Graham Allison *et al.*, 2021). De hecho, para el consorcio Poder Digital Chino, el país ha ido mucho más allá de alcanzar a Occidente (DPC, 2024). El consorcio de investigación Digital Power China (DPC) convocado por el Dr. Tim Rühlig, investigador del Consejo Alemán de Relaciones Exteriores, reúne a 21 expertos en China, economistas e ingenieros con sede en 12 instituciones europeas de investigación, universidades, grupos de reflexión y consultorías de 10 países europeos.

[41] Entre otros documentos políticos, el Plan a medio y largo plazo sobre el desarrollo de la ciencia y la tecnología de 2006 se focaliza en innovación; la estrategia industrial china, Made in China 2025 abarca todo el proceso de fabricación de diez tecnologías consideradas estratégicas por el país (incluidos semiconductores); la estrategia de doble circulación apunta a balancear el peso de las exportaciones con un desarrollo del mercado interno.

[42] Aunque la primera ronda de aranceles (por valor de 50.000 millones de dólares) decidida por la administración Trump contra China en 2018 iba dirigida a las exportaciones chinas de gama alta con vistas a contener el avance tecnológico del país, la intención probable de EE.UU. tras los aranceles no era la reducción del déficit comercial, sino la contención del ascenso de China en la escala tecnológica (García Herrero, 2023).

[43] El vínculo entre Estados Unidos y China atravesó distintas etapas (del compromiso a la competencia y de ahí a la rivalidad por la supremacía en la próxima generación de dominio militar, económico y de información/datos) (Mori, 2019). El "capítulo" comercial derivó en un déficit que en los últimos años oscilaba cercano a los 375 billones de dólares en contra de los norteamericanos que se redujo hasta los 279.400 millones de dólares en 2023 (Bureau of Economic Analysis, 2024). En reemplazo, los bienes y servicios importados desde México superaron a China después de 20 años, lo cual parecería consistente con la idea de la "reconfiguración de la globalización".

[44] Desde 2017, una mayor presencia china en un país -medida ya sea a través de las exportaciones o de la inversión *greenfield*- se ha asociado con un aumento de las exportaciones de ese país a Estados Unidos.

"poder estructural" de un actor surge a través de los vínculos entre cuatro grandes estructuras, a saber: producción, seguridad, finanzas y conocimiento[45]. Si bien la autora no desarrolló explícitamente el concepto de ST, su argumento ofrece elementos para comprender los retos y oportunidades asociados a la afirmación de la soberanía en el ámbito tecnológico. La dinámica estructural del poder puede influir en la capacidad de los países para controlar y proteger sus capacidades tecnológicas, infraestructuras y ecosistemas de innovación frente a influencias o dependencias externas.

Las decisiones de Estados Unidos respecto al acceso y disponibilidad de ciertas tecnologías clave por parte de China implican una divergencia hacia dos ecosistemas tecnológicos, donde la creación de alianzas excluyentes tiende a aumentar[46]. Si bien por ahora esta dinámica afecta a un conjunto delimitado de tecnologías, la naturaleza de estas explica su potencialidad para impactar de forma transversal en el sistema global de innovación[47].

Esta lógica afecta a las actividades de investigación que son permeadas por la lente de la securitización en forma creciente (Cantwell y Grimm, 2018; Lee y Haupt, 2020; Marginson, 2022; Shih, 2024; Bradford, 2023). Los objetivos de la securitización del conocimiento y la seguridad de la investigación son hacer frente a la interferencia extranjera, proteger la seguridad y la infraestructura nacionales, y mantener o desarrollar ventajas nacionales en

[45] Strange (2016) define el poder estructural como el poder de configurar y determinar las estructuras de la economía política mundial dentro de las cuales tienen que operar otros Estados, sus instituciones políticas, sus empresas económicas y sus científicos y otros profesionales. Los intereses geopolíticos y las capacidades tecnológicas de un actor constituyen los pilares del concepto, operando mediante la configuración de las reglas, normas e instituciones que rigen las relaciones económicas. Cuestiones como las importaciones y exportaciones de tecnología y la valoración de las divisas pueden afectar a la capacidad de los países para invertir en innovación doméstica, adquirir tecnologías críticas y mantener el control sobre su infraestructura tecnológica.

[46] Entre las iniciativas impulsadas por Estados Unidos se destacan las siguientes: El Consejo de Comercio y Tecnología de EE.UU. y la UE estableció un sistema de alerta temprana para las interrupciones de la cadena de suministro de semiconductores. Los miembros de la Quad Alliance (Estados Unidos, Japón, Australia e India) lanzaron una iniciativa conjunta "para determinar la capacidad, identificar las vulnerabilidades y reforzar la seguridad de la cadena de suministro" de microelectrónica y componentes clave. El Grupo de Trabajo para la Resiliencia de la Cadena de Suministro de Semiconductores EE.UU.-Asia Oriental, formado por EE.UU., Taiwán, Japón y la República de Corea, también conocido como la Alianza "Chips 4" o "Fab 4". En noviembre de 2023, EE.UU., Canadá y México acordaron asociarse para reforzar la resistencia de la cadena de suministro regional de minerales y semiconductores críticos, y otros "bienes esenciales". Los esfuerzos de la Cumbre de Líderes de América del Norte (NALS) se centran en asociaciones entre la industria y el mundo académico para colaborar en la formación de competencias y la creación de empleo en América del Norte. EE.UU. también ha creado nuevos formatos multilaterales para reorganizar las cadenas de suministro de semiconductores. Por ejemplo, Mineral Security Partnership (MPS) es una colaboración de 14 países y la UE para catalizar la inversión pública y privada en cadenas de suministro de minerales críticos responsables a nivel mundial. La MSP se lanzó en 2022 en Toronto durante la convención de la Asociación de Exploradores y Desarrolladores de Canadá.

[47] Por caso, China controla la producción y el refinamiento de minerales clave para el proceso de fabricación y los materiales de los chips. Esta ha sido también un área en la que ha entrado en competencia EE.UU.-China con las restricciones a la exportación. El galio y el germanio, principalmente, pero es posible que el cobre, los elementos de tierras raras y el indio también corran peligro en el futuro. Para más detalles: https://www.politico.eu/article/china-europe-chip-industry-faces-new-reality-of-weaponized-supply-chains/; China to impose export restrictions on industrial products and material containing gallium and germanium - Chinadaily.com.cn; https://bbnc.bens.org/semiconductors---page-3-key-inputs

ciencia y tecnología en un juego de suma cero (Shih *et al.*, 2023). Por eso la situación actual es diferente a la de la segunda mitad del siglo XX, donde la carrera tecnológica dentro de Occidente y algunos países aliados de Asia (Japón fundamentalmente) estuvo motivada por la competencia para alcanzar mayores cuotas del mercado internacional[48].

Trump empezó a militarizar o geopolitizar las cadenas de suministro con la inclusión de entidades y empresas chinas en la denominada "*Lista de Entidades*" por parte de la Oficina de Industria y Seguridad (BIS) del Departamento de Comercio. En 2019 se apuntó a la gigante tecnológica Huawei, pero la administración Biden dejó de centrarse en empresas particulares para abarcar todos los intentos de fabricación avanzada de las empresas chinas controlando la exportación de componentes básicos (Fuller, 2023) por su relación con las comunicaciones móviles avanzadas 5G (ver capítulo V), pero también por sus aplicaciones para la Inteligencia Artificial (ver capítulo VI)[49].

El Asesor de Seguridad Nacional de Estados Unidos en la administración Biden, Jack Sullivan, explicó que el objetivo es construir una "valla alta en un patio pequeño" lo cual significaría el control estricto de la transferencia de tecnología, pero sólo en el caso de las tecnologías clave, especialmente las de doble uso (civil y militar). El problema es que muchas de las tecnologías habilitadoras clave (por ejemplo, aquellas que ha priorizado la UE) y otras reconocidas como de propósito general, presentan la doble condición de tener aplicación dual, pero, además, han adquirido gran relevancia para el crecimiento económico[50]. En

[48] A finales de la década de 1980, tras la creciente preocupación por las adquisiciones japonesas en la industria de los semiconductores, se concedió al presidente una autoridad de gran alcance para bloquear las inversiones, fusiones y adquisiciones extranjeras por motivos de "seguridad nacional". La entidad responsable de examinar las inversiones extranjeras es el Comité de Inversiones Extranjeras en Estados Unidos (CFIUS), un organismo gubernamental multiagencia dirigido por el Departamento del Tesoro. En 2018, la administración Trump revisó significativamente el estatuto de la agencia, ampliando su mandato y ampliando el tipo de transacciones sujetas al proceso de revisión de inversiones del CFIUS (Terzi *et al.,* 2022, p. 10-11).

[49] Como resultado de estas disposiciones, Google dejó de proporcionar acceso a su sistema operativo Android a Huawei, lo cual derivó en que esta última desarrollara un sistema propio llamado HarmonyOS (Larsen, 2022). En respuesta, una decisión de mayo de 2022 obligaba a los organismos de la administración central y las empresas subvencionadas por el Estado chino a reemplazar las computadoras de fabricantes extranjeros en un plazo de dos años, lo cual incluyó la eliminación del sistema operativo Windows y su sustitución por el sistema operativo Kylin, desarrollado por la Universidad Nacional de Tecnología de Defensa de China (citado Larsen, 2022: 11). En marzo de 2024, en un nuevo reajuste, el gobierno chino ha decidido obligar progresivamente a los funcionarios y entidades públicas a no utilizar chips de Intel y AMD (*Wall Street Journal*, 25/03/2024).

[50] En septiembre de 2020 el gobierno norteamericano vetó el acceso al mayor fabricante de chips de China, Semiconductor Manufacturing International Corporation (SMIC) argumentando el uso en aplicaciones militares y armamentos de sus tecnologías. En particular el Departamento de Comercio acusó a SMIC de participar en la "doctrina de fusión militar-civil" adoptada por el Ejército Popular, basándose en pruebas de actividades entre SMIC y entidades preocupantes del complejo industrial militar chino. El foco principal es obstruir el acceso a la tecnología para producir semiconductores en el nivel avanzado de 10 nanómetros o menos ya que pueden utilizarse en misiles teledirigidos (DW, 18/12/2020). Asimismo, en la edición 2022 del Foro Económico de Davos, la secretaria de Comercio de Estados Unidos Gina Raimondo declaró que la

función de su carácter y uso transversal, pueden provocar vulnerabilidades que se extiendan a las infraestructuras críticas y a toda la economía (March y Schieferdecker, 2023).

Estas circunstancias son desestabilizantes pero sus derivaciones siguen un comportamiento heterogéneo con cambios concentrados en ciertos sectores de impacto (Nicolas, 2023). Las iniciativas bilaterales y multilaterales recientes se orientan a aumentar la resiliencia a través de mayor cooperación internacional para afrontar las vulnerabilidades (Gereffi, 2023) pero al mismo tiempo se refuerza una lógica de regionalización precedente (Miroudot, 2020; Shih, 2020)[51].

Los cambios geoestratégicos en curso han aumentado el interés por la carrera tecnológica en el campo de los chips, con la cadena de valor de los semiconductores sustancialmente afectada por la rivalidad tecnológica entre Estados Unidos y China (Miller, 2022; Capri, 2020). La crisis del COVID-19 puso de manifiesto dificultades en el suministro de semiconductores y el impacto económico real de interrumpir o ralentizar el suministro de circuitos integrados. Como consecuencia, muchos sectores industriales se han enfrentado, y siguen enfrentándose, a la escasez de los chips necesarios para sus productos finales[52]. En el apartado que sigue se discute este punto, no solo por su relevancia en sí misma, sino porque además permite enmarcar el caso de los semiconductores que será abordado en el capítulo VI.

### *2.4.3 Geopolítica de la tecnología y la innovación: de la diplomacia científica a la diplomacia tecnológica*

La diplomacia científica entró en el vocabulario de las relaciones internacionales en los primeros años del siglo XXI[53], como una expresión que busca sintetizar una conceptualización basada en prácticas en las que la ciencia y la tecnología se entrecruzan con

solución del tema de los semiconductores pasaba por la vuelta de la producción de chips a Estados Unidos por considerarse un “gran asunto de seguridad nacional” y no una simple reubicación de la cadena de valor a países amigos.

[51] Este proceso se observa desde principios de la década de 2010 cuando se analiza la evolución de los datos de comercio intrarregional de bienes (Oxford Economics, 2024; EPRS, 2021a).

[52] La vulnerabilidad de la CVM de los semiconductores se ha convertido en un reto importante para la economía mundial en los próximos años. Incluso, varios documentos políticos (Arnal *et al*., 2023; Dachs, 2023; ASML, 2022; Kleinhans, 2021) e informes de organizaciones internacionales (OCDE, 2023b; UE, 2022; EPRS, 2022; CE, 2021a) han abordado esta cuestión desde una perspectiva tanto global como de la UE.

[53] Fue acuñado en 2007 por Lord y Turekian (2007), aludiendo que había llegado "el momento de una nueva era de diplomacia científica”. Con la creación del Centro para la Diplomacia Científica de la Asociación Americana para el Progreso de la Ciencia (AAAS) en 2008, la conferencia "Nuevas fronteras de la diplomacia científica" organizada conjuntamente por la Royal Society y la AAAS en 2009, y el informe que siguió al año siguiente (Royal Society y AAAS, 2010) tuvo un importante impulso.

los asuntos exteriores y las relaciones internacionales. El concepto siguió siendo motivo de debates sobre su significado y sobre su delimitación entre los profesionales procedentes del mundo académico, los asesores científicos de los responsables políticos, los responsables de la administración de la ciencia e incluso de los diplomáticos (Ruffini, 2020).

Una de las ideas centrales que le confieren los autores que han trabajado el tema es su potencial capacidad de mejorar el orden internacional. Feijóo y Arienza (2023) destacan como características principales las siguientes: (i) su capacidad de transformación positiva de las relaciones internacionales gracias a los valores universales de la ciencia; (ii) su papel en cuestiones globales que afectan a toda la humanidad; y (iii) la necesidad de cooperación para poder contar con el talento y los recursos necesarios para el progreso de la ciencia. De hecho, cuando los canales de naturaleza política se ven obstaculizados, esta perspectiva sostiene que científicos y tecnólogos pueden contribuir a través de un lenguaje común a mitigar las diferencias políticas internacionales cuando los canales diplomáticos habituales están bloqueados o son inexistentes (p. 35)[54]. La cooperación científica internacional puede generar beneficios no científicos por su capacidad de aportar externalidades positivas, como un mejor entendimiento entre sociedades y países y una atenuación de las tensiones políticas internacionales (Royal Society y AAAS, 2010).

En los últimos años las dinámicas de la política internacional están ejerciendo una suerte de presión sobre estas prácticas. Tanto la noción de diplomacia de la innovación como la diplomacia tecnológica surgieron en la búsqueda de comprender cómo la tecnología y las innovaciones que origina están cambiando las relaciones de poder entre naciones. Lo que ha aparecido en el centro de la escena de la cooperación es la competencia por modelos de gobernanza diferentes que intentan predominar por sobre sus alternativas. La complejidad reside en que los actores que participan son a la vez socios con los que cooperar, negociar, competidores económicos y rivales sistémicos. Es decir, ya no se trata exclusivamente de una colaboración neutral sino afectada por intereses y relaciones de poder.

[54] Ejemplifican como antecedentes la Agencia Europea para la Investigación Nuclear (CERN, 1954), el proyecto conjunto Apollo–Soyuz (1975) entre EEUU y Rusia en mitad de la guerra fría, o la Estación Espacial Internacional donde participan EEUU, Rusia, Japón, Europa y Canadá (1984)

Si bien un nivel de fragmentación aceptable puede incrementar la resiliencia del sistema global, la exacerbación de las consideraciones relativas a la seguridad nacional constituye el principal obstáculo. En función de la situación de vulnerabilidad respecto a ciertas tecnologías, especialmente de software y hardware, la reducción de las dependencias en áreas críticas es un asunto clave, pero también una problemática compleja que se enmarca en una geopolítica de la tecnología en la que diferentes regiones buscan fortalecer sus capacidades tecnológicas para evitar depender de rivales potenciales.

Este planteo exhibe una conexión evidente con la soberanía tecnológica que es fundamental advertir y explorar tanto conceptual como empíricamente. En todo caso, la UE tiene un desafío a la vez que una oportunidad en las prácticas asociadas a este concepto.

### *2.4.4 La "Guerra de los chips" y los cambios en el tablero geoestratégico*

Los semiconductores son el insumo estratégico que condiciona cada vez más la capacidad de países y empresas de actuar económica, industrial y militarmente (Duchâtel; 2022; SWD, 2022). Estados Unidos inventó el semiconductor, pero hoy produce alrededor del 12% del suministro mundial, y ninguno de los chips más avanzados. En cambio, depende de Asia Oriental para el 75% de la producción. Es clave comprender que su liderazgo se basa en activos intangibles, es decir, en la propiedad intelectual a través de las patentes. Esta posición explica su capacidad para imponer sanciones formales e influir en las decisiones de terceros países y empresas[55]. La mayor parte de la fabricación del hardware real se lleva a cabo fuera de su territorio. Es muy dependiente del exterior para la producción de los semiconductores lógicos de vanguardia que alimentan todos los algoritmos de IA fundamentales para los sistemas de defensa (NSCAI, 2021), lo cual explica muchas decisiones recientes de inversión, pero también de "reconstruir" su capacidad doméstica. Además, el país también vende la mayor cantidad de semiconductores específicos para el aprendizaje automático, las denominadas matrices de puertas programables en campo (FPGA en inglés) y las GPU que son esenciales para el entrenamiento de algoritmos.

[55] En agosto de 2022, el Departamento de Comercio de EE.UU. prohibió a Nvidia vender sus unidades de procesamiento gráfico (GPU por sus siglas en inglés) a clientes de China y desde noviembre 2023 no puede vender sus productos más avanzados.

La Ley de CHIPS y Ciencia de 2022 pretende revitalizar la industria nacional de semiconductores de Estados Unidos e invertir en la construcción de nuevas plantas de fabricación, incluidas las de empresas extranjeras como TSMC y Samsung[56]. La envergadura de la Ley CHIPS y de Ciencia se advierte por los 52.700 millones de dólares en subvenciones asignadas a la fabricación de semiconductores. Sin embargo, diversas iniciativas enfrentan problemas tanto por los costos como por la escasez de mano de obra (Nikkei Asia, 19/03/2024)[57]. El asunto tiene implicaciones y es interesante porque no se trata únicamente de la instalación de fundiciones, sino que se trata de un conjunto de firmas que proveen los insumos necesarios para el funcionamiento de dichas fundiciones. Esta situación de falta de recursos humanos debe ponderarse ya que el hecho de que varios proveedores hayan ralentizado sus proyectos demuestra que el problema no está causado por una o dos empresas, sino que es más estructural.

El capital humano es fundamental para las innovaciones tanto en este campo como en otros de alta tecnología. Ello podría explicar la motivación para invertir en la formación de especialistas[58]. La normativa también autoriza a varias agencias científicas federales a invertir 174.000 millones de dólares en los próximos cinco años en formación en titulaciones científicas, tecnológicas, ingenierías y matemáticas (STEM en inglés). La proporción de nuevos doctores en Ciencias de la Computación graduados en universidades estadounidenses que se especializaron en IA aumentó del 10,2% en 2010 al 19,1% en 2021 (AI Index Report, 2023)[59].

[56] Según ha sido reportado, la taiwanesa TSMC acordó con las autoridades norteamericanas que la subvención federal ascienda a 6.600 millones de dólares, comprometiéndose a aumentar su inversión a más de 65.000 millones de dólares y producir los chips de 2 nanómetros más avanzados del mundo en su futura planta en Arizona. La secretaria de Comercio de Estados Unidos, Gina Raimondo, dijo que TSMC también construirá una tercera planta de chips no anunciada previamente en Phoenix, Arizona, que estará operativa en 2030 (Nikkei Asia, 8/04/2024). Por otro lado, el Departamento de Comercio de Estados Unidos ofrecerá hasta 6.400 millones de dólares en financiación directa a Samsung Electronics para construir instalaciones de fabricación de chips en el centro de Texas, alcanzado la inversión total de Samsung hasta aproximadamente 45.000 millones de dólares (Nikkei Asia, 15/07/2024).

[57] Tres ejecutivos de materiales para chips declararon a Nikkei Asia que el coste de construcción de una planta en Arizona era cuatro o cinco veces superior al de Asia y "varias veces" más elevado de lo que habían previsto.

[58] Casi el 30% de la financiación de los Departamentos de Ciencia de la Computación de las universidades de EE.UU. en 2021 procedió de la Oficina de Investigación del Ejército, la Oficina de Investigación Naval y el Laboratorio de Investigación de la Fuerzas Aéreas (20,3%); la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa (DARPA) (8,8%) (AI Index report, 2023, capitulo 5: Educación).

[59] Ahora bien, es pertinente mencionar que aproximadamente la mitad de los títulos de máster y doctorado en campos relacionados con la IA expedidos por universidades estadounidenses son de estudiantes extranjeros, muchos de los cuales permanecen en el país después de graduarse. Sin embargo, producto de las tendencias a la fragmentación y los recelos, las acciones que los gobiernos implementan podrían ser contraproducentes para sus propios intereses. En este sentido, en 2018 la "Iniciativa China" de la administración Trump facilitaba el enjuiciamiento de personas sospechosas de haber participado en espionaje económico, enfocándose en investigadores nacidos en China en universidades del país. Mientras que Biden abandonó la iniciativa, algunos legisladores republicanos han propuesto que se restablezca (FT, 6/11/2023).

En marzo de 2024, miembros del Congreso estadounidense pidieron al gobierno federal que tomara medidas para proteger las cadenas de suministro estadounidenses de la dependencia de los chips adquiridos previamente de China. Estos políticos también exigieron a los funcionarios estadounidenses que estudiaran si existe "autoridad suficiente para aplicar "aranceles a los componentes" de los chips heredados de China contenidos en productos acabados con el fin de contrarrestar la maniobra de ese país para inundar los mercados estadounidenses" (Comité Selecto de la Cámara de Representantes sobre la Competencia Estratégica, 2024)[60]. Además, agencias como la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) están llevando a cabo iniciativas individuales para centros de fabricación de microelectrónica con el fin de fomentar la innovación y apoyar la base industrial de semiconductores.

Por otra parte, el gobierno ha cambiado su estrategia de sanciones unilaterales a un acuerdo multilateral de control de las exportaciones para equipos de fabricación de semiconductores con Japón y los Países Bajos[61]. Estados Unidos ha presionado a ASML y Nikon, y por extensión a los países a los que pertenecen, debido a su monopolio sobre determinadas tecnologías utilizadas en los equipos de litografía avanzada de ASML. Al ser propietario de ciertas tecnologías incorporadas en los equipos, Estados Unidos ha aplicado normas de contenido y ha ajustado la tecnología de origen mínima exigida para entrar en los controles.

Dado que los equipos de litografía EUV ya estaban sujetos a control en el marco del Arreglo multilateral de Wassenaar (Secretaría del Arreglo de Wassenaar, 2023), China intentó acceder al segundo mejor equipo de litografía, el de inmersión DUV. Recientemente, se han introducido nuevos cambios normativos como parte del acuerdo multilateral, que incluyen una reducción del contenido estadounidense necesario para controlar el equipo. En resumen, el mensaje fue claro: EE.UU. tiene el poder de vetar cualquier equipo de litografía que

[60] Para más detalles puede consultarse: https://democrats-selectcommitteeontheccp.house.gov/media/press-releases/krishnamoorthi-gallagher-call-urgent-action-reduce-us-dependence-prc

[61] En la década de 1970, el gobierno estadounidense había identificado los controles a la exportación de equipos de fabricación de semiconductores como un enfoque eficaz para controlar la transferencia de «conocimientos técnicos de fabricación» junto a una visión de su utilización dual. Más de 50 años después, éste sigue siendo un objetivo clave de Estados Unidos y varios gobiernos aliados. De ahí se entienden las presiones para ampliar los controles de exportación de equipos avanzados de fabricación de semiconductores para limitar el avance tecnológico de China. Este punto se comenta en mayor detalle en el capítulo VI. Los antecedentes pueden consultarse en: US Department of Defense, "An Analysis of Export Control of US Technology: A DoD Perspective", 4 February 1976 (https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA022029.pdf 2).

contenga un mínimo de contenido estadounidense, en particular los equipos ASML en los que el contenido estadounidense es significativo. La empresa Nvidia también ha recibido presiones para comercializar productos específicos para el mercado chino que son versiones degradas en sus prestaciones respecto a su portfolio habitual[62].

Las respuestas de China para afrontar la situación también han sido diversas. Por un lado, la publicación del 14º plan quinquenal (2021-2025) en el que establece como meta prioritaria la autonomía en la producción de semiconductores como forma de lograr la autosuficiencia tecnológica, tanto respecto a inversiones propias como basada en inversiones extranjeras. En 2017 había lanzado el "Plan de Desarrollo de la Inteligencia Artificial (IA) de Nueva Generación" con el objetivo de crear capacidad autóctona en el país y alentar a sus empresas tecnológicas a seguir una estrategia de "salida al exterior", es decir, a invertir y expandirse en el extranjero. Estos impulsos han estimulado un ecosistema de empresas tales como MetaX, Alibaba, Biren Technology, Moore Threads, Innosilicon, Zhaoxin, Iluvatar CoreX, DenglinAI o Vast AI Tech, tan son solo algunas de las que ya están desarrollando chips avanzados para aplicaciones de inteligencia artificial.

En julio de 2023, el Ministerio de Comercio de China anunció restricciones a la exportación de productos industriales y materiales que contienen galio y germanio. La medida representa más un mecanismo de política estructural que una denegación de licencias de exportación. A pesar del matiz, la industria de semiconductores y los compradores de chips interpretan la medida como una escalada en la "guerra de los chips". Asimismo, Huawei está tratando de construir su propia cadena de suministro de chips construyendo un centro “masivo” de I+D de equipos semiconductores en el oeste de Shanghái con una inversión total de unos 12.000 millones de yuanes (1.660 millones de dólares) (Nikkei Asia, 11/04/2024). El centro se está construyendo en su mayor base de investigación y desarrollo hasta la fecha, y su misión es desarrollar máquinas de fotolitografía. En el mismo lugar se encuentra la sede de *HiSilicon Technologies*, la unidad de diseño de chips de Huawei. También hay centros de investigación de tecnologías inalámbricas y smartphones[63].

[62] La producción en masa de un chip de inteligencia artificial (IA) comenzaría en el segundo trimestre de 2024 con el fin de cumplir las últimas normas de exportación estadounidenses.

[63] Estas iniciativas tienen en el aspecto del Capital Humano un factor central. Según se reporta, la empresa ya ha contratado a numerosos ingenieros que han trabajado con los principales fabricantes mundiales de herramientas para chips, como Applied Materials, Lam Research, KLA y ASML ofreciéndoles altos salarios.

Las dinámicas asociadas a la IA no se circunscriben únicamente a la esfera de la competencia económica, sino que China la concibe como la vía para contrarrestar la superioridad militar convencional norteamericana mediante el "salto" a una nueva generación de tecnología. El país apunta a alcanzar su objetivo de un "ejército totalmente moderno" basado en la "mecanización" (prevista para 2020; completada), la "informatización" (para 2027) y la " inteligentización" (para 2035)[64]. Gran parte de estas medidas se basan en su impulso a los sistemas basados en inteligencia artificial (IA) para mejorar la capacidad de sus fuerzas armadas para procesar rápidamente grandes volúmenes de información y proporcionar análisis que ayuden a la planificación y la toma de decisiones. El país está probando y entrenando algoritmos de IA en juegos militares diseñados en torno a escenarios del mundo real. Estos esfuerzos por modernizar su ejército e integrar la IA en sus sistemas ya está afectando la cadena de suministro de semiconductores de Occidente[65].

## 2.5 Soberanía tecnológica como discurso político de la UE

### *2.5.1 Soberanía Tecnológica y discurso político*

Las perspectivas políticas de la Soberanía tecnológica se desarrollaron tanto en el seno de las instituciones de la UE como a través de ámbitos como centros de pensamiento (“think-tanks” o académicos) u organizaciones industriales siguiendo una lógica orientada a la praxis delimitada por el contexto institucional-legal, por las presiones externas de otras potencias y por las exigencias de las sociedades nacionales de los Estados miembros.

La cronología refleja que los términos autonomía estratégica y soberanía tecnológica (sobre todo, digital) comenzaron a aparecer en discursos políticos y documentos normativos a partir de 2016 (Timmers y Dezeure, 2021). El primer país europeo en enmarcar sus dependencias del mundo globalizado como una amenaza a la soberanía estatal fue Francia tras la crisis

[64] El Ejército Popular de Liberación (EPL) se ha unido en torno a un nuevo concepto organizativo sobre cómo cree que las tecnologías avanzadas afectarán a la guerra en este siglo. Expresiones como "inteligentización" representan la visión china de una nueva revolución en los asuntos militares. Este nuevo concepto, poco conocido, está impulsando los esfuerzos de modernización del EPL (Bassler y Noon, 2022). La IA es fundamental para la modernización del sistema de defensa chino en general y sus fuerzas armadas en particular. La inteligentización es el tercero de los objetivos oficiales del EPL en la secuencia de modernización. Los estrategas dicen que se centra en el "espacio cognitivo" en el que la toma de decisiones eficaz y el pensamiento complejo proporcionan la ventaja decisiva.

[65] Las empresas chinas operan actualmente en el 30% del mercado de nodos heredados, pero se espera que esta cuota aumente (junto con la demanda global de chips heredados). Esta cuota de mercado se debe en parte al apoyo del Gobierno chino a las firmas dedicadas a su producción. Estados Unidos ha comenzado a abordar este tema como un elemento de riesgo para su industria de defensa por lo que comenzó a investigar su alcance y plantear nueva legislación para mitigarlo.

financiera de 2008 (Bômont y Cattaruzza, 2020), seguido por Alemania después de que las revelaciones de Snowden de 2013 expusieran la ubicuidad de la tecnología estadounidense y la debilidad de su sistema de seguridad nacional (Pohle, 2020). Ambos países fueron los principales promotores que trasladaron la preocupación desde el nivel nacional a la órbita comunitaria[66].

El presidente de la Comisión Europea se refirió a la "soberanía europea" como una racionalidad referida al posicionamiento de la UE y su capacidad para actuar de forma autónoma (Juncker, 2018). Si bien la preocupación por la competitividad de las industrias tecnológicas europeas ha existido desde hace tiempo, fue la Comisión Europea liderada por von der Leyen la que asoció el tema a la ST, imprimiéndole un nuevo impulso al asumirla como el principio rector para hacer frente a las dependencias y fragilidades, e incorporándolo a las iniciativas de la Unión (COTEC, 2023; Haroche, 2022; von der Leyen, 2019b, 2020). De hecho, la presidenta prometió renovar la estrategia industrial y la política de competencia del bloque para "seguir el ritmo" de la evolución mundial, puntualizando a la política digital como una de las prioridades políticas clave de su mandato 2019-2024 (Madiega, 2020).

El Comisario Breton asociaba las transiciones digital y ecológica a la ST en función de un contexto de cambios acelerados, planteando la escala europea en ámbitos de sectores estratégicos como la defensa, el espacio y tecnologías como la 5G y la cuántica como una cuestión fundamental. Incluso, señalaba que la brecha digital solo podía abordarse implicando a todas las regiones de Europa. Para Breton, la ST: "No se trata de un concepto proteccionista, sino simplemente de disponer de alternativas tecnológicas europeas en ámbitos vitales de los que actualmente dependemos" (Comisión Europea, 2019b). En tres discursos pronunciados en 2020 enfocados en la microelectrónica, la "guerra tecnológica" y la soberanía digital, así como del concepto de autonomía estratégica a nivel de la UE, precisa que la soberanía digital se cimienta sobre tres pilares inseparables: potencia informática, control de los datos europeos y conectividad segura (Breton, 2020).

[66] En 2017 el presidente Macron relacionó la soberanía europea a varias dimensiones “clave” como la seguridad remitiendo a la cuestión de la autonomía estratégica, pero fue más allá incluyendo a la tecnología digital durante su campaña electoral de aquel año (Macron, 2017). En 2020, subrayó la necesidad de recuperar a escala europea una política de soberanía para las infraestructuras críticas y abogó por una política común de soberanía económica y digital durante un discurso en la Escuela de Guerra (citado en Darnis, 2020a). Aussilloux *et al*. (2020) enfatiza que mientras algunas potencias económicas se alejan de los principios de un marco negociado por la comunidad internacional, Europa no puede aceptar una dependencia creciente de las empresas de estos países para funciones esenciales sin disponer de fuentes alternativas.

Como parte de la falta de delimitaciones conceptuales, en 2020, el presidente del Consejo Europeo, Charles Michel mencionó a la autonomía estratégica europea como un objetivo de primer orden para su generación, aunque aclarando al mismo tiempo como respuesta a los cuestionamientos respecto a un eventual abandono de la ortodoxia librecambista del bloque que la misma no supone proteccionismo. Asimismo, el Comisario de Comercio, Valdis Dombrovskis, exponía cuales eran las alternativas consideradas para reforzar la resiliencia económica: relocalización, deslocalización próxima, acumulación de existencias, diversificación, acortamiento de las cadenas de suministro.

El núcleo de la idea de "autonomía" es descrito como un proceso de supervivencia política de la UE como jugador capaz de actuar como "actor global" y como "comisión geopolítica" por el Alto Representante para la Política Exterior y vicepresidente de la Comisión Europea (Borrell, 2020). Según la opinión de Borrell (2021): "*La autonomía estratégica no es una varita mágica, sino un proceso a largo plazo para que los europeos tomen, cada vez más, las riendas de su destino, para defender nuestros intereses y valores en un mundo cada vez más hostil, un mundo que nos obliga a confiar en nosotros mismos para garantizar nuestro futuro*". El Centro Europeo de Política Estratégica describe la autonomía estratégica como "*la capacidad de desplegar acciones que contribuyan a alcanzar, en el marco de las relaciones internacionales, objetivos e intereses previamente definidos*" (EPSC, 2019, p. 3). Esta aproximación fue matizada mediante la fórmula de autonomía estratégica abierta a partir de la crítica de un grupo de 12 Estados miembros, encabezado por Dinamarca e integrado por Suecia, Finlandia, los Países Bajos, Irlanda, los Estados bálticos (Lituania, Letonia y Estonia), la República Checa, Eslovaquia, Malta y España, que firmaron en 2021 un documento conjunto no oficial (Beaucillon, 2023). Allí asientan algunas posiciones entre las que se destacan: el fortalecimiento del mercado interior; el mantenimiento de una ortodoxia estricta en materia de ayudas estatales; el carácter condicional del recurso a los Proyectos Importantes de Interés Común Europeo (IPCEI en inglés), una diversificación inteligente que no altere la apertura de la UE al comercio y la inversión; y el pleno compromiso con un sistema comercial multilateral fuerte con la OMC como núcleo e incluyendo la cooperación trilateral entre la UE, Estados Unidos y Japón (citado en Van den Abeele, 2021).

La UE acuñó entonces el neologismo de «*Autonomía Estratégica abierta*» para referirse a que su visión del asunto es compatible con el orden internacional liberal[67]. Según Beaucillon y Poli (2023), la autonomía estratégica europea fue acuñada en la Estrategia Global de 2016 con el propósito de reforzar las capacidades militares de la UE[68]. Posteriormente fue ampliada a la fórmula de autonomía estratégica abierta europea desarrollada principalmente en el contexto de la Política Comercial Común que sería consonante con la noción de soberanía tecnológica. La comunicación de la Comisión Europea sobre el programa de *Next Generation EU* menciona específicamente que la UE seguirá un modelo de autonomía estratégica abierta, que implicará «*configurar el sistema de gobernanza económica mundial y desarrollar relaciones bilaterales mutuamente beneficiosas, protegiéndonos al mismo tiempo de prácticas desleales y abusivas*».

El Panel para el Futuro de la Ciencia y la Tecnología propone una definición de soberanía tecnológica para la UE, y analiza la actuación del bloque en comparación con China y Estados Unidos respecto al desarrollo y la protección de la propiedad y los conocimientos técnicos relacionados con las tecnologías habilitadoras clave (STOA-EPRS, 2021b). Mas recientemente la Unidad de Prospectiva Científica dentro de la Dirección General de Servicios Parlamentarios de Investigación solicitó a un grupo de investigadores un estudio orientado a identificar los factores que impulsan y obstaculizan el desarrollo de una autonomía estratégica abierta en la UE en seguridad alimentaria, seguridad energética, semiconductores y comunicaciones por satélite todos ámbitos considerados críticos (STOA-EPRS, 2023)[69].

El espectro de preocupaciones relativas a la dependencia tecnológica fue ampliándose para comprender otros campos y sistemas tecnológicos, así como también los denominados

[67] En el capítulo III se discute el tema de la definición de Autonomía Estratégica Abierta y su relación con la ST de forma más detallada.
[68] El documento de referencia es el siguiente: EU High Representative for Foreign Affairs and Security Policy (2016) 'Global Strategy for the European Union's Foreign and Security Policy. Shared Vision, Common Action: A Stronger Europe'.
[69] Entre las cuestiones básicas de los semiconductores, es apropiado mencionar que son dispositivos electrónicos que dependen de las propiedades de un material semiconductor para su funcionamiento. Existen siete grandes categorías de semiconductores: de memoria, lógicos, micro, analógicos, optoelectrónicos, discretos y sensores. Las cuatro primeras categorías -semiconductores de memoria, lógicos, micro y analógicos- suelen denominarse conjuntamente circuitos integrados (CI). La memoria incluye la memoria a corto plazo (DRAM) y la memoria a largo plazo (NAND). Las DRAM se utilizan en ordenadores personales, estaciones de trabajo y servidores, mientras que las NAND también se encuentran en dispositivos de almacenamiento masivo como las memorias USB, las cámaras digitales y los reproductores MP3, así como en la electrónica científica, industrial y médica (Ciani y Nardo, 2022).

materiales críticos, induciendo un conjunto de iniciativas que apuntan a crear mecanismos de resiliencia relacionados con ecosistemas industriales europeos clave[70].

En marzo de 2021, la canciller Angela Merkel y los primeros ministros de Dinamarca, Finlandia y Estonia dirigieron una carta a von der Leyen, en la que se subrayaron que: "*Una cantidad significativa del valor añadido digital y la innovación tiene lugar fuera de Europa. Los datos se han convertido una nueva moneda que se recoge y almacena principalmente. Ahora es el momento de que Europa sea digitalmente soberana*" (citado en CED, 2021).

La Cumbre de Versalles de marzo de 2022 habría sido un nuevo escenario en el cual los líderes europeos decidieron tomar "medidas decisivas" para construir la "soberanía europea" y reducir la dependencia estratégica de la Unión. La cumbre, realizada poco después de iniciada la guerra en Ucrania establece la prioridad de "eliminar progresivamente" la dependencia de las importaciones rusas de hidrocarburos, aunque se trataría de un esfuerzo más amplio que abarca materias primas críticas, semiconductores, productos sanitarios, digitales y productos alimentarios (Maurice, 2022).

### *2.5.2 La crisis del orden internacional liberal como desafío a la Unión Europea*

La UE se desarrolló bajo el llamado orden internacional liberal, un arreglo compuesto por organizaciones internacionales, leyes, normas, regímenes y prácticas basadas en el poder de Estados Unidos como *primus inter pares* que se expandió más allá de Occidente tras el final de la Guerra Fría[71]. La Unión contribuyó a la configuración de ese orden no sólo con su existencia, sino también ejerciendo su poder blando (Tocci, 2021). Por su propia trayectoria, el multilateralismo es un rasgo definitorio de su constitución interna y de su identidad externa.

En un escenario en el cual los cuestionamientos y la necesidad de revisar muchos de los supuestos sobre el orden mundial se han agudizado (Leonard y Shapiro, 2019), el discurso

[70] En este marco se inscribieron la Alianza Europea de Baterías, lanzada en 2017, que reúne a las instituciones de la UE con la industria, representando un esfuerzo para fomentar el desarrollo de una industria paneuropea de baterías como un imperativo estratégico. El énfasis fue “reforzado” por las iniciativas sobre datos e inteligencia artificial (IA), en las que se destacaba la importancia de los datos industriales como recurso en el que basar la experiencia y la innovación europeas (Burwell y Propp, 2020). A este esfuerzo se agregan la Alianza Europea de Materias Primas (ERMA), la Alianza Europea de Datos Industriales, Edge y Cloud y la Alianza Industrial de Tecnologías de Procesadores y Semiconductores.

[71] En este esquema, la dependencia estratégica de Estados Unidos sobre todo en el ámbito de la defensa forma parte del código genético europeo.

de la autonomía estratégica y, en ese marco, el de la soberanía tecnológica ha sido sugerido por literatura del campo de la Economía Política como un potencial articulador de intereses heterogéneos (Schmitz y Seidl, 2023). Desde esta perspectiva, algunos políticos de la UE, los Estados miembros y los grupos empresariales organizados han redescubierto el lenguaje de la autonomía en una economía mundial cada vez más multipolar, fragmentada e impredecible (Lavery, 2023). Pero la naturaleza del bloque constituido por 27 Estados donde persisten brechas en cuanto a las capacidades tecnológicas y productivas, pero además por las divergencias en relación con los intereses geopolíticos, genera una toma de decisiones muy poco ágiles.

Desde el punto de vista institucional, la UE es una arquitectura única. Cada uno de los Estados que la integran transfiere, voluntariamente, "ciertas parcelas de su soberanía". De hecho, la cesión es puntual y delimitada en la mayoría de las áreas con excepciones en transportes, agricultura y libre circulación. Las competencias se distinguen por una doble compartimentalización: horizontal –entre políticas públicas sectoriales- como en cualquier administración moderna occidental; y vertical respecto a los niveles de tomas de decisiones (local, subnacional, nacional, europeo y global). De acuerdo con el Tratado de Lisboa (Versión consolidada Diario Oficial de la Unión Europea, 2012), la investigación y la innovación son una responsabilidad compartida y, aunque el principio de coordinación figura en el Tratado de Funcionamiento, en la práctica se requiere apelar a la voluntad discrecional de las administraciones (Cfr. Art. 2º, 3º, 4º, 5º y 6º, TFUE, 2010).

Esta "fragmentación competencial" afecta los esfuerzos que cada Estado Miembro puede asignar a las políticas y programas, sobre todo presupuestarios, pero no exclusivamente. Las iniciativas de investigación, innovación y educación superior están condicionadas por esta circunstancia. De hecho, la competencia efectiva reguladora no necesariamente se verifica en la competencia efectiva para innovar. Además, la posibilidad de la intervención estatal en apoyo de industrias y proyectos concretos fue asumida como perjudicial para los principales motores de prosperidad de la UE: el mercado único y el comercio internacional basado en normas. Frente a la crisis actual este problema adquiere mayor relevancia, lo cual plantea varios desafíos.

Primero, aunque la noción de ST surgió como una apelación discursiva, la falta de una definición compartida ha planteado una dificultad para derivar de ella una «*hoja de ruta de la UE hacia la soberanía*» que permita comprender cómo se traduce en políticas concretas[72]. Ello se revela a través de las diferentes nociones de soberanía contenidas en las estrategias de política industrial y digital en lo que refiere a los niveles de actuación adecuados para la UE, así como en las narrativas divergentes en las que basan las decisiones los responsables de cada área de la Comisión. También en el carácter proactivo o defensivo de los instrumentos que se diseñan (Wigger, 2023)[73]. El mayor inconveniente es que las inversiones en I+D en el programa marco atienden a una visión estratégica que se combinan cada vez mas de forma coherente y coordinada con otras medidas de refuerzo en política industrial, comercial o de defensa, pero no así con los programas e iniciativas nacionales. Las brechas dificultan los avances industriales disruptivos o la creación de nuevos actores globales en Europa (Timmers y Dezeure, 2021).

Segundo, la capacidad de la UE para intervenir en el establecimiento de las condiciones del uso de la tecnología, así como en la elaboración de normas o estándares técnicos que las regulen en su utilización y las empresas que las producen y explotan ha sido exitosa en influir mundialmente en los ámbitos de la protección de datos, la seguridad de vehículos en carretera, el impuesto sobre las emisiones y el comercio digital. Por eso, es caracterizada como una Superpotencia reguladora descrita por Bradford en el libro *The Brussels Effect* (citado en Ortega, 2020b)[74]. Hasta ahora había, de hecho, una aceptación de ese poder de la UE por parte de otros actores. Frente al nuevo escenario, podría diluirse el efecto porque la

[72] La tesis de maestría de Ribeiro de Andrade (2021) analiza la problemática de la ST, en particular las divergentes interpretaciones del término por parte de los responsables de la Comisión Europea. El trabajo subraya la existencia de narrativas contrapuestas sobre lo que significa ser soberano tecnológicamente y lo que se necesita para conseguirlo. El caso de la computación en la nube ofrece un ejemplo de las narrativas que compiten entre sí, y de cómo (no) se traducen en enfoques políticos coherentes. Para la comisaria Vestager la solución es económico-normativa. Es decir, la amenaza de la dependencia de las empresas extranjeras debe ser neutralizada mediante la imposición de la igualdad de condiciones (digitales), actuando a través de sus herramientas de competencia y promoviendo una mejor aplicación de las normas comunitarias. Dicho de otra manera, garantizar la autodeterminación de los ciudadanos comunitarios para elegir libremente, según los valores individuales, entre una gama más amplia de ofertas en proveedores tecnológicos. Por otro lado, el enfoque del comisario Breton es completamente diferente en el sentido de que la solución para reducir las dependencias es crear capacidades y aptitudes a nivel europeo para competir con las empresas extranjeras e invertir en nuevas soluciones innovadoras para evitar futuras dependencias (Ribeiro de Andrade, 2021, p. 21, 54-55).

[73] Ejemplos dentro de la estrategia industrial y la política comercial son el mecanismo de selección de la IED (FDI-SM en inglés) en vigor desde octubre de 2020; los Proyectos Importantes de Interés Común Europeo (IPCEI en inglés) que ´promueve "alianzas industriales" paneuropeas; el Reglamento sobre Subvenciones Extranjeras (FSR en inglés); Instrumento de Lucha contra la Coerción (ACI en inglés). Todos estos instrumentos se desarrollaron entre 2014 y 2023 y constituyen arenas críticas que median en las relaciones exteriores de la UE con la economía mundial (Lavery, 2023).

[74] En efecto, participar de la gobernanza y decisiones relativas a algunos sectores emergentes puede contribuir al logro de los intereses de la UE (Lippert *et al*., 2019).

regulación tecnológica necesita una madurez suficiente para abordarla, y esperar ese proceso pone a la UE en situación de "observador" del propio desarrollo de la tecnología sin tener un peso fuerte en el desarrollo industrial de la misma.

La existencia de limitaciones en la capacidad de innovación de la UE y el alto grado de dependencia de infraestructuras y proveedores de servicios digitales de países externos al bloque (Farrand y Carrapico, 2022) tiene efectos que se extienden a múltiples sectores. Por ejemplo, Caravella *et al*. (2021) sostienen que el posicionamiento de los países de la UE en tecnologías digitales también repercute en la transición verde, ya que se observa un deterioro de los resultados en relación con clases de frontera tecnológica como Y02D e Y04S, que representan tecnologías basadas en el uso de dispositivos digitales para lograr un mejor rendimiento medioambiental[75]. No en vano, existe un consenso general sobre la necesidad de reforzar las capacidades en estos campos y en áreas productivas clave (Renda, 2021; Archibugi y Mariella, 2021).

Incluso, se puede conjeturar que la capacidad de establecer normas en los próximos años probablemente ya no responda a los mismos parámetros que en el pasado. Por lo tanto, la posibilidad de incidir de un actor podría verse reducida a no ser que este respaldada por un nivel acorde de ST.

Tercero, muchas perspectivas que se proponen desde la academia europea siguen una lógica reactiva. El informe del Digital Power China (DPC) de 2024 utiliza 12 estudios de casos para analizar las dependencias inversas de China respecto a la Unión Europea y el Reino Unido. Al adaptarse a la creciente competencia geopolítica en torno a la tecnología digital, la UE y el Reino Unido luchan por la seguridad económica y la soberanía tecnológica[76], aunque sea prácticamente imposible reducir las dependencias estratégicas hasta un nivel que proporcione

[75] La subclase Y02D incluye las tecnologías de la información y la comunicación [TIC] cuyo objetivo es minimizar el uso de energía en el funcionamiento de los equipos TIC implicados. La subclase Y04S corresponde a los sistemas que integran tecnologías relacionadas con el funcionamiento de las redes eléctricas, las comunicaciones o las tecnologías de la información para mejorar la generación, la transmisión, la distribución, la gestión o el uso de la electricidad, es decir, redes inteligentes.

[76] Los autores del informe plantean que las tecnologías analizadas se caracterizan por ecosistemas tecnológicos basados en una división del trabajo altamente transnacional, señalando que la probable evolución confirmaría la interdependencia de los actores en el futuro previsible. De hecho, el avance tecnológico de China sigue dependiendo del mundo exterior, incluida en cierta medida Europa. Asimismo, mencionan que las políticas europeas se centran en reducir la excesiva dependencia crítica de China con un enfoque fundado en la reducción de riesgos que facilite la adaptación a las nuevas realidades geopolíticas. Ello se ha traducido en varios instrumentos políticos como el mecanismo de selección de inversiones de la UE o la 5G *Toolbox,* entre otros.

esa seguridad que buscan ya que el coste de tal desvinculación sería enorme. Los actores no están dispuestos de forma realista a pagar un precio tan alto. Por lo tanto, la soberanía tecnológica dentro de la autonomía estratégica podría analizarse desde la perspectiva del balance entre el entrelazamiento estratégico (la indispensabilidad) y la autonomía.

El argumento sería que el entrelazamiento entre proveedores de tecnología europeos y chinos en un ecosistema tecnológico crítico garantizaría a largo plazo el objetivo político de alcanzar cierto nivel de indispensabilidad entre las partes. Esta situación podría crear seguridad a través de lo que puede entenderse como la mutua necesidad de recurrir a los activos del otro, en función de las dependencias inversas, implicando costes muy altos para China si optara por apartarse de esta dinámica.

El planteamiento parece consistente en un horizonte de corto plazo a medio plazo, aunque asumiendo la inmutabilidad de diversos factores. Por ejemplo, que la rivalidad entre Estados Unidos y China se mantenga relativamente estable (incluso siguiendo la lógica de avances y retrocesos), que China efectivamente no logre desarrollar y/o copiar las tecnologías críticas que todavía no tiene, o que encuentre mercados alternativos para colocar parte de su producción reduciendo así la participación europea, sobre todo en los países que configuran el denominado Sur global. Es decir, supone aceptar la constancia de numerosas variables, lo cual contrasta con la incertidumbre que se ha expuesto a lo largo del capítulo. En este sentido, a los objetivos definidos y explicitados por la propia China se añaden las presiones y sanciones norteamericanas. Esta combinación parece estar actuando no solo como un *driver* sino como un acelerador de la búsqueda de China hacia mayores niveles de autosuficiencia tecnológica, lo cual plantea a su vez retos de seguridad para Europa.

## 2.6 Conclusiones

En la configuración de las relaciones de poder, dominar las tecnologías clave, la propiedad intelectual y los activos de conocimiento pueden conferir un poder significativo a los estados o a las corporaciones, influyendo en su capacidad para afirmar la soberanía sobre los dominios tecnológicos. La primera aportación del capítulo se refiere a la caracterización de la pugnacidad entre Estados Unidos y China que plantea lo siguiente: en el corazón de las

tensiones, dos pugnas se combinan y retroalimentan. Por un lado, el "poder estructural", por el otro, el "poder de innovación".

A medida que la brecha relativa aun existente entre las capacidades de innovación de ambos países se reduzca, la disputa se agudizará *vis a vis* las presiones sobre otros actores para que se alineen con uno u otro, tal como está sucediendo respecto a sistemas como 5G, tecnologías como semiconductores e inteligencia artificial o en sectores como el aeroespacial. De hecho, la UE se enfrenta al desafío de poseer un nivel de soberanía tecnológica suficiente para generar el grado de autonomía estratégica que no le obligue a tomar partido en la confrontación económica (Terzi *et al.*, 2022).

Los cambios en el tablero geoestratégico han inducido a muchos gobiernos a alejarse del énfasis habitual en los beneficios del comercio que las economías obtienen de la especialización en las fases de producción en las que presentan una ventaja comparativa para acrecentar la atención a la necesidad de que las economías controlen un conjunto más amplio de actividades estratégicas a lo largo de las CVM a escala nacional y supranacional. Estas condiciones le exigen a la UE articular una estrategia que promueva la cooperación internacional para evitar los efectos negativos que la excesiva fragmentación de las tecnologías podría acarrear para la economía global y para el bloque comunitario en particular. La diplomacia tecnológica mundial (Feijóo y Atienza, 2023) tiene, por tanto, el potencial de transformar profundamente la estructura mundial, promoviendo tanto la colaboración como la competencia entre naciones en un contexto de creciente complejidad y multipolaridad.

Las políticas públicas de especialización, ya sea para reforzar las estructuras industriales existentes o para alcanzar a los líderes tecnológicos, pero sobre todo para promover los campos tecnológicos emergentes, están asociadas a asumir con recursos públicos los riesgos de fracaso. El papel de las políticas gubernamentales y las estrategias empresariales a la hora de canalizar sus inversiones en tecnología y configurar sus cadenas de suministro en beneficio propio o de sus aliados vuelve a estar en el centro de los debates.

La soberanía tecnológica se ha convertido en un asunto objeto clave de la acción política y también del futuro de la UE. La debilidad en las dimensiones tecnológica y productiva del

bloque en tiempos de pandemia ha puesto de manifiesto las capacidades limitadas de la Unión a la hora de afrontar acontecimientos imprevisibles (Crespi *et al*., 2021; Álvarez *et al*., 2021). El solapamiento de recursos para encauzar las mismas o similares problemáticas o metas científico-tecnológicas entre administraciones públicas y la iniciativa privada tienden a amplificar los efectos negativos.

El nuevo escenario plantea un claro dilema en la UE acerca de cuál podría ser el nivel de dependencia tecnológica aceptable. Al mismo tiempo, explicaría por qué el debate se ha articulado sobre todo en términos de amenazas a la seguridad, no solo en el sentido clásico sino también a la seguridad financiera, energética, que aumentan con la "geopolitización" del mundo. Ello deriva en una perspectiva predominante que ha tendido a utilizar como sinónimos o a vincular como un continuo los conceptos de ST y Autonomía Estratégica abierta sin delimitar ni diferenciar ambos conceptos (ver Capítulo III). La autonomía estratégica como expresión ha asumido progresivamente un papel central en la práctica y en el discurso contemporáneo sobre la acción exterior de la UE. Este abordaje tiene, en principio, dos inconvenientes. Primero, parece asumir que a través del comercio el acceso a las tecnologías críticas puede garantizarse. Segundo, soslaya que la tecnología se ha convertido en un factor de poder a caballo del entorno geopolítico.

La segunda aportación del capítulo sugiere que el nivel de ST que un actor tiene es una de las condiciones necesarias para alcanzar objetivos de amplio alcance tales como promover una suerte de relanzamiento del orden multilateral, o menos ambiciosos como sostener su posición como potencia comercial o su propio modelo de economía social. Pero no alcanza con la voluntad de movilizar instrumentos políticos, sino que demanda proactividad y anticipación en el diseño (e implementación) de estrategias coherentes y sólidas entre los Estados Miembros y las instituciones comunitarias a fin de evitar la descoordinación. De esta situación se desprende la importancia de una cuidadosa definición de los límites geográficos de las redes internacionales de producción, así como la necesidad de realizar inversiones sustanciales en actividades estratégicas a nivel nacional y macrorregional. Asimismo, se requieren vínculos globales selectivos para acceder a activos clave y fuentes de conocimiento cuando sea necesario. Este punto será ampliado en el capítulo III.

## **CAPÍTULO III.** SOBERANÍA TECNOLÓGICA Y POLITICAS DE LA INNOVACIÓN

Este capítulo tiene el objetivo de definir el concepto de soberanía tecnológica y sus fundamentos como nueva racionalidad de la política de innovación. Por eso asume como punto de partida el cuestionamiento del orden internacional por parte de actores centrales y sus múltiples impactos transversales. Mientras que algunos efectos son más evidentes, otros no se revelan con la inmediatez que la "era de la información" pretendería. Las tendencias sugieren la necesidad de observar qué sucede con el sistema global de innovación, la colaboración internacional y las CVM en función de las condiciones de incertidumbre que caracterizan este período. Luego es pertinente describir las racionalidades en debate respecto a la Soberanía tecnológica para conocer el estado de discusión. Sobre esta base, exponer los fundamentos y el concepto adoptado por la tesis que surge de una convergencia transdisciplinaria. Finalmente delimitar los alcances de los conceptos de Autonomía Estratégica abierta y Soberanía tecnológica y la relación entre ambos.

### 3.1 Interdependencia en condiciones de incertidumbre

#### *3.1.1 Riesgo geopolítico e interdependencia*

La literatura del campo de la economía suele asumir a la interdependencia como un aspecto intrínseco de la caracterización de la globalización. No obstante, este punto es tratado como un dato de la realidad contemporánea sin una consideración objetiva de las implicaciones. Ahora bien, ¿Qué significa desde el punto de vista teórico la interdependencia? El constructo se relaciona con el trabajo seminal de Keohane y Nye (1973, 1987) sobre la interdependencia compleja en política internacional que luego se expandió a otras disciplinas.

El concepto se refiere a situaciones caracterizadas por efectos recíprocos entre países, actores en diferentes países, bloques, regiones o instituciones. Por cierto, los efectos recíprocos no son por definición ni tampoco por sus propiedades de carácter binario, es decir, ni positivos ni negativos *ex ante*[77]. Es decir que no supone necesariamente la existencia de "beneficio mutuo", ya que depender de alguien significa en cierto sentido perder autonomía lo cual reduce la libertad de acción propia (Keohane y Nye, 1987).

[77] La diferencia entre una simple interconexión, tal como un tratado comercial para intercambiar productos específicos, difiere de los alcances que supone este tipo de interacción que depende de los efectos de costes implicados en términos políticos, económicos y sociales. La naturaleza de la relación es una de las variables a ponderar en función de su impacto sobre la correlación beneficios/costes, pero, igualmente, no puede determinarse a priori el resultado.

Reseñar el origen de una categoría tan relevante como es la de "interdependencia" es muy importante porque, como afirman Farrell y Newman (2019), mientras que los primeros análisis que la empleaban ponderaban al poder como un factor a considerar, luego el este aspecto fue soslayado, centrándose en los beneficios de la cooperación. Estos autores hacen más hincapié en los recursos de poder de los actores que en los factores estructurales, en particular en la dispersión del poder a través de las redes globales, señalando que la interdependencia genera vulnerabilidades recíprocas y no unilaterales. Sin embargo, las estructuras de red pueden tener consecuencias importantes para la distribución del poder, ya que no producen un mundo plano o fragmentado de relaciones difusas y cooperación fácil, ni tienden a ser menos asimétricas con el tiempo (Farrell y Newman, 2019, p. 49). En términos prácticos, "*las estructuras de red asimétricas crean el potencial de una «interdependencia armada», en la que algunos Estados son capaces de aprovechar las relaciones de interdependencia para coaccionar a otros"*[78].

Desde la perspectiva de las empresas, la interdependencia de actividades en el marco de las cadenas de valor provoca vulnerabilidad. Esto no es problemático siempre que el tipo y la escala de los problemas sean manejables (Pedersen y Jensen, 2021). Esta misma consideración puede señalarse respecto a los países. Pero la inestabilidad actual cuestiona estos supuestos, por lo que es ineludible revisar los diversos papeles del Estado en las CVM (Horner y Alford, 2019), prestando atención especial a las perturbaciones tanto previstas como inesperadas (Gereffi, Kim y Lee, 2021).

En un escenario en el cual la seguridad de provisión de insumos críticos, la seguridad de suministro de bienes estratégicos y la seguridad de mercados de consumidores ha regresado a la agenda económica, es necesario reflexionar en la forma en la que se articulará la colaboración internacional (Dong Lee, 2022). Mejorar la capacidad para detectar, comprender y actuar sobre señales o alertas tempranas, débiles y poco frecuentes de futuras

[78] Franke y Torreblanca (2021) elaboran un argumento convergente que sostiene que la "neutralidad tecnológica" se ha visto cada vez más cuestionada en los últimos años a medida que las potencias tecnológicas convierten las interdependencias en vulnerabilidades. En todo caso, asocian esa supuesta neutralidad con relación al acceso a un orden internacional "basado en normas y orientado al mercado", para el cual el origen de la tecnología no constituye una barrera por lo cual los países podrían depender de las fuerzas del mercado para acceder a las cadenas de suministro mundiales y satisfacer sus necesidades tecnológicas.

amenazas y oportunidades, de modo que la política pueda ser más adaptativa y anticipatoria en un entorno impredecible (Mendonça *et al*., 2012), es clave para construir un enfoque de CTI compatible con la ST.

Al pensar sobre las implicaciones, la Figura 3.1 destaca un conjunto de riesgos geopolíticos derivados de la interdependencia en la esfera tecnológica. Mientras que estos factores no son novedosos, el nuevo contexto internacional indica que ya no pueden ser asumidos como aspectos "neutrales", lo que justifica su incorporación al análisis. Como parte de la ampliación conceptual para incluir las nociones de riesgo y vulnerabilidad, el papel de los gobiernos es fundamental considerando los cambios dinámicos que vienen sucediendo en el sistema global, sobre todo al pensar en las instituciones como una cristalización más o menos estable que resulta de una secuencia continua de acciones gubernamentales deliberadas y estratégicas cuyo objetivo es influir en arreglos institucionales favorables, en el ámbito doméstico, pero sobre todo internacional. Como se comentó en capitulo anterior, las lógicas de la securitización y apertura en las actividades de investigación científica han motivado trabajos recientes que apuntan discutir la gestión colectiva de estos asuntos (D'Hooghe y Lammertink, 2023; Shih, 2023)[79] y una suerte de pasaje de la diplomacia científica a la diplomacia de la innovación y la diplomacia tecnológica. Puede asumirse que esta racionalidad condicionará a otras dinámicas tales como los procesos de innovación abierta.

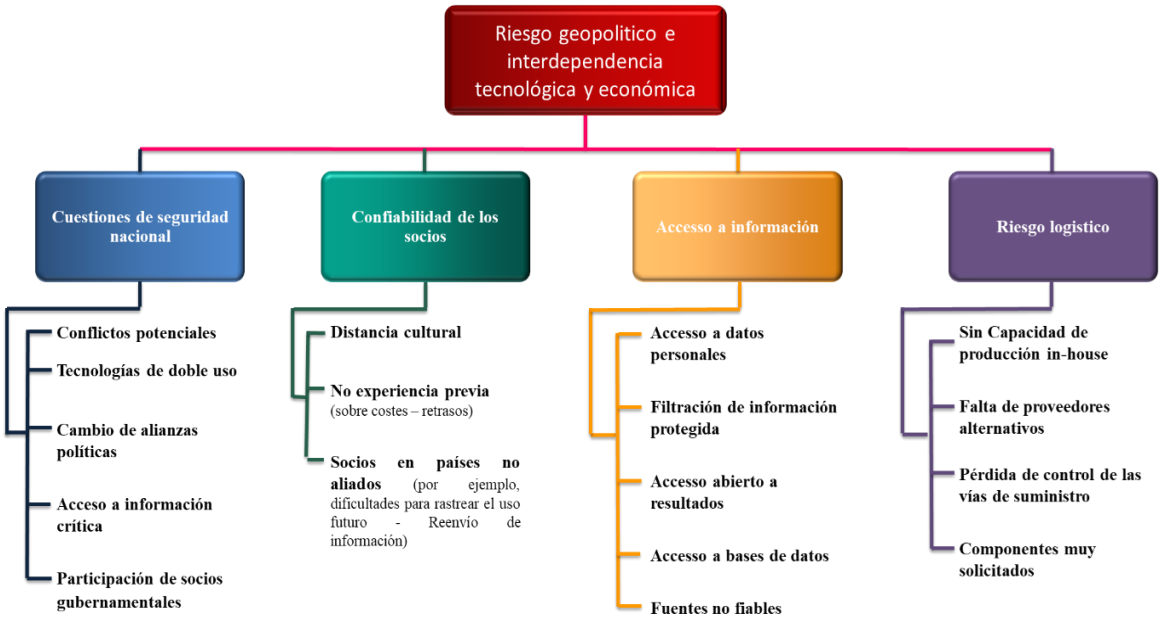
Desde esa perspectiva, existen cuatro causas principales de riesgos geopolíticos relacionados con la tecnología que deben ser gestionadas de manera particular. Primero, la preocupación por la seguridad nacional en función de la falta de control sobre el uso de una tecnología que puede, ahora o en el futuro, afectar a la seguridad[80].

[79] Los trabajos académicos que apuntan a comprender la gestión conjunta de las cuestiones relacionadas con la apertura y la securitización, y a partir de ahí derivar recomendaciones de impacto (Shih, 2024) plantean que asuntos tales como la como la ética, la seguridad, la equidad, la securitización del conocimiento y la internacionalización responsable deben considerarse simultáneamente. La seguridad del conocimiento y la internacionalización responsable, fueron los principales temas de debate durante la sesión sobre investigación de la reunión del Consejo de Competitividad de la Unión Europea celebrada en mayo de 2023 (Consejo de la Unión Europea, 2023).

[80] El concepto de Seguridad Nacional es muy amplio y se interpreta por los países de diversas maneras. Igualmente, al comparar diversas definiciones modernas se identifican un conjunto de elementos compartidos que tienden a repetirse. Por ejemplo, la capacidad de un país para salvaguardar a sus ciudadanos, su economía, sus instituciones y sus valores. Este punto ha sido de cierta manera abordado por León y da Ponte (2023) de manera indirecta al analizar un conjunto de «soberanías en ámbitos temáticos» tales como la económica y financiera, la energética, la digital, la industrial y la militar (también León, 2024).

Segundo, la confiabilidad de los socios, sobre todo en relación con los usos del conocimiento tecnológico, depende de los instrumentos utilizados para la transferencia de tecnología o para la cooperación tecnológica. Tercero, el nivel de acceso a la información o las barreras para el acceso a tecnología protegida. Cuarto, los riesgos logísticos asociados a problemas experimentados en la entrega internacional de sistemas, componentes o materias primas.

**Figura 3.1** Riesgo geopolítico e interdependencia




Fuente: elaboración propia

La complejidad tecnológica de un "sistema" y de sus componentes, así como el acceso al conocimiento, son asuntos que pueden condicionar tanto las estructuras de gestión como la configuración de las redes (Haakonsson y Kirkegaard, 2016). El pool de activos y competencias, junto a acuerdos internacionales, son las que permiten diversas combinaciones en caso de irrupciones o perturbaciones en aquellos suministros que provienen de socios o *partners*, sobre todo para las empresas (con el objetivo de incrementar la resiliencia). El acceso al conocimiento tanto tácito -personal formado necesario y el saber-hacer institucional-, como explícito -publicaciones, patentes, prototipos, productos y servicios, datos- es una de las claves para posicionarse e influir dentro de una red en particular[81].

[81] Es fundamental el lugar que ocupan los activos intangibles en cada etapa y las interdependencias entre ellos Haskel y Westlake (2018) y Durand y Milberg (2019) colocan el énfasis en su relevancia para el funcionamiento de las economías contemporáneas y subrayan las implicaciones derivadas de lo que sucede en el campo de la propiedad intelectual.

La búsqueda de diversificación de fuentes de provisión es una preocupación creciente de muchos países que deben ponderar un conjunto de variables en su toma de decisiones ya que los recursos, las actividades, los procesos, los agentes y las interdependencias inciden sobre los proveedores, el mercado y la tecnología durante todo el ciclo de vida[82].

Una economía que intente posicionarse más favorablemente en la economía internacional puede recurrir a las ventajas comparativas dinámicas o creadas necesarias para los bienes que una economía puede producir e intercambiar. También pueden evolucionar las ventajas comparativas a su favor a lo largo del tiempo mediante sus propias actividades de investigación e innovación y, por tanto, también su posicionamiento en el comercio internacional (Cantner, 2023) lo que a su vez permitirá generar relaciones interdependientes positivas o al menos equilibradas. Esta es la base para actuar con independencia en el sistema tecnológico mundial, así como no quedar necesariamente fuera o relegados a posiciones desfavorables de las CVM.

### *3.1.2 Capacidades tecnológicas y productivas "domésticas" como activos estratégicos*

Durante las últimas décadas, el "saber convencional" postuló que las economías especializadas en funciones más intensivas en conocimiento producen mejores resultados económicos y oportunidades de crecimiento. El planteo sería el siguiente: la inversión en I+D es aspecto crucial para el desempeño favorable a largo plazo de empresas y países, registrando un aumento notable con el paso del tiempo (Goel y Nelson, 2022; Moncada-Paternò-Castello, 2022). Consecuentemente, la especialización en actividades más intensivas en bienes tangibles, como las operaciones de fabricación, no los producen. Este énfasis ha generado la percepción de que la fabricación tiene una importancia secundaria. Aunque productos muy avanzados como semiconductores o computadores cuánticos podrían excluirse por su complejidad, la premisa puede ser cuestionada con otros argumentos respaldados por casos menos excepcionales.

[82] Justamente una aproximación desde el punto de vista del ciclo de vida de la tecnología o de los vínculos entre el conjunto de agentes, acentúa la existencia de interacciones heterogéneas que se derivan del nivel de madurez tecnológica y el segmento de la cadena de valor afectado. Es decir, cuanta más inmadura es una tecnología, más cerca estará de la ciencia por lo que se esperaría mayor colaboración internacional entre científicos, instituciones, gobiernos e incluso empresas (Cooke, 2013). Por el contrario, cuando se avanza en el nivel de la madurez e ingresa al mercado se observará mayor competencia entre actores que ocupen el mismo lugar y función en la cadena de valor (León, 2020).

En este sentido, la emergencia de China como segunda economía mundial ha sido explicada por sus costes laborales. En cambio, menos atención ha recibido la generación y consolidación de su capacidad manufacturera, sobre todo por su impacto sobre su capacidad para innovar en procesos con el devenir de los años. Mas importante todavía ha sido la convergencia gradual con sus habilidades científico-tecnológicas en algunas áreas de interés industrial. De ello se deriva la importancia de "*tratar la fabricación como una parte integral del avance tecnológico, no como un mero elemento secundario de los actos más emocionantes de la invención y la I+D*" (Wang, 2023)[83]. Esta consideración no resulta novedosa, sino que se agrega a una extensa literatura que ha argumentado que el desarrollo de capacidades es un largo y difícil proceso de aprendizaje que comienza con el compromiso en la producción-aprendizaje en la producción (Penrose 1959; Bell y Pavitt 1992; Lall 1992; Dosi 1997; Andreoni 2014, 2018; Chang y Andreoni 2020).

No obstante, el redescubrimiento del papel clave de la "*producción en la economía de la innovación*" ha sido notable en las economías industriales maduras que se enfrentan a la desindustrialización, el deterioro de los bienes comunes industriales, el descenso de la productividad y lo que se denomina en la literatura "bloqueo tecnológico" (Pisano y Shih, 2012; Berger, 2013; Andreoni y Chang, 2017; Konzelmann *et al*., 2017)[84].

Los efectos de la externalización y deslocalización de la producción han impulsado el resurgimiento de una serie de debates respecto a las capacidades "domésticas" de innovación y la Política Industrial como vectores del desarrollo económico en el siglo XXI. La desaparición de la producción del centro de la escena económica se debió al rechazo en la economía neoclásica de los retos analíticos fundamentales que planteaba la dinámica del aprendizaje, la producción y la innovación (Kaldor, 1972).

[83] La evolución de China contrasta con la lógica de la curva de sonrisa (más conocida como *smile curve*) convertida en un hecho estilizado aceptado ampliamente por la literatura de negocios internacionales (Mudambi, 2008; Shin *et al.*, 2012; Milberg y Winkler, 2013). Posteriormente se ha adoptado también en el contexto de las Cadenas de Valor Mundial (CVM) bajo la categoría de '*smile curve economics*' (Stöllinger, 2021) ya que por la racionalidad de su argumento tiende a relativizar la importancia de la producción y la geografía de las distintas fases en la generación de valor.

[84] Ello refleja también que, en el caso de productos y servicios tecnológicos muy dependientes de tecnologías en rápidos procesos de desarrollo, la interconexión entre la investigación, innovación y fabricación es muy intensa (p.ej. en la industria farmacéutica o en la de robótica industrial). En cuanto al bloqueo tecnológico, se refiere a la idea de que, a medida que se acumulan ventajas económicas y culturales para las tecnologías existentes, se crean barreras para la adopción de alternativas potencialmente superiores o al menos igual de valiosas. Esto ocurre porque la innovación y el despliegue tecnológicos dependen de la trayectoria y se producen en condiciones de incertidumbre (Foxon, 2013).

Chang y Andreoni (2020) afirman que actualmente las capacidades productivas se discuten sin valorar que son los inconvenientes que surgen en determinados procesos de producción los que demandan innovar para logar nuevas soluciones tecnológicas y organizativas. Para los autores, el desempeño productivo deficiente es atribuido a la subinversión en I+D y educación, así como también en infraestructuras necesarias (p.ej. fábricas piloto avanzadas en algunos sectores, bancos de prueba o espacios de datos compartidos), pero no a la deslocalización de tareas o funciones[85].

Nelson y Winter (1982) destacaron el papel de la tecnología en el desarrollo económico, en especial la importancia de las capacidades tecnológicas y los procesos de aprendizaje dentro de las empresas e industrias. Por lo tanto, el nivel de capacidades científico-tecnológicas y productivas de un país (por ejemplo, en los campos de la educación, investigación básica, infraestructuras, marcos regulatorios de incentivo, entre otros) y sus empresas (los recursos necesarios para generar y gestionar el cambio tecnológico en la perspectiva de Bell y Pavitt, 1993) constituye un factor que permite explicar en gran medida el liderazgo tecnológico a nivel mundial o una posición negociadora favorable para el logro de objetivos políticos o económicos por parte de un actor. Dicho de otra manera, la base de competencias y activos propios (Capital humano, Inversión en I+D, infraestructura, tejido industrial, etc.) en balance relativamente simétrico con sus condicionantes (redes externas)[86].

Esto es especialmente relevante según se trate de tecnologías clave, tecnologías habilitadoras[87], tecnologías críticas o tecnologías emergentes. Las primeras son más focalizadas a sectores y son necesarias para la operación y desarrollo de una industria específica (por ejemplo, las TICs en servicios financieros). Las segundas facilitan la innovación y el desarrollo de nuevas aplicaciones y productos en múltiples sectores (por ejemplo, fabricación avanzada 3D y 4D en la automoción, la aeronáutica y la electrónica[88],

[85] Ello comprende la dependencia de importaciones, eventuales interrupciones en la cadena de suministro, el control extranjero de infraestructuras críticas y de proveedores de servicios esenciales, la pérdida de aptitudes de la fuerza laboral al dejar de realizar ciertas actividades o la necesidad de generar habilidades futuras.

[86] La definición de Activos y Competencias es muy relevante para esta tesis ya que constituye uno de los pilares que componen el IST. Al respecto, véase el capítulo IV.

[87] La categoría de tecnologías habilitadoras cuya aplicabilidad transversal -generalmente como insumos intermedios en la cadena de valor- indica que pueden ser empleadas por una serie de usuarios intermedios para sus propios productos y servicios (Teece, 2018).

[88] La fabricación avanzada es una tecnología clave porque impulsa la competitividad de la industria europea al mejorar la eficiencia, la flexibilidad y la sostenibilidad de los procesos de producción. Es crucial para sectores como la automoción, la aeronáutica y la electrónica, y es una base para la innovación en productos y servicios. Incluso, según la página web de la Comisión Europea dedicada al Mercado Interior, Industria, Emprendimiento y PYME, "la fabricación avanzada se reconoce

o la nanotecnología que permite desarrollos innovadores en campos tan diversos como la medicina, la energía y los materiales avanzados). En las terceras el criterio de inclusión responde a su importancia relativa para la seguridad nacional, la defensa y la resiliencia de la economía[89]. Las emergentes son aquellas "*radicalmente novedosas y de crecimiento relativamente rápido (…) y con potencial para ejercer un impacto considerable"* (Rotolo *et al.*, 2015), tales como la cuántica (computación y comunicación, sobre todo), biología sintética, y nuevos materiales.

El papel de los gobiernos en la reorganización de las cadenas de suministro para mejorar la competitividad estratégica es un desafío porque debe conciliar los intereses públicos con los privados como punto de partida. Asimismo, crear una mano de obra con las cualificaciones necesarias para el desarrollo de los productos y servicios tecnológicos del siglo XXI es la mejor vía para establecer asociaciones internacionales y público-privadas eficaces basadas en el dominio de las tecnologías habilitadoras necesarias. En el proceso habrá ganadores y perdedores porque una racionalidad de ST aplicada a la política de innovación enfatiza la importancia de que los países preserven (a través de sus empresas) los activos y las competencias propios (o los desarrollen cuando no existen), lo cual significa abandonar la búsqueda de la maximización de los beneficios a corto plazo (Edler *et al.*, 2023).

En ese marco, muchas iniciativas apuntan a lo que se denominan cadenas de valor estratégico en las cuales se distinguen tres elementos básicos que representan capacidades específicas: a) **Diseño**, es decir, la capacidad de dominar los conocimientos necesarios para desarrollar y utilizar una tecnología; b) **Fabricación**, esto es la capacidad de producir, ensamblar, integrar y desplegar una tecnología específica; y c) **Logística**, es decir, la cadena de suministro relacionada con la capacidad de garantizar la cantidad, calidad y entrega puntual de todo lo necesario para diseñar y fabricar un producto o servicio -aplicación- en una tecnología (ASD, 2020, 9).

cada vez más como una industria crítica, especialmente en tiempos de tensiones geopolíticas. Para profundizar en la integración económica y acelerar el desarrollo tecnológico, los procesos de fabricación avanzada son un factor clave". Disponible en línea: https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/advanced-manufacturing_en

[89] Demarais (2023) afirma que la lista de tecnologías críticas de la UE es "sorprendentemente corta" ya que solo incluye los semiconductores, la inteligencia artificial (IA), la computación cuántica y la biotecnología, lo cual responde, según su perspectiva, a que la estrategia de reducción de riesgos sigue siendo un tema divisivo dentro de la unión, por falta de un consenso europeo sobre China.

Una mayor diversificación funcional en actividades de valor añadido tales como I+D y fabricación en sectores y/o tecnologías se asocia a un mayor grado de flexibilidad de la producción. Esto posibilita mayor capacidad para responder a fenómenos adversos y choques inesperados que socaven la estructura y la estabilidad de las CVM (Shih, 2020; Timmer *et al.*, 2019). Tanto los gobiernos como las empresas desempeñan funciones de apoyo mutuo en la consecución de este objetivo crítico (Gereffi, 2023)[90]. Esta versatilidad reconoce similitudes con la capacidad de resiliencia, es decir, la habilidad de las economías para mantener y recombinar sus capacidades existentes con el fin de desarrollar nuevas vías de crecimiento tras un acontecimiento perturbador (Boschma, 2015; Xiao *et al*., 2018; Martin y Sunley, 2020)[91].

En efecto, la dinámica tecnológica e industrial van juntas (Dosi y Nelson, 2010). Las aptitudes y los conocimientos especializados se fundan en la experiencia práctica absorbida por los trabajadores y los directivos de nivel medio en la organización de la producción (Borras y Edquist, 2014). En el caso de la industria manufacturera, permite el desarrollo de "capacidades colectivas" complejas, resultantes de la concentración y la necesidad de organización de una amplia gama de capacidades estrechamente complementarias pero disímiles en la producción (Andreoni y Chang, 2016; Chang y Andreoni, 2019). Estas capacidades colectivas son especialmente críticas en la integración tecnológica y organizativa.

## 3.2 Racionalidades en debate respecto a la Soberanía tecnológica

### *3.2.1 Soberanía tecnológica desde la perspectiva de las asociaciones industriales*

La primera racionalidad vinculada con la noción de soberanía tecnológica le corresponde a la industria, y ha sido articulada a través de documentos de posición de organizaciones empresariales y grupos de reflexión que pretenden proponer hojas de ruta al tiempo que

[90] Además, la especialización productiva correlaciona con la resiliencia de una economía frente a crisis y shocks externos (Molero y López, 2021). Sin embargo, alguna literatura subraya los problemas empíricos de estos argumentos ya que los países pueden verse anclados por las grandes inversiones realizadas en infraestructuras de fabricación y los enormes costes de sustitución que implicaría pasar a otras tecnologías (Chang and Andreoni 2020; Andreoni, 2018).

[91] El grado de diversificación funcional puede asociarse a un conjunto de competencias más amplio que favorece un mejor aprovechamiento de los eslabonamientos hacia atrás y hacia delante entre las fases de las CVM y fomenta mayores oportunidades de aprendizaje debido a las complementariedades e interdependencias estructurales entre las actividades de las CVM (Coveri y Zanfei, 2023; Shih, 2020). Covery y Zanfei (2022) sostiene que la disponibilidad de conocimientos y capacidades productivas, así como la capacidad de ampliar y coordinar las interacciones entre las distintas funciones de adición de valor, brindan mayores oportunidades de reconvertir la producción nacional en caso de perturbaciones económicas. En sectores como el de defensa la diversificación funcional se contrapone a la necesidad de control de todos los eslabones entre países amigos con redundancias en base a criterios de reducción de riesgos, y no económicos.

contribuir a la definición de políticas públicas de apoyo a la industria. El interés común que tienen es alcanzar resultados prácticos y una mayor intervención en la elaboración de políticas. Recorremos a continuación algunos de los argumentos esgrimidos por esas discusiones.

La Asociación Europea de la Industria Aeroespacial y de Defensa (ASD, 2020) asume la necesidad de definir en la esfera política la forma de seleccionar tecnologías y cómo lograr mayor soberanía, generando el terreno para debatir el desarrollo de soluciones políticas e inversiones. A partir de esta premisa, propone una metodología que se adapte a distintos contextos para determinar qué tecnologías son críticas y qué instrumentos de política industrial estratégica podrían utilizarse para alcanzar un nivel de soberanía tecnológica en cada caso. El argumento principal apunta a las tecnologías que contribuyen decisivamente a una capacidad clave para una función crítica de un sector estratégico (seguridad o continuidad de la vida -defensa, seguridad, sanidad, energía, agua-; seguridad o continuidad del modo de vida -sistema político, sistema financiero, economía, justicia, medios de comunicación, educación.

En función de su orientación práctica, se subraya la importancia de la precisión para que las decisiones relativas a la ST cumplan su cometido. Atendiendo a ello se sugieren una serie de elementos para tener en cuenta tales como de qué se habla cuando se hace alusión a la tecnología: un componente determinado, un subsistema, el sistema completo basado en componentes físicos y de software. Además, la identificación de tecnologías críticas es uno de los aspectos cruciales para una estrategia de ST lo que debe estar modulado por consideraciones de asequibilidad, riesgos de desarrollo, la facilidad de acceso a soluciones importadas alternativas (junto con las limitaciones que éstas conllevan), entre otras.

El enfoque debería consistir en una combinación de planificación estratégica basada en las capacidades y una política industrial focalizada, apoyada por inversiones coherentes y persistentes en tecnologías clave seleccionadas[92].

[92] Ello remite a dos interrogantes: ¿Para qué elemento o elementos se procura lograr la soberanía? ¿Y qué se necesita (en términos técnicos, políticos, económicos o de otro tipo) para ser “soberano"? La planificación se desarrolla en cinco etapas: 1) identificación de las tecnologías relevantes, mediante el análisis de los vínculos entre función / capacidad / tecnología; 2) selección de las cadenas de valor pertinentes; 3) definición del nivel y la forma adecuados de control europeo sobre la cadena de valor; 4) identificación de brechas y dependencias que (puedan) socavar la soberanía; y 5) preparación y aplicación de las medidas para garantizar el nivel de control deseado (ASD, 2020, 12).

Para la Asociación de Tecnologías Electrónicas y de la Información de Alemania (VDE, 2021), la ST "*es la capacidad de un Estado o una sociedad para aplicar las prioridades políticas y sociales, sin que se lo impida un control inadecuado o nulo de la tecnología*". Comprende la seguridad, el acceso a la tecnología, a los componentes tecnológicos o a la capacidad de fabricar los componentes de una infraestructura. Asimismo, incluye los aspectos más generales del contexto regulatorio como la propiedad de las empresas y los límites de adquisición de estas por parte de inversores extranjeros. En definitiva, implica una discusión que abarca a cuestiones de política económica e industrial. La VDE sostiene que la ST no debería limitarse a las TIC e incluso que la soberanía digital puede ser tratada como un caso especial de gestión, procesamiento y comunicación de datos. Sin embargo, se alude a que hay una diversidad de campos tecnológicos relevantes '*o incluso existenciales'* para la futura viabilidad y la capacidad de actuación futuras de un Estado o empresa.

El Foro de Empresas Innovadoras de España (2021) discute algunos criterios básicos para construir una posición alrededor de la ST en un país como España. El documento asocia la elección de tecnologías críticas no únicamente al impacto en el corto, medio y largo plazo sobre la competitividad del territorio y bienestar de su población, sino además a la estructura económica y social y de su proyección de desarrollo futuro de cada territorio. Concluye que España debe contribuir activamente al fortalecimiento de la ST europea a la vez que se propone la incorporación del tema en la agenda diplomática del Estado, así como la creación de un Instituto Nacional de Soberanía Tecnológica y Resiliencia Industrial (INSTRI) integrado por expertos que elaboren informes para al Congreso como contribución para el debate político y que se constituya en un ámbito institucional que permita visualizar problemáticas en los diferentes sectores industriales.

El Centro de Economía Digital (CED, 2021) plantea la ST como un factor decisivo tanto para la mejora de la competitividad de los productos europeos en los mercados extracomunitarios, como para fortalecer el posicionamiento del bloque en el comercio internacional y a lo largo de las CMV. Alcanzar el nivel óptimo requiere un análisis coste-beneficio que permita evaluar/cuantificar cuánto se pierde en términos de eficacia y cuánto se gana en términos de soberanía. A nivel europeo supone la interdependencia cada vez mayor entre los distintos países, y, en algunos campos, un desplazamiento del control (sobre decisiones, inversiones,

propiedad, relaciones, etc.) del nivel nacional al supranacional. El documento esboza algunas directrices políticas para orientar las actuaciones a nivel nacional y comunitario tales como el reforzamiento del sistema de investigación e innovación, el desarrollo de un espacio digital tecnológicamente avanzado, seguro y competitivo, la revitalización del sistema de producción y el fomento de la cooperación tecnológica internacional robusteciendo el papel de organismos multilaterales.

*3.2.2 Soberanía tecnológica como marco académico*

La segunda lógica se encuentra aún en una fase incipiente. Los investigadores académicos están introduciendo este tema en la agenda de investigación desde varios ángulos, tratando de definir su justificación y su alcance, así como de derivar implicaciones políticas -un resumen de las contribuciones más notables puede encontrarse en la Tabla 3.1-.

Edler *et al*. (2020) desarrolla la primera aproximación al tema en el cual se define a la ST "*como la capacidad de un Estado o de una federación de Estados de proporcionar las tecnologías que considere críticas para su bienestar, competitividad y capacidad de actuación, y de poder desarrollarlas o abastecerse de ellas en otras áreas económicas sin una dependencia estructural unilatera*l" (p. 8). La ST remite a la capacidad de generar conocimientos científico-tecnológicos de forma autónoma o de acceder a ellos a través de asociaciones estables y sin restricciones.

Para lograrlo, las claves son la preservación de diversas opciones mediante el desarrollo y mantenimiento de capacidades propias y la prevención de dependencias unilaterales. Entre los fundamentos, objetivos y racionalidad del concepto para justificar las condiciones de actuación política se destacan las dimensiones: funcional, política-espacial y temporal. De ello se deriva la importancia de establecer con claridad el objeto de la innovación y de la cadena de valor en el que se requiere una mayor soberanía, en qué contexto es crítica la tecnología respectiva y al cumplimiento de qué funciones asiste. Estas definiciones permiten delimitar por qué, cómo, en qué plazo, y con qué grado de urgencia habrá que abordar las acciones que contribuyan a ese objetivo.

La **dimensión funcional** propone clasificar hasta qué punto son críticas las tecnologías para un país en un determinado momento en virtud de aquellas vinculadas a: 1) tareas soberanas clásicas (Seguridad, Defensa, Administración Pública); 2) preferencias sociales en el contexto de una transformación sociotécnica selectiva; y 3) la competitividad económica (a medio y largo plazo). La **dimensión político-espacial** se refiere a la unidad política en la cual la ST es considerada: región, país, o grupo de países. Por último, la **dimensión temporal** es necesaria para distinguir los cuellos de botella de suministro y entrega a corto plazo de lo que significa una dependencia de carácter estructural. El documento ofrece una serie de criterios para determinar el grado de soberanía tecnológica sugiriéndose que se trata de un concepto relativo y dinámico que puede evolucionar hacia mayores o menores niveles en el tiempo (Edler *et al*., 2020, 2023).

March y Schieferdecker (2021) apuntan a cubrir la brecha entre soberanía tecnológica, económica y política[93]. Ese vacío es el punto de partida para la discusión sobre el papel del Estado en el fortalecimiento de la soberanía tecnológica. En este sentido sostienen que la ST "*es la capacidad de un sistema político para determinar por sí mismo el desarrollo y el uso de tecnologías e innovaciones basadas en la tecnología que afectan a su soberanía política y económica*" (p. 9).

Al considerar a la soberanía como una cuestión fundamentalmente empírica determinada por las capacidades efectivas de un Estado, es posible distinguir distintos grados de soberanía. Sin embargo, no se circunscribe a la esfera estatal o gubernamental en sentido estricto, sino que involucra las competencias de los miembros de la entidad política o sociedad a la que representa (March y Schieferdecker, 2023). Mas concretamente, esta capacidad se basa en las **competencias** necesarias para **identificar, comprender, evaluar, desarrollar, avanzar, producir, utilizar e incorporar** aquellas **tecnologías clave** con mayor impacto en su **soberanía política y económica**, así como la aspiración a adquirir dichas competencias.

Los impactos en la soberanía política (capacidad de un sistema político para resolver por sí mismo problemas de acción colectiva) y económica (capacidad del Estado para fomentar los

[93] Las definiciones de Edler *et al*. (2020) y de la VDE (2021) que adopta como referencias, no abordan la relación entre las "concepciones predominantes" de la soberanía, en particular la política, dejando abierta la cuestión de quién desarrolla y aplica las tecnologías.

intereses económicos de su comunidad política) se producen a través de los cambios y desafíos recurrentes que la tecnología ejerce. Ese impacto reviste importancia respecto a aquellas tecnologías habilitadoras clave o de propósito general, caracterizadas por una amplia aplicabilidad en toda la economía, una elevada intensidad de I+D y cualificación, mejoras rápidas y continuas, y complementariedad innovadora[94]. Por lo tanto, la soberanía es, en gran medida, una cuestión empírica determinada por las capacidades fácticas de un Estado, lo cual admite la existencia de distintos grados de soberanía que puede aplicarse en principio a cualquier colectivo, independientemente de su ámbito territorial.

El apoyo público a la I+D no debe limitarse a la investigación básica sino que hay cuatro áreas que requieren un rol activo del Estado: a) problemas de coordinación derivados de los efectos de red y las economías de escala, por ejemplo, mediante el apoyo a la I+D sobre variantes tecnológicas propias o incluso a través de la creación de mercados; b) en el lado de la demanda de innovación en función de los requisitos adicionales que las nuevas tecnologías imponen a las infraestructuras públicas; c) en la estandarización y normalización; y d) en el apoyo a la formación de ecosistemas de innovación adecuados.

En cuanto a la dimensión internacional, March y Schieferdecker (2023) cuestionan los modelos ricardianos y de Heckscher-Ohlin del comercio internacional (Mansouri, 2022) para apoyarse en enfoques más avanzados que observan los términos de intercambio y sus determinantes, los orígenes y la dinámica de la ventaja comparativa y la información incompleta o asimétrica en las relaciones comerciales. La cooperación y el comercio permiten y derivan de la soberanía tecnológica, entre otras razones porque puede reducir las fricciones basadas en la información (por ejemplo, problemas de selección adversa y riesgo

[94] El concepto de tecnologías de uso general (GPT) hace hincapié en la naturaleza interna de una tecnología, su interacción con otras tecnologías y su eficacia a la hora de cumplir su propósito en relación con los sustitutos, lo que ayuda a evaluar si la tecnología será ampliamente adoptada o no. El trabajo seminal donde ha sido definido el concepto es el de Bresnahan y Trajtenberg (1995). Las GPT se caracterizan por su omnipresencia y por las "complementariedades innovadoras" que magnifican los efectos de la innovación, lo que puede rejuvenecer un proceso de crecimiento que no es estático, sino que evoluciona continuamente con el tiempo (Bekar *et al*. 2018). Las siguientes características distinguen a las GPT: complementariedad con un conjunto de tecnologías que las define, posibilita y apoya; suelen incluir aquellas que se consideran transformadoras desde el punto de vista social, político y económico; no tienen sustitutos cercanos; están abiertas a una amplia gama de aplicaciones; y son inicialmente rudimentarias, pero evolucionan en complejidad (Bekar et al. 2018). Entre los ejemplos clásicos de TPG están la máquina de vapor, la electricidad, el ferrocarril. Mas cercanas en el tiempo, la electrónica (semiconductores), las Tecnología de la información (TI), la Informática. Se discute si la Inteligencia Artificial también entra en esa categoría.

moral)[95]. Más allá de su importancia en general, este punto es particularmente relevante para las economías emergentes.

Edler *et al*. (2023) profundizan y complementan el enfoque del documento del mismo grupo de 2020, agregando que la soberanía tecnológica debe concebirse como la agencia estatal (capacidad de un Estado o federación de Estados) dentro del sistema internacional, por lo tanto, las acciones deliberadas están limitadas e influidas por las estructuras institucionales en las cuales los gobiernos están inmersos (agencia embebida, cfr. Giddens, 1984; Thornton y Ocasio, 2008). Evidentemente, este enfoque no contempla el rol de las EMN que condicionan a muchos gobiernos.

Asimismo, el papel de agencia de los Estados debe considerarse en un análisis sistémico de las capacidades nacionales de innovación, así como de las interdependencias internacionales actuales y futuras como base del diseño de las políticas. Para los autores, la soberanía tecnológica y la innovación están justificadas a través de la competitividad y la lógica de la transformación de sistemas[96].

La intervención del Estado para apoyar la competitividad y la capacidad de innovación de sus sistemas es esencial en el contexto de los fallos del mercado y del sistema. En particular, la capacidad de competir depende de una serie de factores centrales que justifican la mediación del Estado para garantizar la competitividad internacional. Por eso, de ambas justificaciones, la primera será retenida por su vinculación con la **especialización y las capacidades nacionales**, **aspectos centrales** de la **definición** que propone **esta investigación** y que será recuperada en apartados posteriores de este capítulo.

En lo que a la delimitación conceptual del término soberanía tecnológica se refiere, existe convergencia entre las definiciones de March y Schieferdecker (2023 y 2021) y la de Edler *et al*. (2023 y 2020). Los primeros aluden al conjunto de capacidades necesarias para

[95] Dado que las asimetrías de información provocan un cambio en las condiciones comerciales a favor de la parte informada, el riesgo moral se refiere al incentivo que tiene esa parte para comportarse de forma oportunista. Asimismo, las competencias disponibles permiten mejores condiciones para, por ejemplo, certificar la calidad de los componentes importados, reduciendo los problemas de selección adversa, relacionados con la tendencia a intercambiar productos de baja calidad en el comercio internacional.

[96] La justificación de la Soberanía tecnológica en lo concerniente a la transformación de sistemas se relaciona con que la consecución de objetivos políticos dependa de la disponibilidad y el despliegue de tecnologías muy específicas por lo cual no desarrollarlas a nivel nacional (o de la UE) o no garantizar el acceso a ellas o proporcionar tecnologías sustitutivas afecte directamente la legitimidad del Estado.

apropiarse de tecnologías que repercuten en la soberanía política y económica de un país, mientras que los segundos subrayan las competencias tecnológicas básicas que permiten acceder al conocimiento y a los componentes pertinentes. La proactividad y la planificación estratégica necesarias para adquirir y desarrollar dichas capacidades (una base de apoyo para hacer frente a los entornos geopolíticos) en contraposición a esquemas defensivos y reactivos son cruciales, y las políticas de investigación, educación e innovación se consideran aspectos esenciales. El enfoque de los autores es consistente con las cadenas de valor mundiales y las redes globales de innovación (Rikap, 2019).

El trabajo de Crespi *et al*. (2021) inscribe el tema de la ST en el renovado interés por la política industrial europea, pero su argumento puede considerarse desde un punto de vista más general. A este respecto, para los autores la ST sería un marco emergente que puede incorporarse a la elección de objetivos (misiones), estrategias e instrumentos políticos. Ahora bien, criterios muy específicos en campos seleccionados deberían ser el foco de atención de una estrategia orientada a la ST.

La definición que propone Crespi y sus colegas es la siguiente: "*la capacidad de un país (o de un grupo de países) de generar de forma autónoma conocimientos tecnológicos y científicos o de utilizar capacidades tecnológicas desarrolladas en el exterior mediante la activación de asociaciones fiables*" (p. 7). La importancia de delimitar claramente el tratamiento de los temas de interés que recaen dentro de esta esfera demanda, por ejemplo, que "lo digital" sea analizado de forma particular en la medida que "representa la capacidad de actuar de forma independiente en el mundo digital". Lo mismo sucede en cuanto al concepto de autonomía estratégica cuya condición previa es alcanzar un nivel adecuado de ST si no se quiere depender unilateralmente de proveedores tecnológicos[97].

Cantner (2023) adopta un foco de la ST como una cuestión microeconómica en el contexto de un modelo comercial de brecha tecnológica en el cual destaca varios aspectos clave de la

[97] Desde el punto de vista empírico, los autores sugieren aplicar un análisis basado en una combinación de indicadores cuantitativos e indicadores cualitativos de inteligencia tecnológica (por ejemplo, uso de indicadores de patentes y derivados para el análisis del posicionamiento tecnológico en campos estratégicos) para identificar fortalezas y debilidades. Los resultados servirán para diseñar políticas industriales focalizadas, incluyendo eventualmente "cláusulas de soberanía" en la contratación pública innovadora.

generación de conocimientos y la innovación en las empresas. El enfoque propone dos niveles (microempresarial y macroeconómico) en el cual se subraya la importancia de las decisiones empresariales y la gestión de tecnologías a nivel microeconómico y sus implicaciones a nivel macroeconómico. La clave es contrarrestar las restricciones de forma preventiva y anticiparse a los problemas asociados en una fase temprana, elementos que dependen de la calidad de la gestión. De ahí que el dominio y habilidades tecnológicas sean fundamentales en una lógica micro de costes y oportunidades asociadas a las decisiones de las empresas como usuarias y operadoras de tecnologías.

Ahora bien, el impacto agregado de la restricción tecnológica sobre empresas, sectores o economías enteras requiere una evaluación diferente. Entran en consideración situaciones de dependencia colectiva cuando un conjunto significativo de empresas depende de tecnologías clave y/o habilitadoras de fuentes externas lo cual expone al país a vulnerabilidades y riesgos, incluso afectando su capacidad de innovación a gran escala.

Complementariamente, la clasificación en campos de tecnología empleada por la VDE (2021) responde a un esquema basado en los siguientes criterios: a) no comprende un número inabarcable sino fundamentado de alternativas que revelen una constancia temporal a largo plazo; b) se centra en las funciones técnicas esenciales y las tecnologías necesarias para conseguirlas; y c) pueden utilizarse en muchas aplicaciones y sectores también muy diversos. El campo de la tecnología se refiere a sistemas técnicos que realizan determinadas funciones básicas, entendiendo que un sistema técnico resulta de ensamblar ciertas funcionalidades en sistemas cada vez más complejos para cumplir determinadas tareas. Las tecnologías clave para implementar estas funcionalidades son varias y van cambiando con el tiempo. Por lo tanto, es fundamental la posibilidad de utilizar esas tecnologías clave ya que ello permite nuevas funcionalidades económicamente relevantes o funciones técnicas existentes de forma particularmente económica[98].

[98] La interrelación y las diferencias entre campo, sector y aplicación son importantes porque sus implicaciones para la ST son distintas. Los ámbitos de aplicación pueden utilizar muchos campos tecnológicos diferentes. Los factores que elevan el grado de soberanía tecnológica son el alcance de los conocimientos, las competencias, los componentes y la capacidad de operar/mantener los sistemas existentes en el actor que busca la soberanía.

**Tabla 3.1** Principales contribuciones académicas al concepto de soberanía tecnológica

| Unidad de análisis | Objetivo | Cómo/características | Aspecto clave | Autor |
|---|---|---|---|---|
| Estado o una federación de Estados | Proporcionar las tecnologías que considere críticas para su bienestar, competitividad y capacidad de actuación | Desarrollo propio o abastecimiento en otras áreas económicas sin una dependencia estructural unilateral | Cadenas globales de valor y tecnologías clave | Edler *et al.* (2020, 2023) |
| Sistema político | Tomar decisiones autónomas respecto al desarrollo y el uso de tecnologías e innovaciones basadas en la tecnología que afectan a su soberanía política y económica | capacidad para identificar, comprender, evaluar, desarrollar, producir, utilizar e incorporar respecto al desarrollo y el uso de tecnologías e innovaciones basadas en la tecnología | Cadenas globales de valor y tecnologías clave | March and Schieferdecker, (2021, 2023) |
| País (o un grupo de países) | Generar de forma autónoma conocimientos tecnológicos y científicos, utilizar capacidades tecnológicas desarrolladas en el exterior mediante la activación de asociaciones fiables | Aplicar un análisis basado en una combinación de indicadores cuantitativos e indicadores cualitativos de inteligencia tecnológica | Cadenas globales de valor y tecnologías clave | Crespi *et al.* (2021) |
| Empresa | Dominio y habilidad de los actores microeconómicos en una lógica micro de los costos y oportunidades asociados a las decisiones de las empresas como usuarias y operadoras de tecnologías | Empresas soberanas en una tecnología (i) cuando la dominan (conocimiento de operadores y usuarios), y (ii) cuando está disponible. Restricciones a la soberanía tecnológica individual por falta de disponibilidad y/o falta de dominio. | Cadenas internacionales de valor y tecnologías clave. | Cantwer 2023 |

## 3.3 Fundamentos de la soberanía tecnológica

### *3.3.1 Definición y dimensiones constitutivas*

En base a la discusión de la sección anterior, esta tesis adopta la siguiente la definición de soberanía tecnológica: *es la capacidad relativa de un país o grupo de países para tomar y aplicar decisiones respecto a la generación, absorción y explotación de una tecnología, de acuerdo con los objetivos del actor en condiciones favorables u hostiles* (da Ponte *et al.*, 2022).

La capacidad relativa se refiere al poder de agencia de un actor. La soberanía implica decidir sobre un curso de acción, pero también disponer de los medios y recursos para ejecutar las actividades que hagan posible el propósito previsto. El poder de agencia es el eje en torno al cual se construye la ST, y la capacidad de influir en el posicionamiento de un actor en la economía mundial refleja una serie de activos productivos e innovadores nacionales, así

como factores de resiliencia. El impacto sobre el desarrollo de una industria o sobre las prácticas comerciales aceptables en determinadas tecnologías o sobre las normas técnicas relacionadas, dependerá de las capacidades de un actor determinado y de las posibles asociaciones estratégicas con otros actores[99].

Desde una perspectiva analítica, puede diferenciarse una dimensión interna sustentada por la dinámica de los procesos de desarrollo tecnológico e innovación que implican a empresas, universidades, organizaciones de investigación tecnológica y gobiernos. Andreoni *et al.* (2021) enfatizan que el desarrollo de capacidades de producción, tecnológicas y organizativas, tanto generales como sectoriales a las que categorizan como "capacidades fundacionales", favorece la absorción incremental, la readaptación y el aprovechamiento de oportunidades relacionadas a nuevas tecnologías (por ejemplo, digitales)[100]. Esta dimensión comprende los recursos inherentes y las competencias necesarias para identificar, evaluar, desarrollar, acceder, producir, utilizar e incorporar recursos físicos e intangibles relacionados con un campo tecnológico y/o un sistema complejo[101].

En este marco, no alcanza con disponer de Capital Humano en el sector privado y la academia, sino también que es necesario en el sector público, ya que un déficit de competencias en este último puede limitar su capacidad para actuar con eficacia afectando a los otros dos (EC, 2023). Por eso los científicos, tecnólogos y mano de obra calificada tanto en calidad como en cantidad es un factor crítico para el nivel de la ST[102] y vincula al asunto con otras políticas públicas tales como la educativa y la de migraciones de personal especializado (OECD Skills Outlook, 2023)[103].

[99] Partimos de la base de que las capacidades necesarias para generar, absorber y explotar/operar una tecnología pueden ser complementarias, pero sin duda son diferentes en términos de requisitos, impactos y contextos (Capozza y Divella, 2018), sobre todo al vincular la ST con la Autonomía Estratégica.

[100] La construcción de capacidades fundacionales ha sido, en alguna medida abordada por la literatura sobre "capacidades tecnológicas" en la década de 1990 (Lall 1992; Bell y Pavitt 1992) donde el "aprendizaje en la producción" y los cambios en las capacidades individuales, las estructuras organizativas y las instituciones eran significativas. En la actualidad la diferencia se referiría a las complejidades inherentes de los procesos de fusión tecnológica que requieren un mayor nivel de inversión y de formación de capital humano, por caso, pero no a discrepancias de fondo (Andreoni *et al*., 2021).

[101] Las capacidades para llevar a cabo funciones tan diversas de la cadena de valor como las actividades de I+D, las de diseño, las operaciones de fabricación y montaje, la logística y los servicios de apoyo son muy diferentes y no conllevan las mismas oportunidades en términos de efectos de aprendizaje, rendimientos a escala y competencias (Gereffi, 2014; Stöllinger, 2021; Coveri *et al*., 2022).

[102] Los logros educativos han sido un mecanismo para mejorar los conocimientos, las destrezas y las habilidades (KSA, por sus siglas en inglés) y, por tanto, el capital humano de un país en todos sus niveles. Debido a la importancia percibida de los conocimientos técnicos, los logros educativos en áreas relacionadas con STEM se han valorado cada vez más para el desarrollo económico (Stewart *et al.,* 2020).

[103] Respecto de las tecnologías verdes y digitales, la falta de personal disponible con las cualificaciones adecuadas es un factor adicional que obstaculiza las inversiones para el 85% de las empresas de la UE. La Comisión expone dos razones de

Cuando se plantea el caso particular de la UE y su estrategia de la doble transición verde y digital desde la perspectiva del Capital Humano, la Comisión insiste en que "*las transiciones requerirán unos sistemas europeos de educación y formación sólidos, que darán prioridad a la adaptabilidad. La disponibilidad de trabajadores con las competencias técnicas y sociales adecuadas será crucial para la viabilidad de las transiciones y la competitividad de la UE* (EC, 2023). En definitiva, la formación y especialización tecnológica de las personas son factores que hacen a la condición de posibilidad para alcanzar los objetivos propuestos.

Por otro lado, la dimensión externa de la ST se refiere a las capacidades para elaborar y ejecutar una estrategia geo-tecnológica mediante una cooperación mutuamente beneficiosa con socios seleccionados de todo el mundo y unas relaciones económicas justas[104]. Concretamente esto significa una perspectiva consistente entre el objetivo de acceso a la tecnología y los factores geopolíticos[105].

### *3.3.2 Política de Innovación orientada a la Soberanía Tecnológica (PIST)*

La Política de Innovación orientada a la Soberanía Tecnológica (PIST) es una noción alineada con la literatura sobre sistemas de innovación tecnológica (Ayrapetyan *et al.*, 2025; Markard *et al*., 2015; Hekkert et al. 2007; Bergek et al. 2008). El enfoque de los sistemas de innovación tecnológica se inspira en la teoría de la economía evolutiva (Winter y Nelson, 1982). Esta perspectiva, junto con las aproximaciones nacionales (Lundvall, 1988), regionales (Cooke et al., 1997) y sectoriales (Malerba, 2002) de los sistemas de innovación, está diseñada para estudiar la dinámica de la innovación dentro de los límites de una tecnología concreta (Markard et al., 2015). Los actores son principalmente las empresas de toda la cadena de valor de la tecnología, pero además otras organizaciones, institutos de investigación y organismos gubernamentales. Para esta investigación, el Estado, ocupa

peso que explican esta situación que podrían considerarse en una lógica que se retroalimenta. Por un lado, en el mercado laboral se advierte la poca disponibilidad de empleos de calidad, caracterizados por malas condiciones laborales, salarios y contratos precarios y la falta de oportunidades de desarrollo o de carrera profesional. Por el otro, la inadecuación de las cualificaciones en una serie de estratos sociales, lo cual deriva en escasez de mano de obra. (EC, 2023).

[104] Estrategia geo-tecnológica se refiere a la articulación entre las dimensiones geopolítica y la tecnológica donde la lógica e intereses geopolíticos constituyen el como criterio rector en las estrategias de acceso a la tecnología. Es decir, las asociaciones, alianzas e impulso de procesos de colaboración con terceros no se construyen exclusiva ni principalmente por lógicas de mercado.

[105] Los retos sin precedentes que se plantean actualmente en los ámbitos de la salud, la seguridad alimentaria, la energía, la conservación de la biodiversidad y el cambio climático no tienden a manifestarse de manera agresivamente perturbadora y globalmente abarcadora por ahora, pero en un futuro ello puede cambiar. De ahí la necesidad de una colaboración internacional abierta asentada en nuevas bases donde se establezcan un conjunto más sólido de normas para el compromiso mundial debido a las crecientes tensiones geopolíticas (Shih, 2024).

desempeña un rol decisivo en establecimiento de la ST como uno impulsores crítico en la consecución de objetivos geoeconómicos.

El desarrollo de competencias tecnológicas básicas es lo que permite construir los cimientos sobre los cuales se asienta la cooperación, las asociaciones, la competencia e incluso el empoderamiento para posicionarse influyendo en las reglas del juego. Por eso requiere una proactividad reforzada de los gobiernos en la orientación de la investigación, el desarrollo del conocimiento (I+D), la difusión del conocimiento (asociación público-privada), las actividades empresariales (creación de incubadoras de empresas y "*sandboxes*" normativos), la formación de los mercados (para abordar problemas de coordinación, contratación pública y normalización activa) y la movilización de recursos (financieros, pero también de capital humano). Asimismo, la formulación de una política industrial en sectores estratégicos que cree sinergias con otras políticas públicas en los ámbitos de la educación, la ciencia y la tecnología, y la innovación siguiendo un enfoque holístico y no compartimentado.

Mientras que el objetivo central de la PIST es reducir las principales huellas que provocan vulnerabilidad porque constituyen parte de las interdependencias susceptibles de ser *weaponizadas* o utilizadas para servir a los objetivos políticos de terceros actores, su racionalidad no es apenas defensiva.

Para ello, la inteligencia estratégica (Robinson *et al.*, 2021; Rotolo *et al.*, 2017) sirve como herramienta de análisis que contribuye a mejorar la toma de decisiones de un país o de un espacio económico multinacional proporcionando una evaluación exhaustiva de los aspectos clave de una tecnología concreta y de las tecnologías habilitadoras relacionadas, así como de las mejores opciones para mejorar su posición internacional. No solo es adecuada para evaluar el funcionamiento de un sistema de innovación, sino que también constituyen la base para decidir qué tecnologías son críticas y cómo garantizar el acceso a ellas. Esta aproximación requiere un estudio en profundidad de una tecnología o sistema tecnológico.

Su importancia puede sintetizarse en las siguientes cuestiones encadenadas. Primero, asiste en la búsqueda de oportunidades tecnológicas y áreas de aplicación nuevas y prometedoras, lo que ayuda tanto a la industria como a la política a tomar decisiones más convenientes y

oportunas y, en última instancia, a asignar recursos. Segundo, identificar las opciones tecnológicas potenciales genera información que favorece su explotación mediante nuevas oportunidades tecnológicas y empresariales. Tercero, una vigilancia permanente también ofrece la posibilidad de determinar ámbitos de actuación para los responsables políticos y la oportunidad de revisar las medidas existentes (Blind *et al*., 2021).

Por eso demanda inversiones en la capacidad del sistema para comprender las necesidades y tecnologías futuras, y sus propios conocimientos tecnológicos, así como especialistas que puedan conducir procesos de prospectiva en función de criterios prestablecidos (Edler *et al.*, 2023).

La tabla 3.2 presenta las principales características a ser consideradas. Sin embargo, es pertinente subrayar que lejos de agotar el tema, apunta a realizar una aportación matizada pero complementaria a la propuesta introducida por March y Schieferdecker (2023).

**Tabla 3.2** Política de Innovación orientada por la Soberanía Tecnológica (PIST)

| Característica | Descripción |
|---|---|
| Orientada al futuro (proactiva y anticipatoria) | Reducción y/o Gestión de las dependencias críticas de los socios comerciales extranjeros y generación de capacidades tecnológicas y productivas propias. Política educativa como prioridad de la estrategia para formación del Capital Humano |
| Orientada a sectores | Desarrollo de sectores de alta tecnología como objetivo no de empresas individuales. Permite la promoción de sinergias intersectoriales cuando sea posible |
| Orientada a tecnologías | Prioridad de la inversión y los esfuerzos en I+D en las tecnologías habilitadoras clave y de Propósito General, en especial las de doble uso. Estrategias de *Learning by doing* y *Learning by searching* |
| *Top-Down + Bottom-Up* | Difusión del conocimiento, especialmente mediante la creación de asociaciones público-privadas y redes de innovación. Intereses gubernamentales y empresariales articulados. Formación de mercados, contratación pública y la normalización activa |
| Iniciativas medibles, evaluables y adaptables | Políticas, resultados y supuestos deben ser supervisados constantemente, cuestionados y adaptados rápidamente si es necesario. El Índice de Soberanía Tecnológica que se presenta en el capítulo IV es un ejemplo de medida de impacto global |
| Enfoque holístico | Consideraciones sobre la oferta y la demanda, junto con las herramientas ofensivas y defensivas, deben diseñarse de forma coherente, configuradas en tándem con un entorno normativo de apoyo. Creación de incubadoras de empresas y *sandboxes* reguladoras. |

Fuente: Elaboración propia

Un ejemplo que indica que estas cuestiones comienzan a aterrizar a través del impulso de reformas legislativas puede identificarse en el *"Anteproyecto de Ley de Industria y*

*Autonomía Estratégica"* elaborado por el Ministerio de Industria y Turismo de España[106]. Es la primera vez que el tema de "autonomía estratégica" aparece expresamente en la ley de industria con medidas concretas como la Reserva Estratégica basada en las Capacidades Nacionales de Producción Industrial (RECAPI). Entre varios puntos que se destacan se encuentra el énfasis que coloca al fomento del talento, especialmente en áreas de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas y la definición de los Proyectos Industriales Estratégicos y un conjunto de incentivos relacionados. Aunque todavía es prematuro para evaluar como impactará efectivamente en la autonomía estratégica española, hay dos aspectos que deben advertirse. Por un lado, es una iniciativa que tiene una impronta sectorial (Ministerio de Industria y Turismo), por lo que su abordaje del asunto pareciera parcial. Por otro lado, la problemática de la soberanía tecnológica parece diluirse en la noción de autonomía estratégica, tal como sucede a nivel europeo (ver sección 3.4).

*3.3.3 Revisitando la dimensión externa y las redes de cooperación internacional*

La tendencia a una mayor fractura de las redes de investigación en determinados ámbitos o países corre el riesgo de extenderse, obstaculizando la colaboración internacional inclusiva (Shih, 2024). Algunos estudios han detectado que la securitización de las estrategias tiende a sobre extenderse generando como resultado lo que denominan "efectos de enfriamiento". Dicho de otra manera, en lugar de actuar con precisión quirúrgica y circunscribirse en sus alcances, terminan debilitando el funcionamiento de las redes y los procesos de colaboración (Nature, 2021; Wagner y Cai, 2022). Esto es un problema considerando que la cooperación científica y tecnológica es esencial para crear interdependencias estructurales y confianza mutua, reduciendo así el riesgo de dependencias unilaterales a largo plazo (Edler *et al*., 2023). La actuación de un país se apoya en su capacidad nacional y, complementariamente, en una red sólida y fiable de relaciones internacionales mediante una política adecuada de interdependencias.

En las condiciones actuales, un enfoque estratégico de la Soberanía tecnológica multilateral debería ponderar aspectos novedosos. El diseño de una estrategia proclive a generar interdependencias favorables debería apoyarse en tres componentes: tecnológico,

[106] Al momento de redactarse esta memoria se encuentra en marcha el proceso de Audiencia e información pública. El anteproyecto y documentos relacionados pueden consultarse en línea: https://industria.gob.es/es-es/participacion_publica/Paginas/DetalleParticipacionPublica.aspx?k=680

organizacional y geopolítico (Ver Figura 3.2). Esto agrega una dimensión no convencional a las decisiones en materia de cooperación internacional para la innovación. Cada una de estas dimensiones puede actuar como catalizador o barrera potencial. La elección de los socios puede basarse en razones de mercado, pero también en variables geopolíticas, culturales o geográficas. Sin embargo, la naturaleza de la asociación (simétrica o asimétrica) y su evolución en el tiempo serán el resultado de las aportaciones de cada uno de los actores implicados.

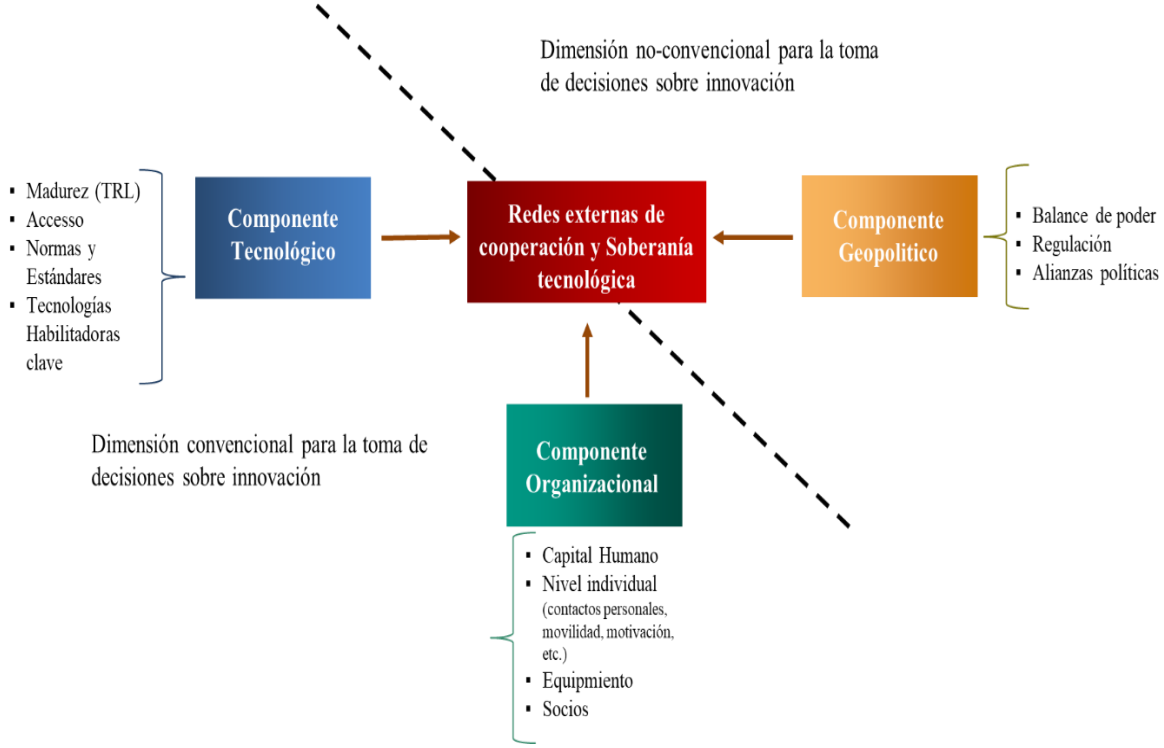
En relación al componente tecnológico, el nivel de madurez se refiere al nivel de disponibilidad y su relevancia para la competitividad global, el acceso a la tecnología en los mercados internacionales remite a la posibilidad de obtener licencias y conocimientos técnicos en el extranjero, y la penetración de tecnologías habilitadoras clave en sectores o comunidades nacionales se vincula al uso de una tecnología extranjera que puede estar de facto bajo estructuras de poder de mercado (provista en régimen de monopolio u oligopolio) y dominada por proveedores no nacionales que imponen reglas de mercado.

Aunque en muchos procesos de innovación abierta las empresas dan acceso a sus tecnologías protegidas a los socios, ello no ocurre siempre ni necesariamente de forma libre, sino con licencias detalladas, ni respecto a todas las tecnologías (Chesbrough *et al*, 2024; Bigliardi *et al*., 2021; Chesbrough, 2003; Chesbrough y Vanhaverbeke 2011). Por esta razón, las decisiones políticas pueden influir en la elección de los socios y en la transferencia de tecnologías.

El componente organizativo ayuda a identificar algunos aspectos clave como los recursos humanos, especialmente los equipos altamente cualificados de distintas organizaciones en diferentes países que puedan trabajar juntos. El nivel individual adquiere relevancia debido a las dificultades para atraer y retener talento en determinados campos específicos y áreas técnicas, mientras que los contactos personales y la motivación individual favorecen la movilidad de trabajadores especializados, científicos e ingenieros. La confianza en los socios adquiere una relevancia adicional en condiciones de distancia cultural (Blomqvist *et al.*,

2024; Ho *et al.*, 2019)[107]. La cooperación es, en este sentido, un buen vehículo para fomentar el uso compartido de equipos avanzados.

**Figura 3.2** Soberanía Tecnológica y redes externas de cooperación




Fuente: elaboración propia

El componente geopolítico comprende tres condicionantes claves. El equilibrio de poder es un concepto dinámico en el que el poder relativo de los socios evoluciona con el tiempo debido a sus capacidades internas y su desempeño (Johnsen y Lacoste, 2016; Ruitenburg *et al.*, 2014). La regulación tecnológica por parte de los gobiernos mediante el control de las tecnologías aplicando el "principio de precaución" y/o para proteger el mercado interior. Las alianzas políticas entre países basadas en la tecnología son cada vez más importantes para acelerar el desarrollo tecnológico compartiendo inversiones y capacidades; también se definen asociaciones público-privadas para permitir el desarrollo de tecnologías emergentes y su aplicación generalizada o la creación de empresas públicas para el desarrollo de sistemas

[107] Nonaka y Takeuchi (1995) destacan la importancia de los valores comunes, los objetivos y las relaciones sólidas en la creación de conocimiento. León *et al*. (2019) aplican este marco a un contexto micro.

de gran complejidad por empresas líderes de los países participantes con ayuda explícita de los gobiernos[108].

El nivel de soberanía tecnológica de un país o grupo de países es en sí mismo una piedra angular para lograr objetivos económicos y geopolíticos, incluido el poder de influir en la economía y el comercio internacionales (por ejemplo, comportamientos aceptables reflejados en prácticas comerciales justas y derechos de propiedad intelectual o mediante la imposición de restricciones a la importación y exportación de productos y servicios tecnológicos) (Cartwright, 2020).

En las últimas décadas, el poder de influencia se ha canalizado a través de una serie de mecanismos que incluyen el establecimiento de normas y estándares técnicos. En la medida en que las normas son una especie de "receta" que define las características básicas de una tecnología para garantizar la interoperabilidad, también son importantes por razones comerciales, ya que influyen en las condiciones de la competencia, los agentes de la industria y los gobiernos que las apoyan tendrán fuertes intereses comerciales en el diseño de las normas (Teubner *et al*., 2021).

La participación en el establecimiento de normas no sólo proporciona a las empresas una ventaja, una cuota de mercado futuro o incluso el dominio del mercado, sino que también abre la oportunidad de influir en las futuras trayectorias tecnológicas. Mientras que la tensión entre los sistemas de estandarización y de propiedad intelectual (el primero basado en la inclusividad, el segundo en el derecho a excluir) conduce a la rivalidad entre empresas incluso en circunstancias "normales", el empeoramiento de los asuntos mundiales ha transformado las organizaciones formales y cuasi-formales en foros donde se refleja la rivalidad entre las potencias (Björk y Rühlig, 2022; Fägersten y Rühlig, 2019). Por consiguiente, las visiones y estrategias gubernamentales adquieren una mayor preeminencia en la medida en la que influyen en las posiciones de las empresas y expertos académicos que participan en los comités de normalización[109].

[108] Este es el caso del desarrollo de sistemas de armas avanzados, pero también de sistemas civiles de interés supranacional como el desarrollo de la energía de fusión
[109] Ver nota al pie 7.

La relación entre los actores y la dinámica resultante es un indicador de las condiciones que permiten a un actor el acceso y la disponibilidad de tecnologías habilitadoras, así como gestionar las dependencias estratégicas internacionales para preservar posiciones competitivas. En este marco, los acuerdos sobre la propiedad y explotación de los derechos de propiedad intelectual representan aspectos y componentes cruciales para el desarrollo ulterior del trabajo en red, entre otras cosas porque son esenciales para el buen funcionamiento de las relaciones entre múltiples socios mediante el establecimiento de herramientas de coordinación que definan reglas claras tanto en la fase anterior como posterior a la asociación (Laperche, 2017).

### 3.4 Soberanía Tecnológica y Autonomía estratégica: delimitaciones conceptuales

La soberanía tecnológica puede ser concebida como una de las condiciones necesarias para la autonomía estratégica. De hecho, esta lógica aparece en los objetivos de Horizonte Europa: "*promover una autonomía estratégica abierta liderando el desarrollo de tecnologías, sectores y cadenas de valor y emergentes* (...) *apoyando la soberanía tecnológica allí donde es importante y manteniendo el flujo de la innovación*" (EC, 2021, p. 7)[110]. Sin embargo, persiste la falta de una delimitación conceptual clara en el debate europeo. Esto se observa a través del uso intercambiable o como si fuesen sinónimos entre ambos conceptos en no pocas ocasiones[111]. Esta confusión configura un problema que no es apenas teórico sino práctico. La segunda noción es más amplia, y no exclusivamente tecnológica. Por eso es conveniente discernir el significado de cada uno para luego establecer la relación entre ambos.

La noción de autonomía estratégica, originalmente restringida a los asuntos de Defensa[112], fue formulada para referirse a una visión a largo plazo de las condiciones estructurales que permiten el establecimiento de una autonomía militar en relación con otros actores

[110] Las áreas de impacto de esta orientación estratégica son 1) una economía de datos competitiva y segura, 2) liderazgo industrial en tecnologías clave y tecnologías clave y emergentes que trabajan para las personas, 3) tecnología digital segura y cibersegura y 4) servicios digitales de alta calidad para todos (EC, 2021, p. 8). En el caso de la UE, la relevancia de la autonomía estratégica está vinculada al alineamiento con las prioridades políticas establecidas, en especial las dos "transiciones tecnológicas" del modelo socioeconómico de la Unión perseguido prioritariamente desde hace años: la transición verde y la transición digital (León, 2024).

[111] En el capítulo II ya se discutieron algunas de las consecuencias que conlleva la carencia de una interpretación inequívoca sobre las iniciativas y acciones.

[112] La autonomía estratégica está intrínsecamente vinculada a la política de defensa común de la UE y a la definición del pilar europeo de la OTAN. El término apareció por primera vez en 1994 y luego nuevamente en 1998. Resurgió en 2003, justo antes de la guerra en Irak, para afirmar la independencia de Europa y responder al debilitamiento del vínculo con los Estados Unidos en un contexto de tensiones internacionales con los Estados vecinos de la UE (León, 2024).

(Beaucillon, 2023). En los últimos años fue redimensionada porque la complejidad de la actualidad ha requerido ampliarla a través de la incorporación de otras variables[113].

Del argumento presentado en las secciones anteriores se concluye que la ausencia de capacidades tecnológicas bajo el control de una entidad soberana restringe su poder de agencia para promover dinámicas acordes con sus objetivos y valores, un aspecto que influirá en las opciones de que dispone, tanto a corto plazo como en las futuras dependencias tecnológicas que se derivarán de las elecciones realizadas[114].

En cuanto a la ST, dada la globalización e interdependencia, es apropiado aludir a niveles para caracterizar el posicionamiento de un actor incluso si para determinarlo se apela a la comparación de su situación con la de otros actores. En cambio, el concepto de autonomía, diferente del concepto de soberanía, se refiere a una idea de relatividad que tiene un sentido distinto, "la autonomía (...) no es absoluta" (Odermatt, 2016). Una entidad es autónoma en relación con otras entidades, aunque ambos conceptos aluden a la capacidad de "autogobierno" (Ribeiro Reis de Abreu Morais, 2021).

La Autonomía Estratégica proporcionada por el Servicio de Estudios del Parlamento Europeo se define como la "*capacidad de actuar de forma autónoma cuando y donde sea necesario y, en la medida de lo posible, con los países aliados*" (Damen, 2022)[115]. Los acuerdos efectivos dentro de la UE derivaron en la Autonomía Estratégica Abierta. Ello ha facilitado una renovación del enfoque en sus relaciones económicas internacionales, articulada sobre una suerte de reajuste de los aspectos geopolíticos y geoeconómicos de la acción exterior del bloque en los cuales apunta a permanecer "abierta" al mercado mundial, pero incorporando restricciones al esquema anterior. Por ejemplo, el Instrumento Anti-Coerción y el proyecto

[113] El Libro blanco de la defensa de Francia de 1994 establece que la autonomía estratégica sirve de cursor para encontrar el equilibrio adecuado entre una estrategia de defensa orientada hacia el interior, cuyo único objetivo es la defensa del territorio nacional, y otra orientada hacia el exterior, que centra todos los esfuerzos en la acción militar exterior en apoyo de la paz y la seguridad internacionales (Beaucillon, 2023).

[114] En ámbitos en los que la disponibilidad de tecnologías habilitadoras clave es crucial para competir con terceros países en la escena mundial los Estados miembros deben adoptar medidas relativas al desarrollo y uso de la tecnología a través de la Unión si quieren asumir un papel de liderazgo en el avance del progreso tecnológico.

[115] En el contexto de la crisis provocada por la pandemia del COVID-19, el Alto representante de la UE para la Política Exterior y vicepresidente de la Comisión Europea, Josep Borrell decía en una entrevista: "(…) imagínese lo que hubiera ocurrido si esta situación crítica se hubiera producido por algo mucho más difícil de construir o de reparar como es un sistema de comunicaciones o de seguridad de infraestructuras básicas" (Entrevista en De Miguel, 2020).

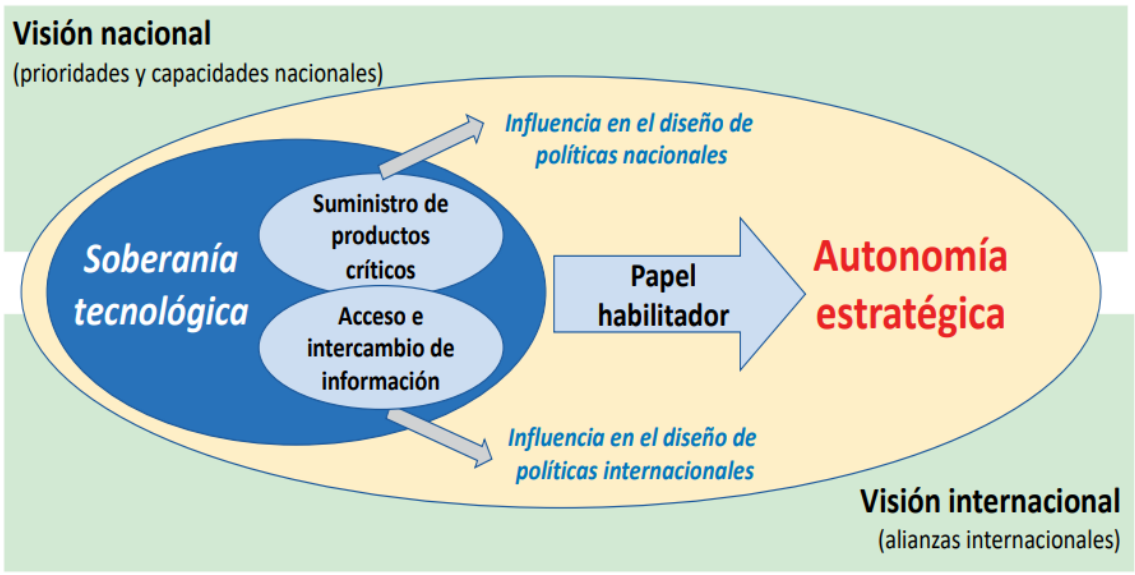
de revisión de los instrumentos de comercio e inversión de la Política Comercial Común (Beaucillon, 2023; Robert, 2023; Fahey, 2023)[116].

León (2024) sostiene que la "*clave interpretativa reside en la última parte de la definición: determinar quiénes son los "socios" y cuál es el nivel de "necesidad" que obligue a cooperar*" (p. 26), ya que los mercados globales justos y basados en reglas estables ya no están garantizados.

La figura 3.3 describe esquemáticamente esta relación. La soberanía tecnológica actúa como un "habilitador" necesario para alcanzar una autonomía estratégica efectiva influyendo tanto en la definición de las prioridades y capacidades nacionales, como en la formulación de las alianzas internacionales. Los márgenes de libertad de acción para adoptar decisiones estratégicas al tiempo que se garantizan las interdependencias de cooperación tecnológica con otros países (Crespi *et al*., 2021; Edler *et al*., 2020), depende del nivel de soberanía tecnológica. Siguiendo el razonamiento, el nivel de soberanía tecnológica incide en el nivel de autonomía estratégica constituyendo una de sus condiciones necesarias pero que igualmente no es suficiente ni exclusiva, ya que los asuntos de defensa y la seguridad de los intereses geopolíticos entran en juego junto a otros ligados a la seguridad energética, de materias primas, entre otros[117].

[116] El término abierto apunta a explicitar una predisposición a la apertura, aunque reconociendo las nuevas condiciones.
[117] También deben tenerse en cuenta otros elementos, como las capacidades militares basados en adquisiciones a terceros, las alianzas internacionales, el crecimiento económico sostenido y objetivos estratégicos bien definidos.

**Figura 3.3** Relación entre Soberanía Tecnológica y Autonomía estratégica




Fuente: León (2024)

### 3.5 Conclusiones

La relación entre los riesgos geopolíticos y la tecnología (Khan *et al*., 2022) y las repercusiones de ambos en el sistema mundial de innovación se han convertido en factores clave a la hora de enmarcar el concepto de soberanía tecnológica (ST) y el de autonomía estratégica, estableciendo las diferencias entre ambos. La Soberanía tecnológica responde a una racionalidad instrumental basada en el objetivo de mejorar la actuación de los gobiernos en nombre de los intereses de sus entidades o el posicionamiento de un agente para competir, cooperar o asociarse. Si bien el desarrollo de un modelo que abarque desde la autosuficiencia absoluta hasta la dependencia total es factible a nivel abstracto, la naturaleza compleja del fenómeno indica que es más relevante la definición de un esquema conceptual efectivamente asociado a su aplicación empírica[118].

[118] La creciente complejidad tecnológica hace excesivamente difícil (y en algunos casos inviable) concentrar todos los activos tangibles e intangibles relacionados en un solo país. Ni siquiera ese objetivo es posible ni deseable conseguirlo en ámbitos de defensa en los que los criterios de seguridad nacional tienen mayor preponderancia. Por ejemplo, la Estrategia Industrial de Defensa Nacional de Estados Unidos (NDIS, por sus siglas en inglés), publicada por el Pentágono en enero de 2024, apela a la 'diplomacia de producción' como "*una estrategia de producción que hace hincapié en el friend-shoring, el on-shoring y la colaboración con aliados y socios para minimizar la dependencia de productos procedentes de adversarios*". El término fue acuñado por el Subsecretario de Defensa estadounidense para Adquisiciones y Mantenimiento, William LaPlante, en septiembre de 2023.

La segunda aportación del capítulo que merece destacarse se refiere los fundamentos de la soberanía tecnológica que, como una nueva racionalidad se configura a partir de una convergencia transdisciplinaria, lo que hace que resulte imprescindible para el campo de la economía de la innovación y en particular para una Política de Innovación orientada a la ST. Esta formulación responde a la necesidad de colocar proactivamente en el centro de la acción de las administraciones públicas (es decir el Estado o los gobiernos) la construcción de capacidades. Para eso, la inteligencia estratégica es una herramienta válida porque aporta habilidades analíticas y discursivas para apoyar cualquier decisión sobre la criticidad de las tecnologías, y una visión a largo plazo para mantener el impulso político a lo largo del tiempo (ver el Capítulo VI como una aplicación de este punto).

Un enfoque de ST implica que la capacidad de entender, mejorar o producir nuevas tecnologías no se confunda con el intento de hacerlo realmente en todas las tecnologías habilitadoras y/o componentes clave. El poder de decisión final para actuar estratégicamente depende de la combinación entre las capacidades propias y las redes externas. También cabe añadir las capacidades analíticas que permiten identificar qué tecnologías son críticas o lo serán en el futuro y cuáles son los factores clave que inciden sobre éstas. El impulso y participación en redes de innovación colaborativa en un mundo en el que la competencia por el acceso a muchas tecnologías ha cambiado notablemente exige considerar la relación entre el grado de apertura y la soberanía tecnológica de un agente concreto, ya sea un agente institucional, una región, un país, o un grupo de países como la UE actuando en nombre de diversas entidades públicas/privadas. Por este motivo, el futuro de la UE en el ámbito de la CTI necesita pensar en la soberanía tecnológica multilateral como uno de sus criterios rectores.

La tercera aportación resalta la importancia de diferenciar entre soberanía tecnológica y autonomía estratégica, considerando la primera como un componente crítico para alcanzar la segunda. Considerando que la ST ha sido definida en términos de “capacidad relativa (...)", el razonamiento lógico que se desprende es que la "pérdida de soberanía" implica una falta de capacidad o de agencia que se traduce en límites más restringidos para realizar las acciones planificadas. Las implicaciones empíricas se revelan como dimensiones subyacentes en los tópicos que serán analizados en la segunda parte de la tesis.

# **CAPÍTULO IV.** HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN: EL ÍNDICE DE LA SOBERANÍA TECNOLÓGICA

Este capítulo complementa el enfoque de la tesis de la Soberanía tecnológica articulado mediante una perspectiva mixta en función del desarrollo conceptual precedente. En ese sentido, varios artículos recalcan que el peligro de proporcionar "mediciones sin teoría" se puso de manifiesto hace tiempo (Archibugi y Coco, 2005; también Erkkilä, 2020; Im, y Choi, 2018). En tal virtud, primero se justifica la importancia de entrelazar el análisis cualitativo con un abordaje apoyado en los datos a fin de promover análisis más consistentes. Luego se revisa la literatura relacionada con los indicadores sintéticos y se exploran alternativas existentes a fin de identificar variables o dimensiones de interés que puedan ser recuperadas para esta investigación. Finalmente, se presenta el IST, una herramienta orientada a capturar cuantitativamente elementos para el análisis empírico utilizando indicadores que midan el nivel de ST de un actor en relación con un campo o sistema tecnológico específico en un momento dado.

## 4.1 ¿Por qué medir la Soberanía tecnológica?

La dependencia tecnológica es un tema de larga trayectoria, explorado por muchos economistas a lo largo de la historia desde aproximaciones teóricas y metodológicas heterogéneas. Recientemente, una propuesta de "Índice de Dependencia Tecnológica" formulada por León (2020a: 219-220) sugiere la necesidad de elaborar un instrumento que provea información sobre ciertos activos específicos relacionados en forma lo más directa posible respecto a un sector puntual, lo que tiene un doble valor: Sirve tanto para diagnosticar como para visualizar escenarios y anticipar posibles respuestas. Ello puede favorecer intervenciones más precisas y orientadas a superar inconvenientes de corto plazo. Pero, además, permite contribuir a la elaboración de estrategias de mediano plazo enfocadas en aspectos fundamentales que mejoren el rendimiento innovador.

Las capacidades tecnológicas y de innovación de un país comprenden un conjunto de activos y competencias que inciden sobre la productividad, el crecimiento y el bienestar[119]. El estudio de von Tunzelmann y Wang (2003) distingue entre competencias y capacidades: mientras

[119] El término fue sugerido por Kim (1980) para interpretar el desarrollo de Corea. Las definió como «la capacidad de utilizar eficazmente los conocimientos tecnológicos en los esfuerzos por asimilar, utilizar, adaptar y cambiar la tecnología existente» (Kim, 1997, p. 4, citado en Fagerberg y Srholec (2008, p. 1419)

que las competencias se entienden como insumos mejorados para producir bienes y servicios, las capacidades implican generalmente el aprendizaje y la acumulación de nuevos conocimientos. En su argumentación critican los estudios anteriores (Archibugi y Pietrobelli (2003; Pietrobelli, 1997) que consideraban las capacidades tecnológicas al mismo tiempo como insumos y resultados. En cambio, según su planteo las capacidades se conciben como resultados de procesos de aprendizaje que se sustentan en interacciones externas y fuentes para la innovación.

Una medida exhaustiva debe poder dar cuenta tanto de las actividades codificadas como de las tácitas (Lundvall, 1992). Algunas de las capacidades son incorpóreas, como las nuevas ideas e invenciones. Otras se materializan en equipos, maquinaria e infraestructuras, mientras que otras se materializan en habilidades humanas (Archibugi y Coco, 2004). Incluso, la infraestructura tecnológica es inseparable del nivel de la capacidad de absorción a través de actividades de I+D, es la clave para impulsar la difusión tecnológica y el crecimiento sostenido no sólo en los países de renta alta, sino también en los de renta baja y media (Khan, 2022).

Los esfuerzos por generar herramientas específicas que permitan detectar y medir las carencias y debilidades de un país (o grupo de países) en relación con una tecnología o un sistema tecnológico complejo se han centrado hasta ahora en las materias primas (CE, 2020a) y en las importaciones de productos y bienes intermedios; predomina un enfoque basado en las CVM (CE, 2021; CEPII, 2020). La Comisión comenzó a supervisar las dependencias estratégicas, desde materias primas[120] hasta la identificación de 137 productos en ecosistemas sensibles (que van desde la salud a industrias cruciales para la transición ecológica y digital) para los que la UE depende en gran medida de fuentes extranjeras, identificando que más de la mitad de estas dependencias tienen su origen en China (Terzi *et al.*, 2022, p. 19).

Este enfoque dual (ascendente/descendente) basa su análisis en las vulnerabilidades de las importaciones nacionales o regionales. Con todo, solo proporciona información parcial sobre un problema muy complejo. De hecho, las importaciones intermedias contenidas en los

[120] Principales productores mundiales y nacionales de materias primas críticas disponible en línea: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en#main-global-and-domestic-producers-of-crms

productos finales pueden revelar vínculos con recursos y activos externos, mientras que otras variables importantes, como las competencias o las aptitudes para la absorción de conocimientos, así como los derechos de propiedad intelectual, quedan a veces excluidas, aunque son necesarias en un enfoque de innovación.

Como ha sido mencionado, entran en juego los requisitos de capital humano, infraestructura, capacidad de fabricación y marcos normativos. También que una sólida I+D, junto con las capacidades de producción específicas de los segmentos sensibles de un ecosistema determinado, pueden contribuir a garantizar la gestión de los riesgos potenciales. Hay dos dimensiones relevantes: la dinámica -ya que a lo largo del tiempo las posiciones pueden cambiar a niveles más altos o bajos de soberanía, con implicaciones potenciales para otros actores- y la posición de un actor en relación con sus competidores.

Complementando el planteamiento del capítulo anterior, la inteligencia estratégica es una técnica de análisis que no es únicamente cualitativa, sino que recurre a indicadores cuantitativos. La combinación permite conocer en profundidad las competencias y recursos que el país o el sistema político-espacial posee, favoreciendo una mejor comprensión de aquellas en las cuales estaría en capacidad de desarrollar a corto y medio plazo[121]. Dado que las diferencias entre las capacidades tecnológicas de los países son de una magnitud considerable, una medida para tenerlas en cuenta de forma significativa a efectos comparativos debería considerar los componentes que son específicos tanto de los países desarrollados como de los países en desarrollo.

La elaboración de un diagnóstico objetivo donde se realice un mapeo de las "brechas" en las cadenas de valor a nivel macrorregional para identificar las funciones de agregación de valor que los actores nacionales son actualmente incapaces de realizar es el punto inicial para formular eventuales respuestas enmarcadas en la política de innovación (Coveri y Zanfei, 2023). Es preciso disponer de competencias metodológicas y analíticas para poder investigar las principales dimensiones relativas a la soberanía tecnológica de forma específica para cada

[121] Por caso, si es posible volver a realizar funciones críticas en el territorio nacional, que en el período reciente hayan sido subcontratadas a productores extranjeros. También, respecto a cuáles tendrá que abastecerse de terceros en un futuro previsible por las diversas razones que puedan existir (por ejemplo, comerciales, medioambientales o debido a una fuerte dependencia del suministro extranjero de insumos críticos, ya sean materias primas o componentes esenciales).

tecnología y con el nivel de granularidad necesario, y monitorizar su evolución en el tiempo como forma de conocer si las estrategias y medidas políticas han tenido efecto.

### 4.2 Los índices sintéticos: explorando alternativas

En las últimas décadas, la generación de índices sintéticos ha proliferado. La racionalidad subyacente es la medición de un concepto multidimensional a través de una combinación de diversos aspectos individuales o parciales. Siguiendo a Álvarez *et al*. (2019), los índices sintéticos en el ámbito de la innovación constituyen "*opciones para expresar en una única medida las capacidades nacionales en los procesos de innovación" pero tienen limitaciones importantes por la pérdida sustancial de información que conlleva la agregación de las diversas dimensiones*". Además, su sobredimensionamiento ha conducido a inconvenientes prácticos que derivan de la discusión superficial o directamente de la falta de escrutinio sobre la validez de las conclusiones (Grupp y Schubert, 2010: 69; Grupp y Mogee, 2004).

Archibugi *et al.* (2009) señalan que la lógica que subyace a estos índices es la comparación de posiciones de los distintos países y sus cambios. Ello proporciona una imagen simplificada pero inmediata sobre la base de evitar las complejidades inherentes tanto a los procesos productivos como a la generación de activos intangibles. Los autores discuten algunos de los supuestos implícitos tales como, por un lado, la confianza en la homogeneidad de la unidad de análisis -enfatizan que los países están formados por regiones heterogéneas y, por lo tanto, cuantificar la capacidad tecnológica a ese nivel oculta varias simplificaciones-. Por el otro, los requisitos que configuran una capacidad tecnológica son muy diferentes. Por último, un problema típico de los indicadores compuestos es consecuencia de aceptar la "sustituibilidad entre los ingredientes" o unidades de distintos indicadores. A su vez, los índices suelen dividirse en dimensiones, pilares o categorías que son ponderados para llegar a un único valor. El mecanismo es ineludiblemente subjetivo por lo cual, la probabilidad de sesgar los resultados se incrementa.

La medición racional de la innovación constituye, de acuerdo con el Manual de Oslo (2018), un parámetro de referencia para evaluar su impacto respecto a los objetivos sociales y económicos, así como la eficacia y eficiencia de las políticas públicas vinculadas. La conceptualización de un indicador es la base para su interpretación y, de la consistencia entre

ambas, se derivan sus implicaciones. Las dos primeras acciones de la secuencia -conceptualización e interpretación- son cruciales para la selección de los datos que se utilizarán, la unidad de análisis, pero sobre todo para elegir las variables que lo componen. Arundel y Hollanders (2008) subrayan que el fundamento para medidas de este tipo es ayudar a las políticas públicas, permitir comparaciones de prestaciones de sistemas de innovación y evaluar aspectos que funcionen bien o mal, lo que implica el seguimiento y análisis en el tiempo de los valores del indicador y de cada una de sus dimensiones. La constitución concreta y la selección de variables se cimienta en diferentes parámetros como la relevancia conceptual, la consistencia y la disponibilidad de los datos, así como la literatura precedente. Asimismo, sugieren que los indicadores deben ser capaces de mantener su valor a lo largo del tiempo y contribuir a las políticas a medio y largo plazo.

Mientras que la innovación "*consiste en sacar al mercado productos nuevos o muy mejorados o con encontrar formas más efectivas (mediante la puesta en práctica de procesos y métodos nuevos o muy mejorados) de comercializar los productos*" (Manual de Frascati, 2015: 64); las actividades de I+D pueden o no cumplir con los requisitos de esta noción[122]. En definitiva, es clave dilucidar el núcleo del asunto analizado.

Los índices compuestos o sintéticos suelen utilizarse para medir conceptos complejos y multidimensionales que son difíciles de definir o que exigen aproximaciones. De ahí que la dimensión metodológica sea un factor decisivo. Entre otros, las orientaciones metodológicas de la OCDE aluden a la noción de que un índice supone "una agregación de indicadores que tiene por objeto medir un concepto particular"; por su parte, el Centro de Investigación Conjunta (JRC en inglés) de la UE ha desarrollado métodos para construir indicadores compuestos robustos que puedan proporcionar a los responsables de la formulación de políticas el "panorama general" en asuntos sustantivos.

Lejos de agotar las herramientas existentes, han sido identificados y analizados un conjunto de índices en función de valorar su pertinencia para responder a la pregunta de investigación

[122] En la cuarta edición del Manual de Olso (2018), la definición general de una innovación para todos los tipos de unidades (sector empresarial, sector de las administraciones públicas, instituciones sin ánimo de lucro, hogares e individuos) es la siguiente: "(…) *es un producto o proceso nuevo o mejorado (o una combinación de los mismos) que difiere significativamente de los productos o procesos anteriores de la unidad y que ha sido puesto a disposición de los usuarios potenciales (producto) o puesto en uso por la unidad (proceso)"* (p. 60).

formulada. Evidentemente, cada uno de los índices propuestos ofrecerá coordenadas para abordar diversos aspectos parciales comprendidos por la noción de soberanía tecnológica.

Ahora bien, pese a los matices que distinguen al Índice Elcano de Presencia Global, (Álvarez *et al*., 2019), el Índice de desempeño industrial competitivo (UNIDO), el Índice de Ventajas tecnológicas reveladas (OCDE), el Cuadro Europeo de Indicadores de la Innovación-Resumen del Índice de Innovación y el Índice Mundial de Innovación (Comisión Europea), en mayor o menor medida todos tienden a ordenar jerárquicamente el desempeño alcanzado por un país o región en clave comparada. La revisión de las metodologías y variables ha sido de gran utilidad en la medida que aspectos parciales observados son compatibles con el índice que se propone en esta tesis. Por esta razón, se realiza la siguiente descripción de los más relevantes, a continuación:

Por ejemplo, cuando se trata de conocer la presencia internacional desde el punto de vista económico, militar y "blando", tal como se propone en el índice Elcano de Presencia Global, (Olivié y Gracia, 2018 y 2023) las capacidades científicas y tecnológicas y los procesos de internacionalización (IPG), así como y los resultados de la innovación (GII) brinda insumos que también podrían ajustarse a los objetivos propuestos en este trabajo, aunque con un enfoque diferente ya que no se centran en una tecnología o sistema tecnológico particular.

El Índice Elcano de Presencia Global agrega y cuantifica, sobre la base de datos objetivos, la proyección exterior y la posición internacional que ocupa un país en función de las tres dimensiones que conforman su presencia: económica, militar y blanda. Enmarcado en un proyecto orientado a indagar las tendencias globales, con foco en el ascenso o declive de una serie de países y regiones, la herramienta busca contribuir a la toma de decisiones en política exterior (Olivié y Gracia, 2018). El Índice de Presencia Global considera dos dimensiones fundamentales: las capacidades científicas y tecnológicas y los procesos de internacionalización (Olivié y Gracia Santos, 2023; Álvarez *et al*., 2019).

El Índice Mundial de Innovación (más conocido en inglés como *Global Innovation Index - GII-)* publicado por la Universidad Cornell, INSEAD, y la OMPI (OMPI, 2023)[123], brinda resultados de la innovación en 129 países y economías de todo el mundo; a través de sus 80 indicadores se explora la innovación desde una perspectiva amplia, que incluye el entorno político, la educación, la infraestructura y el desarrollo empresarial.

El Índice de desempeño industrial competitivo (CIP en inglés) de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO en inglés) ofrece una clasificación mundial de la industria manufacturera basada en la capacidad de producir y exportar bienes manufacturados, el grado de profundización y actualización tecnológica y el impacto en el mercado mundial. Ocho indicadores de rendimiento industrial se utilizan para construir el CIP: Valor Añadido (VA) Manufacturero Per Cápita (valor relativo de la producción manufacturera total neta respecto de la población de un país), Exportaciones de manufacturas per cápita, intensidad de la industrialización (se calcula como la media aritmética de la participación del VA de la industria manufacturera en el PIB total y la participación del VA de la industria manufacturera de tecnología media y alta en el VA total de la industria manufacturera) y calidad de la exportación (se calcula como la media aritmética de otros dos indicadores que miden la participación de las exportaciones de manufacturas en las exportaciones totales y la participación de las exportaciones de manufacturas de media y alta tecnología en las exportaciones totales de manufacturas).

El Índice Ventaja Tecnológica Revelada (VTR o RTA en inglés) se origina en el trabajo pionero de Balassa (1965) para medir la especialización relativa de un país en determinados ámbitos tecnológicos. Se define como la cuota de patentes en un campo de tecnología para un área económica, dividida por la cuota de patentes en el mismo campo a nivel mundial. Se calcula utilizando las familias de patentes IP5 por parte de las empresas -Casa Matriz- ubicadas en una zona geográfica[124]. El índice es igual a cero cuando el país no posee ninguna patente en un sector determinado; es igual a 1 cuando la cuota del país en el sector es igual a

[123] El *Global Innovation Index* 2023 es la 16ª Edición publicada por la OMPI. Según consigna el Apéndice I titulado "Marco conceptual y de medición del Índice Mundial de Innovación", el índice se puso en marcha en 2007 con el objetivo de identificar y determinar métricas y métodos que pudieran captar una imagen lo más completa posible de la innovación en la sociedad.
[124] Se refiere al acuerdo entre las cinco mayores Oficinas de Propiedad Industrial del mundo - conocidas como IP5 y formadas por la Oficina Europea de Patentes (EPO), la Oficina Japonesa de Patentes (JPO), la Oficina Coreana de Propiedad Intelectual (KIPO), la Oficina Estatal de Propiedad Intelectual de la República Popular de China (SIPO) y la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos (USPTO). Para más detalles consultar la web de Oficina Española de Patentes y Marcas.

su cuota en todos los campos (sin especialización); y superior a 1 cuando se observa una especialización positiva[125]. La utilidad del VTR será aprovechada en el capítulo VII para sostener el análisis de la situación de la UE respecto a las tecnologías digitales.

En el ámbito de la UE, los resultados de investigación e innovación de los Estados miembros y las debilidades relativas entre sus sistemas de investigación e innovación son abarcados por el Cuadro Europeo de Indicadores de la Innovación (EIS en inglés) (Comisión Europea, Dirección General de Investigación e Innovación, 2024) que se refleja mediante el Índice de Innovación Resumido, publicado anualmente a partir de 27 indicadores individuales para cada uno de los estados miembros y también de la UE en comparación con otros países, diferenciados en cuatro tipos y diez dimensiones: condiciones de contexto, inversiones, actividades de innovación e impactos. Utiliza las estadísticas más recientes de Eurostat y otras fuentes reconocidas internacionalmente disponibles al momento del análisis (EIS, 2024).

La composición comprende las exportaciones de productos de tecnología media y alta como porcentaje de las exportaciones totales de productos. Esta variable mide la capacidad de comercializar los resultados de la investigación y el desarrollo (I+D) y la innovación en los mercados internacionales, pero también refleja la especialización de los productos por país. El EIS representa una herramienta de utilidad en el momento de analizar la cohesión y disminución de las brechas entre los socios comunitarios, así como identificar posibles contribuciones que cada uno podría ofrecer. Al respecto, se pueden constatar las heterogeneidades internas del bloque medidas a través del PIB per cápita, la calidad de vida e infraestructuras, pero también se puede medir comparando los valores en diferentes años si existen signos de convergencia gradual entre los Estados Miembros.

El Cuadro de Indicadores de Inversión en I+D industrial de la UE se perfiló en un primer momento como una alternativa. La muestra de inversión en I+D de 2500 empresas equivale al 54% del gasto total en I+D en todo el mundo (GERD) y alrededor del 90% de los gastos de I+D financiados por el sector empresarial en todo el mundo (BERD). En este sentido, pese

[125] A modo de ejemplo, el VTR para los principales inversores en I+D del mundo en el bienio 2014-2016, tomando una selección de sectores de Europa refleja lo siguiente: Maquinaria Eléctrica (1.0); Telecomunicaciones (0.6); Comunicación digital (0.9); Comunicación básica (0.7); Tecnologías informáticas (0.5); Métodos IT (0.7); Semiconductores (0.4); Óptica (0.3).

a que su orientación es a las tendencias de gasto en I+D en sectores clave por parte de los principales actores industriales, los resultados económicos y la comparación de las empresas de la UE con sus equivalentes mundiales, es una fuente de consulta indispensable para el análisis del sector privado (Nindl *et al*., 2023)[126].

### 4.3 El Índice de Soberanía Tecnológica

El IST constituye una herramienta de medición propuesta en esta tesis cuyo diseño ha sido concebido específicamente para captar las debilidades y los grados de riesgo potencial de un país o grupo de países con respecto a tecnologías específicas. El diseño del IST se alinea con la propuesta de herramienta de Edler *et al*. (2023) en tanto las consideraciones de inteligencia para la soberanía tecnológica requieren de una evaluación global de la posición de un país respecto a la competitividad tecnológica y las relaciones de poder en las cadenas de valor internacionales que estén respaldadas por datos contrastados por organismos oficiales.

Los riesgos potenciales se refieren al nivel de exposición a acontecimientos imprevistos o entornos peligrosos que puede tener un país (o una empresa) en sus cadenas de suministro mundiales. La exposición es un determinante necesario, pero no suficiente de los riesgos, siendo posible estar "expuesto" pero no ser "vulnerable" cuando existen mecanismos de resiliencia (Aqlan y Lam, 2015). Por otra parte, la exposición al riesgo (enfocada como producto del impacto por la probabilidad) permite establecer umbrales y acotar la mitigación del riesgo a los que superen el umbral.

Lo que se plantea es que una imagen de las interdependencias frente a otros actores y de los niveles de accesibilidad y disponibilidad de recursos (tanto tangibles como intangibles) arrojará algo de luz sobre las limitaciones que afectan a las opciones estratégicas para el diseño y la implementación de acciones. También se destaca que el IST pretende servir como herramienta para cuantificar el nivel de soberanía tecnológica de un actor (país o grupo de países), indicando las dependencias críticas y las consiguientes posiciones globales que podrían explotarse a través de las tecnologías habilitadoras y emergentes.

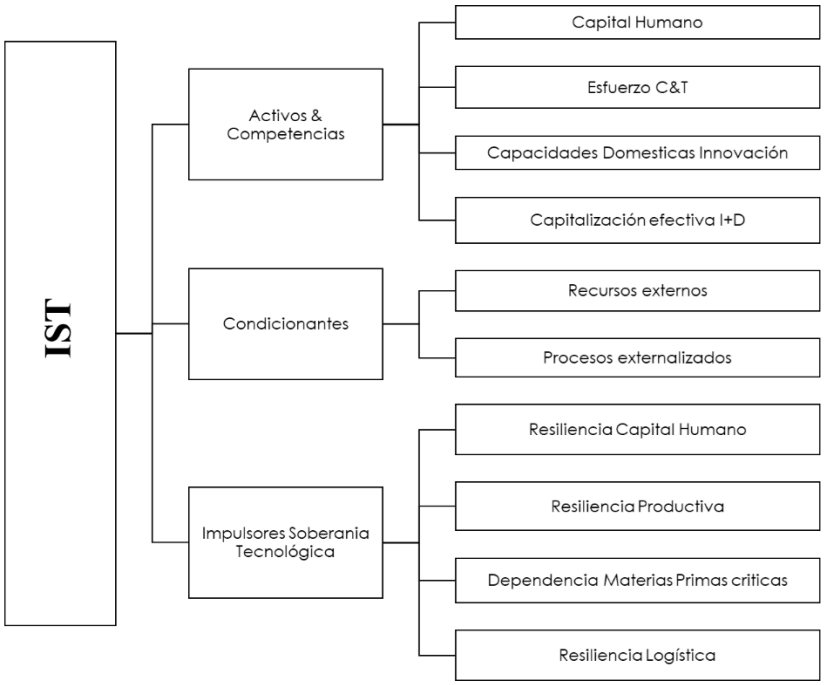
[126] Es publicado anualmente por la Comisión Europea (JRC-Sevilla/DG RTD) como parte del proyecto GLORIA, acrónimo de Análisis Global de Investigación e Innovación Industrial.

*4.3.1. Estructura*

La necesidad de información estadística para diseñar un instrumento eficaz de gestión y seguimiento ha impulsado el desarrollo del IST, construido sobre tres pilares: Activos y Competencias, Condicionantes e Impulsores de la Soberanía tecnológica. Consideramos que estos tres aspectos son los más relevantes para exponer y analizar la posición de un actor (país o grupo de países) en una determinada tecnología (véase la Figura 4.1). Los pilares están formados por 10 subpilares o indicadores compuestos que comprenden estadísticas individuales recopiladas de varios conjuntos de datos internacionales o construidas a partir de encuestas oficiales.

El índice proporciona una instantánea de la soberanía tecnológica en un momento dado, ofreciendo un perfil de un actor con respecto a una tecnología en un año elegido. Según la definición adoptada, el IST refleja los activos netos y las competencias que permiten a un país (o grupo de países) tomar y aplicar decisiones, revelando su necesidad de recursos externos y la deslocalización de los procesos de producción básicos asociados a una tecnología determinada (externalización y subcontratación de I+D, componentes críticos y subsistemas). Todos estos aspectos se incluyen entre los "potenciadores/limitadores" que implican la dependencia de un tercero, independientemente de las motivaciones (por ejemplo, costes más competitivos, acceso al "mercado", etc.). No obstante, conviene diferenciar la externalización de la presencia global de una empresa a través de *hubs* o nodos de innovación; mientras que la primera podría generar dependencias de suministro, la internacionalización de la I+D puede actuar como una red de acceso al conocimiento y a las nuevas tecnologías (Corsi *et al*., 2015; Schaefer, 2020). El proceso de análisis derivado del índice ofrece una visión general de los posibles mecanismos de resiliencia.

**Figura 4.1** Estructura del IST




Fuente: Adaptado de da Ponte *et al.*, (2022).

Los pilares reflejan tres dimensiones analíticas que convergen en el concepto. El primer pilar, Activos y Competencias (A&C), comprende cuatro indicadores compuestos (Tabla 4.1) de la capacidad de innovación de las partes interesadas, lo que involucra un segundo nivel de composición del IST que hay que desentrañar, incluida la proporción de científicos y tecnólogos en la mano de obra, la inversión en proyectos científicos y tecnológicos, las capacidades nacionales de innovación y la capitalización del conocimiento medida por la especialización en campos técnicos y mercados.

**Tabla 4.1** Pilar de activos y competencias

| Indicador compuesto | Descripción |
|---|---|
| **Capital humano** | Composición y competencias de la mano de obra científica, tecnóloga y especializada como indicador de la disponibilidad técnica y de competencias en el campo tecnológico seleccionado (y campos afines) |
| **Esfuerzo científico y tecnológico** | Capacidad de la base científica en términos de inversión pública y privada, excelencia investigadora y grado de prioridad concedido a una tecnología específica o sistema tecnológico mediante la existencia de proyectos específicos. Apunta a aproximar el peso relativo que tiene en relación con el total asignado a todas las áreas de investigación |
| **Capacidades nacionales de innovación** | Conocimientos y competencias institucionalizados que posee localmente un país o, en el caso de las EMN, instalaciones situadas en el territorio de naciones aliadas del país en el que tiene su sede la empresa matriz |
| **"Capitalización" efectiva de las actividades de I+D** | Especialización y conocimientos técnicos mediante indicadores de patentes de tecnologías específicas y contribuciones a normas mundiales, así como posicionamiento en el mercado de las principales empresas |
| Fuente: Elaboración propia | |

El segundo pilar, los condicionantes (Co), se refiere a los recursos externos y los procesos externalizados que se generan a lo largo de la cadena de valor (Tabla 4.2). Dicho de otra manera, son los activos de terceros. La participación en una CVM implica beneficios como el acceso a insumos y mercados, pero también aumenta los niveles de exposición tanto a situaciones disruptivas como a recursos y decisiones de otros actores. Para simplificar el modelo y el análisis, se incluyen dos indicadores compuestos: importaciones críticas de materias primas e insumos relacionados con la tecnología; y cualquier proceso externalizado que implique un alto valor añadido. Aunque ambas situaciones generan una dependencia de activos externos, no hay otra opción cuando determinadas materias primas no están disponibles en un territorio, y esto se aborda a través del valor de importación de materias primas críticas (CRM), no CRM y otros insumos importantes. En el caso de los procesos de externalización, es el resultado de la decisión de la empresa, cuantificada por el valor de importación de los componentes/subsistemas seleccionados y la balanza de pagos tecnológica.

**Tabla 4.2** Pilar de condicionantes

| Indicador compuesto | Descripción |
|---|---|
| **Recursos externos** | Composición de materias primas e insumos críticos importados relacionados con la tecnología |
| **Procesos externalizados** | Etapas de la cadena de valor que han sido subcontratadas, tanto funciones de mayor valor añadido (como diseño e I+D) como fabricación y/o suministros adquiridos directamente. Localización geográfica de las funciones de las empresas líderes y, en la medida de lo posible, cartografía de la localización de sus proveedores de primer nivel |
| Fuente: Elaboración propia | |

El tercer pilar son los Impulsores de Soberanía Tecnológica (STDrvs), definidos como aquellos activos no explotados o infrautilizados por una parte interesada cuyo aprovechamiento permitiría la gestión y la reducción de dependencias estructurales e informativas críticas y unilaterales. Este pilar está compuesto por la resiliencia del capital humano, la producción y la logística, así como por la dependencia crítica de las materias primas, que se refiere a la resiliencia de las cadenas de suministro: la capacidad de volver al rendimiento operativo normal en un plazo soportable y la capacidad de mantener un funcionamiento regular a pesar de las interrupciones (Brandon-Jones *et al*., 2014).

**Tabla 4.3** Pilares impulsores de la soberanía tecnológica

| Indicador compuesto | Descripción |
|---|---|
| **Tasa de resiliencia del Capital Humano** | Conjunto de Capital Humano cualificado no incorporado o infrautilizado por el mercado laboral o las actividades de I+D, así como aquellos con una formación que requiera una formación especializada para su integración en una industria específica |
| **Tasa de dependencia de materias primas críticas** | Dependencia de las importaciones (IR) y la tasa de entrada de reciclaje al final de la vida útil (EoL-RIR), que es el porcentaje de la demanda total que puede satisfacerse con materias primas secundarias. La sustituibilidad o no sustituibilidad de las materias primas criticas es una cuestión básica para evaluar los mecanismos de resiliencia |
| **Tasa de resiliencia productiva** | Proveedores alternativos de componentes y/o subsistemas que no estén vinculados o estén infrautilizados por las empresas líderes. Centros de I+D y empresas con capacidades afines con potencial para incorporarse a la cadena de valor nacional o de deslocalización cercana. |
| **Tasa de resiliencia logística** | Considera la longitud y composición de las cadenas de suministro. Los niveles más cortos (geográficamente próximos) de exposición a diversas perturbaciones (bloqueo por accidentes, piratería, conflictos geopolíticos o coste/eficacia de los medios de transporte) serán moderados en comparación con las cadenas de suministro más largas con componentes al otro lado del mundo. El mayor riesgo a la hora de garantizar el acceso y la disponibilidad de insumos también está asociado a la pertenencia a una alianza geopolítica |
| Fuente: Elaboración propia | |

*4.3.2. Metodología*

Los indicadores compuestos para medir la innovación (Grupp y Schubert, 2010; Patel y Pavitt, 1995) son la mejor solución a la falta de un indicador "comodín" que abarque las distintas dimensiones constituyentes (Shapiro, 2006). Se han ofrecido pruebas notables sobre el impacto positivo y significativo de la I+D en la productividad (Griliches, 1979, 1990), y las patentes están ampliamente aceptadas como un buen indicador de la producción tecnológica. Boone *et al.* (2019) sostienen que las patentes ofrecen coherencia y objetividad porque los examinadores pueden validar las nuevas invenciones en función de su utilidad, un punto importante para medir la innovación. Ambos se utilizan a falta de mejores indicadores, pero ninguno es lo suficientemente sólido como para predecir y evaluar el uso eficiente de los recursos; en consecuencia, la relación entre insumos y resultados de la innovación sigue siendo objeto de debate académico.

De hecho, la llamada "paradoja europea" se refiere a la prolongada excelencia de las publicaciones científicas de la UE, cuyos hallazgos no se traducen necesariamente en innovaciones y éxito en el mercado (Rodríguez Navarro y Narin, 2018; Dosi *et al*., 2006).

Además, el aumento de las inversiones en un campo concreto no siempre impulsa un mayor número de patentes, mientras que el número de elementos patentables dentro de los nuevos productos que se van a comercializar también puede afectar a la forma en que se utilizan las patentes[127]. De hecho, las empresas adoptan diversas estrategias de patentamiento, como el uso de patentes de bloqueo como moneda de cambio en las negociaciones de licencias cruzadas y en los litigios sobre propiedad intelectual (block to play), o como medio para impedir que los rivales patenten invenciones sustitutivas (block to fence) (Cappelli *et al.*, 2023).

La innovación no surge por completo de la I+D formal (Arundel et al., 2008, Heidenreich, 2009, Rosenberg, 1982), aunque pueda significar una aportación importante. De hecho,

[127] Un asunto que debe ser subrayado es el valor relativo de las patentes en el ámbito digital (sobre todo, software). Al respecto, artículos de la revista de la OMPI señalan que "*El enorme crecimiento económico y potencial innovador de las empresas tecnológicas que elaboran productos en los que se combinan soportes físicos con programas informáticos, y el del sector de los programas informáticos en general, indican que ha llegado el momento de reconsiderar la legislación de propiedad intelectual y de adaptarla a la realidad comercial de hoy en día"* (Jedrusik, 2017). Para más detalles puede consultarse: https://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2017/01/article_0002.html

estudios empíricos sobre empresas europeas revelaron que cerca de la mitad de las empresas innovadoras no realizaban actividades formales de I+D dentro de la empresa (Lee y Walsh, 2016; Huang et al., 2011). Incluso, los insumos de I+D pueden o no utilizarse eficazmente en función de la relación con la fase de producción y la entrada en el mercado. El diseño del producto, la fabricación de prueba, el análisis del mercado, la formación de los empleados y la inversión en activos fijos relacionados con las innovaciones (Kleinknecht *et al*., 2002) pueden considerarse facetas de los esfuerzos realizados por las empresas para desarrollar o crear nuevos productos o métodos novedosos para gestionar una empresa de forma más eficiente y conquistar nuevos mercados (Mohnen y Hall, 2013).

Por otra parte, aunque las patentes pueden ser tan eficaces como cualquier otro mecanismo de protección de las innovaciones de productos, el amplio efecto de difusión de la información y su posible repercusión en la eficacia de los esfuerzos innovadores merecen la atención de académicos y responsables políticos. Las empresas pueden conocer las actividades de I+D de sus competidores a través de mecanismos no mediados por el mercado, como publicaciones, reuniones o conferencias públicas, intercambio informal de información y conocimiento técnico detallado de los productos de la competencia (Cohen *et al*., 2002)[128].

Estos argumentos justifican la elección de un enfoque sistémico basado en medidas de insumos y productos, así como en la evaluación de la capacidad de un agente para transformar los primeros en los segundos. Esto es coherente con la idea subyacente de que las condiciones de apropiabilidad dependen de diferencias transnacionales en los entornos políticos e institucionales o de factores (como la tecnología). Sin embargo, el incremento de las fricciones geopolíticas, observado a través de sanciones o restricciones a la exportación afectan de forma directa a la apropiabilidad.

Las inversiones en I+D, incluidos los recursos financieros, el capital humano, los recursos físicos y las infraestructuras, así como los conocimientos y las competencias académicas acumuladas por un país, son indicativos de la capacidad de absorción (Cohen y Levinthal, 1989; Murovec y Prodan, 2009, Volberda *et al.*, 2010,) y desempeñan un papel central en la

[128] Por ejemplo, en el sector de las comunicaciones móviles avanzadas, caracterizado por ser un sistema complejo, el control de la propiedad de los componentes complementarios esenciales de una tecnología suele estar fragmentado entre varias empresas líderes.

promoción de la innovación tecnológica (Crossan y Apaydin, 2010). Por ello, los investigadores lo han aplicado como una variable proxy de los inputs de innovación considerados determinantes del crecimiento, la productividad y/o la competitividad.

Esta aproximación a los inputs de innovación, tienen sus fortalezas y debilidades relativas en términos de cobertura del tipo de innovación que miden (Jensen y Webster, 2009; Tijssen y Winnink, 2018). Como sostienen Schmidt y Graversen (2017), "necesitamos 'narrativas con números' para contextualizar e interpretar", es decir, para comprender en profundidad será necesario contar con información de apoyo obtenida de estudios de casos y series temporales estables.

Para estimar la posición del actor analizado, por ejemplo, la UE, se adopta un punto de referencia comparativo que corresponde a las partes interesadas mejor clasificadas para cada indicador individual. Este enfoque es similar, aunque no idéntico, al método de normalización de distancia a la frontera, que adopta límites mínimos y máximos en los que el rendimiento de un país en una variable se compara con los valores lógicos del "mejor caso" y el "peor caso" (OCDE, 2008).

La idea es que un actor mejor clasificado debe interpretarse siempre de acuerdo con la definición de cada indicador específico (ver Tabla 4.1, Tabla 4.2, Tabla 4.3), aunque la disponibilidad de datos puede condicionar aún más los criterios de selección. De acuerdo con el marco analítico presentado, los datos a nivel de país (o grupo de países) y la información a nivel de empresa se consideran no sólo compatibles, sino complementarias.

Dada la lógica del índice, se ha optado por una estrategia comparativa que confronta la posición del actor analizado en cada indicador individual con la de sus principales competidores directos, ya que nuestro objetivo es destacar los puntos fuertes y débiles. Identificados a partir de un análisis en profundidad de la cadena de valor, estos actores pueden ser líderes de la tecnología o de los sistemas tecnológicos, o limitarse a desempeñar

un papel en alguna fase o nicho. En ambos casos, su inclusión se basa en las posibilidades de evaluación cualitativa[129].

Metodológicamente, el IST se construye siguiendo las directrices del Índice Global de Innovación (Cornell University, 2021), del Informe metodológico del Cuadro europeo de indicadores de innovación 2023 y los parámetros establecidos por la OCDE (2008). La puntuación de cada subpilar se calcula como la media simple de sus indicadores individuales, mientras que la puntuación de cada pilar principal se construye mediante la media simple de las puntuaciones obtenidas en los subpilares. Todos los indicadores tienen la misma importancia dentro del subpilar al que pertenecen, por lo que se decidió no utilizar pesos o ponderaciones diferenciadas para los indicadores.

Ahora bien, es importante subrayar que se ha optado por esta formulación básica del IST para evitar el uso de métodos como la asignación de pesos, pero esta alternativa es perfectamente compatible con la herramienta. El establecimiento de criterios para asignar pesos es una decisión del usuario. En el caso de esta investigación, se ha aplicado el Análisis de Componentes Principales, y se ignora la contribución de los indicadores que son conceptualmente valiosos pero que muestran una baja correlación con los demás. Por otro lado, al mantener pesos fijos para el cálculo, se busca garantizar la comparabilidad en el tiempo, para evitar que los pesos asignados se asocien a los datos recogidos en años posteriores, aunque también se garantizaría si los pesos no cambiasen.

El IST incluye una cantidad variable de indicadores individuales dentro de sus 10 subpilares (ver el listado para los de caso 5G y de semiconductores en los Apéndice 5.1 y 6.1 respectivamente), seleccionados debido a su importancia sobre la base de una revisión de la literatura principal, opiniones de expertos, y la relativa facilidad de actualización en el tiempo. La ventana de observación utiliza los datos disponibles más actualizados. Las medias utilizadas para los cálculos pretenden abarcar un periodo no inferior a cinco años.

[129] En los capítulos V y VI, para analizar la situación de la UE en las comunicaciones 5G y semiconductores, se compara su nivel de soberanía tecnológica con respecto a los niveles de China y Estados Unidos; y con China, Estados Unidos, y Corea del Sur respectivamente.

Algunos datos pueden estar relativizados desde la fuente (por ejemplo, los que integran el subpilar de Capital Humano respecto a la población total o a la población económicamente activa), mientras que otros se relativizan con respecto a un indicador económico relevante (por ejemplo, el PIB), y -para que la comparación entre países sea válida- un tercer grupo se relativiza en función de lo que el indicador pretende captar (por ejemplo, proporción de 5G que invierten más en I+D sobre el total de empresas de los sectores de Software y servicios informáticos, Hardware y equipos tecnológicos, y Electrónica y equipos eléctricos, dentro de las 2.500 primeras empresas del mundo que invierten significativamente en I+D). A continuación, se normalizan los datos en un rango de 0 a 100, aplicando una transformación que permita mantener el posicionamiento de los países, así como las distancias relativas. Para ello, se toman los valores muestrales máximo y mínimo de cada variable.

La puntuación agregada del IST se calcula como la media simple de los subpilares, oscilando entre 0 y 100. En el caso de los pilares de Activos y competencias y de Impulsores de la soberanía tecnológica, 100 es la mejor puntuación posible. Por su parte, los Condicionantes tienen una escala inversa en la que la mejor puntuación es 0.

Por último, se desarrolla un análisis de sensibilidad para comprobar la solidez del IST. En concreto, para calibrar la coherencia conceptual entre los indicadores y los fenómenos que se miden, se calcula el coeficiente de correlación de *Spearman* entre los indicadores y los subpilares de los que forman parte, ya que este estadístico es poco sensible a los valores extremos. El criterio establecido fue que aquellos indicadores con un coeficiente de correlación inferior a 0,5 con el subpilar del que forman parte deben ser evaluados conceptualmente, para determinar su permanencia en el índice. A continuación, se utiliza el *alfa de Cronbach* o coeficiente de fiabilidad para comprobar la consistencia interna del índice, especialmente útil para examinar la medida en que los ítems de un test o escala miden una característica específica; se emplea para evaluar la contribución explicativa de los subpilares respecto al pilar al que pertenecen, así como la de los distintos pilares respecto al índice global.

En cuanto a las limitaciones de esta metodología en el cálculo del índice, esta agregación de indicadores que pueden ser redundantes podría generar un efecto de doble cómputo. Sin

embargo, cualquier efecto de este tipo se minimiza a través de las pruebas de coherencia aplicadas en el cálculo del índice. Asimismo, la falta de datos para determinados casos analizados puede obligar a descartar la inclusión de algunos indicadores importantes cuando la información no está disponible para alguno de los actores analizados.

### 4.4 Conclusiones

En la medida en que la ST se limita a actuar como una racionalidad reactiva para construir las capacidades en las que Europa está rezagada, pierde su capacidad de anticiparse en otros sectores que pueden generar impacto positivo sobre su tasa de crecimiento, su competitividad económica y su posicionamiento en nuevas cadenas de valor.

El IST es la aportación fundamental de este capítulo. Es un índice sintético que se basa en la integración de indicadores aislados que se asienta sobre un un marco teórico sólido para proporcionar una serie de opciones para la toma de decisiones para mejorar la soberanía tecnológica apoyada por datos. Su validez empírica y su utilidad están relacionadas con su capacidad para captar la esencia de los fenómenos que pretende medir. La disponibilidad de indicadores únicos y de datos estadísticos son aspectos esenciales para llevar a cabo una evaluación adecuada de las nuevas tecnologías, y permiten extraer lecciones y hacer consideraciones que pueden tomarse como implicaciones para la definición y la aplicación de las políticas públicas. También es relevante garantizar la fiabilidad y la disponibilidad periódica de los indicadores individuales y de las fuentes de datos seleccionadas para supervisar la evolución del IST a lo largo del tiempo.

En cuanto a la composición del IST, el objetivo ha sido reducir el número de indicadores y asegurar que los datos estén disponibles en fuentes estables y reconocidas, para garantizar su continuidad. Además, como en cualquier medida de este tipo, la fácil accesibilidad y fiabilidad de las fuentes es un claro condicionante tanto para las variables que se escogen como de los resultados incluidos en el modelo. Esto implica una contrapartida para determinados indicadores, en los que es ineludible recurrir a datos más generales que son, en definitiva, aproximaciones a la realidad.

A partir del uso de indicadores de input y output brinda, en conjunto, una “fotografía” que aporta elementos para el análisis, independientemente de la tecnología o sistema tecnológico

al cual se aplique. En esta línea, un análisis unidimensional puede generar sesgos de medición cuando se trata de trabajo empírico, ya que cada caso tiene una dinámica específica. La interpretación del índice, por lo tanto, puede elaborarse en tres niveles, pero no en función de indicadores individuales. Primero, la situación de cada subpilar puede revelar qué aspectos concretos requieren una atención más urgente por los decisores políticos (y eventualmente empresariales) cuando se observan vulnerabilidades importantes, pero también las fortalezas que pueden ser apalancadas. Segundo, la situación de cada pilar, atendiendo a los equilibrios entre los puntos fuertes y débiles que componen los activos, los condicionantes y los impulsores. Tercero, la mirada holística que emerge de los tres anteriores.

En definitiva, indagar las circunstancias relativas a las fuentes de provisión, ya sean de componentes básicos, productos o servicios tecnológicos basados en ella, el conocimiento ligado a intangibles afines propios o externos (patentes, registros de software y licencias, o saber hacer), la disponibilidad de recursos humanos especializados, las infraestructuras científico-tecnológica y productivas, y las interdependencias cruzadas intersectoriales, puede contribuir a elucidar las brechas entre los supuestos y capacidades implicadas por la noción de “Soberanía tecnológica” (de la UE o de otro tipo de unidad política) y la situación observable.

# CAPÍTULO V. ÍNDICE DE SOBERANÍA TECNOLÓGICA APLICADO A LAS COMUNICACIONES AVANZADAS 5G EN LA UNIÓN EUROPEA

## 5.1 Introducción

Este capítulo utilizará el Índice de Soberanía Tecnológica (IST) desarrollado en el capítulo anterior para aplicarlo a las comunicaciones móviles 5G. Las comunicaciones móviles de quinta generación son un sistema tecnológico que ha ocupado una parte notable de la centralidad del escenario global en cuanto a la rivalidad basada en la tecnología[130]. Su análisis expone la incidencia a nivel sectorial de los condicionantes geopolíticos actuales.
Es pertinente mencionar que parte de la información contenida en este capítulo procede de un artículo publicado en 2022 (ver la sección 1.3 Estructura de la tesis, Tabla 1.1), aunque la necesidad de actualización debido a la evolución del tema ha requerido reelaborar e incluir nuevas secciones.

El análisis de la posición de la UE en relación con las comunicaciones móviles avanzadas 5G combina una narrativa consistente con la lógica de la inteligencia estratégica (Edler *et al.*, 2023) y el IST, por dos razones principales: la centralidad de ambos tanto para la dinámica global (CE, 2021; Teece, 2021) como para la UE; y el potencial de 5G para convertirse en una tecnología de uso general (Parcu *et al*., 2021). Para una mejor comprensión de la complejidad de la cadena de valor de las comunicaciones, primero hay que señalar que los principales fabricantes de plataformas y los gigantes de la tecnología juegan un papel significativo con respecto a la infraestructura digital, principalmente en la definición de las especificaciones y la regulación de estas. Además, los gobiernos y otros agentes del sector público suelen desempeñar tres funciones principales: formulación de políticas, reglamentación y la propiedad de los componentes y servicios de la infraestructura digital. Un tercer grupo conformado por organismos no gubernamentales también ocupa un lugar de influencia[131]. Este conjunto de elementos deja ver la complejidad de las dinámicas que la atraviesan[132]. Desde el trazado de los cables de fibra óptica submarinos hasta los protocolos

[130] La delimitación de este sistema tecnológico responde a fines analíticos en la medida que en el corazón de los subsistemas que integran 5G se encuentran los chips y otros componentes electrónicos (ver capítulo VI).
[131] Entre ellos, asociaciones industriales, organismos de normalización y múltiples asociaciones de interesados como la World Wide Web Consortium (W3C), la Corporación de Internet para la Asignación de Nombres y Números (ICANN) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), el Comité Electrotécnico Internacional (IEC en inglés).
[132] Las normas desempeñan un papel especialmente importante en el ámbito de las TIC (Teubner *et al*., 2021), ya que la función principal de las TIC es permitir los flujos de datos, información e ideas a través de las interfaces de las redes de comunicación mundiales. Las normas técnicas son necesarias para la interoperabilidad entre equipos y su cumplimiento suele ser un requisito para poder exportar productos a un mercado determinado. Además, las normas técnicas publicadas por la

e identificadores críticos de Internet reflejan intereses económicos o los valores sociales particulares de los ingenieros que las diseñan (Hoffmann *et al*., 2019; Bradshaw y DeNardis, 2018).

Avanzar de 1G a 2G implicó dejar atrás los sistemas analógicos y pasar a los digitales, masificando el tamaño del mercado hasta entonces concentrado en clientes corporativos y de altos ingresos. La tercera generación -3G- transformó la infraestructura de comunicaciones para que se centrara en los datos y no en la voz. La cuarta generación -4G- ha representado el acceso móvil a mayores velocidades de Internet. A diferencia de las generaciones anteriores, 5G superará el rendimiento en términos absolutos, pero también relativos, ya que se espera mejores prestaciones para los diversos tipos de usuarios. Es decir, permitirá un funcionamiento similar al de una red de banda ancha ultrarrápida que además estará acompañada de la integración de otras capacidades.

No se trata del diseño de plataformas aptas para una conectividad de propósito general con capacidades limitadas, sino de una tecnología cuya flexibilidad posibilite, cuando alcance su despliegue pleno, funcionar en cualquier tipo de espectro radioeléctrico, integrada con dispositivos terrestres o espaciales, en zonas densamente pobladas o en zonas rurales y operar en sus diferentes configuraciones - celular, red virtual- con el mismo nivel de prestaciones.
La importancia de 5G ha sido creciente, sobre todo porque su evolución le permite no únicamente conectar personas, sino también máquinas y objetos[133]. Por eso, en las economías 5G se perfila claramente como un nuevo estándar mundial que no puede considerarse como una simple mejora con respecto a las tecnologías móviles anteriores (Parcu *et al*., 2023). La literatura coincide en que introduce no solo cambios incrementales (es decir, mayor velocidad y menor latencia en la transmisión de datos), sino que también tiene nuevas características que permitirán cambios radicales que mejorarán las interacciones entre máquinas (incluso sin la intervención directa del ser humano) y aumentarán la relevancia de la computación de

Organización Internacional de Normalización (ISO) y el Comité Electrotécnico Internacional (CEI), los dos principales organismos internacionales de normalización, aunque voluntarias, son pertinentes en virtud de la legislación de la Organización Mundial del Comercio, que trata las normas técnicas internacionales como un punto de referencia importante para determinar los obstáculos técnicos al comercio.

[133] Se espera que el impacto económico de la 5G y sus evoluciones sea enorme, produciendo hasta 13,2 billones de dólares en crecimiento de ingresos y creando hasta 22 millones de puestos de trabajo para 2035 (Rastogi, 2022).

borde (Ren *et al*., 2019)[134], generando las condiciones para que Internet de las cosas (IoT), dependiente en buena medida del desarrollo y despliegue de la 5G, pueda efectivamente ofrecer sus potencialidades[135].

El capítulo está organizado en tres partes. En la primera se demuestra la aplicación del IST mediante el análisis de las relaciones entre los activos y las competencias de la UE, los posibles mecanismos de resiliencia y los recursos e insumos externos necesarios para hacer avanzar las comunicaciones 5G. En la segunda, se discuten los hallazgos que provee el IST estimado hasta 2021 y se analizan las iniciativas y acciones de la UE en la perspectiva de mejorar su posicionamiento *vis a vis* reducir sus vulnerabilidades en el periodo posterior. En la tercera se presentan las conclusiones del uso del IST.

## 5.2 Índice de Soberanía Tecnológica de la UE sobre comunicaciones avanzadas 5G

Las comunicaciones avanzadas 5G están integradas por una constelación de actores que incluye operadores de redes móviles, los fabricantes de dispositivos conectados, los servicios y contenidos y los usuarios finales. El rasgo distintivo es que se trata de la primera generación de redes inalámbricas en la que los casos de uso han impulsado la tecnología[136]. Por lo tanto, es probable que la colaboración entre redes y sectores verticales se extienda en los años sucesivos (OECD, 2019b).

5G encarna una evolución de la arquitectura de las telecomunicaciones en la que las aplicaciones impulsan el desarrollo tecnológico (Knieps & Bauer, 2022; Parcu, 2022; Parcu *et al*., 2022; Rastogi, 2022; Parlamento Europeo, 2019; Frías y Pérez Martínez, 2017)[137].

[134] La computación en el borde permite que los datos producidos por los dispositivos de la internet de las cosas se procesen más cerca de donde se crearon en lugar de enviarlos a través de largos recorridos para que lleguen a centros de datos y nubes de computación. Ello permite a las organizaciones analizar los datos importantes casi en tiempo real, algo que es una necesidad en muchas industrias como por ejemplo la salud, las telecomunicaciones o la industria financiera.

[135] León (2024) identifica una serie de ejemplos que merece la pena mencionar. El desarrollo del vehículo autónomo requerirá acelerar el despliegue de 5G nativo con anchos de banda y latencias muy inferiores a los ofrecidos por la generación actualmente desplegada casi totalmente (4G y 4GLTE), la telecirugía en tiempo real; las aplicaciones militares y de defensa a través de la convergencia entre 5G, algoritmos de IA y el despliegue de pequeños sensores que permitirán conectar soldados, vehículos y robots autónomos (p. 59).

[136] Es esperable que nuevos casos de uso y oportunidades adicionales surjan en sectores innovadores tales como automatización de vehículos, hogar inteligente (Aazam *et al*., 2018; Knieps, 2017), agricultura inteligente, fabricación industrial, asistencia sanitaria y automatización para la logística (Knieps, 2019).

[137] En el campo de las telecomunicaciones, avanzar de 1G a 2G implicó dejar atrás los sistemas analógicos y pasar a los digitales, masificando el tamaño del mercado hasta entonces concentrado en clientes corporativos y de altos ingresos. La tercera generación -3G- transformó la infraestructura de comunicaciones para que se centrara en los datos y no en la voz. La cuarta generación -4G- ha representado el acceso móvil a mayores velocidades de Internet.

Las posiciones relativas de los países en términos de 5G tienen consecuencias para las interacciones entre las capacidades endógenas, los niveles de inversión, la elección de proveedores y el énfasis en dominios de aplicación específicos (OCDE, 2019). Dado que los ecosistemas de telecomunicaciones están cada vez más compartimentados (Gilles y Toth, 2021), las áreas de interés en este capítulo son las infraestructuras de red, los circuitos integrados y los componentes electrónicos, segmentos centrales desde un enfoque impulsado por la tecnología.

La infraestructura de red 5G de extremo a extremo incluye cuatro proveedores que suministran elementos de acceso radioeléctrico y de red básica, y los principales proveedores mundiales son Ericsson, Huawei, Nokia y Samsung. Además, empresas como Qualcomm, Broadcom, NEC, Mavenir, Cisco Systems, Fujitsu ocupan posiciones en nichos estratégicos (Observatorio 5G PPP). La tabla 5.1 presenta sintéticamente las principales características de 5G.

**Tabla 5.1** Características de la Red 5G desde la perspectiva tecnológica

| Segmento | Componentes/insumos | Descripción |
|---|---|---|
| 1: Infraestructura red básica | - Estaciones base<br>- Antenas<br>- Multiple-input,<br>- Multiple-output<br><br>- Fibra óptica | Macrocélulas (amplia zona), Microcélulas (densificación en zonas muy pobladas), Picocélulas (cobertura dentro de edificios).<br><br>MiMo: red de acceso de radio que conecta los dispositivos a una red central. permite una mayor eficiencia espectral y una mayor capacidad al desplegar más de una antena en el mismo dispositivo |
| 2: CI y componentes | Núcleo de la red | Conectividad móvil, fija y convergente unidas, mayor grado de desagregación de hardware (informática y almacenamiento), y programación de software. Infraestructura de virtualización de funciones de red (NFVI) |
| 3: Transporte y transmisión | Sistemas de soporte a las operaciones | Procesos de soporte para el mantenimiento del inventario de red, servicios de provisionamiento, configuración de los elementos de red y software para la gestión de fallas |
| 4: Sistemas de gestión | Sistema de soporte al negocio | Ejecución remota de procesos, control efectivo en tiempo real de todos los procesos comerciales, operaciones automatizadas, utiliza recursos de computación donde tiene sentido sea relevante, nivel de seguridad intrínsecamente más alto sin sacrificar el rendimiento general, fraccionamiento de la red permite que el modelo más económico ofrezca una diferenciación de servicios |
| 5: Dispositivos de usuario | Teléfonos móviles | |

Fuente: Elaboración propia

Es posible identificar cuatro áreas de competencia relacionadas con la 5G: a) ciberseguridad; b) componentes y circuitos integrados; c) plataformas digitales basadas en la 5G; y d) normas y reglamentos.

La llamada "batalla por las normas" es especialmente importante para todas las partes interesadas; para Europa, la normalización técnica podría ser una herramienta accesible que ofrece la posibilidad de equilibrar la influencia del bloque y su posición asimétrica desfavorable. En el seno de la Organización Internacional de Normalización (ISO) y del Comité Electrotécnico Internacional (CEI)[138], la UE-27 ocupa muchas más posiciones de liderazgo que cualquier otra gran potencia económica, incluidos Estados Unidos, el Reino Unido (después del Brexit) y China; esta última ha aumentado su participación en organismos intergubernamentales de normalización y presidencias en comités de normalización.

Las normas para el sector de las comunicaciones móviles son relevantes en la agenda geopolítica estratégica de China (Björk y Rühlig, 2022; von Laer *et al*., 2021; Fägersten y Rühlig, 2019), habiendo desempeñado un rol protagónico en el *3rd Generation Partnership Project* (Proyecto de Asociación de Tercera Generación o 3GPP)[139], donde Huawei, ZTE, y operadores de telecomunicaciones como China Mobile, China Unicom y China Telecom, han estado involucradas activamente en los grupos de trabajo[140].

De ahí que la relación entre la UE y China en la esfera de las normas y los protocolos no sea sólo un tema técnico sino un asunto políticamente relevante. Al respecto, la diplomacia tecnológica (en este caso denominada diplomacia digital, Consejo de la UE 2024, 2023 y

[138] El CEI desarrolla estándares para tecnologías eléctricas y electrónicas, como fibra óptica y cables, energía inteligente, IoT e IA, mientras que la ISO tiene un alcance mucho más amplio, dado que abarca el desarrollo de estándares para el comercio electrónico, la robótica, los sistemas inteligentes de transporte y la seguridad, entre otros.

[139] La asociación 3GPP ha completado las primeras tres versiones principales 15, 16 y 17 desde que comenzó a abordar el tema de los protocolos y las especificaciones técnicas específicas de esta quinta generación en 2018, incluyendo aspectos como radio, núcleo de red, acceso y servicios. En 2024 se espera que se publique la versión 18 que alude a la idea de 5G-Avanzada o 5.5G, que se caracteriza por aplicaciones que incluyen el metaverso, con realidad aumentada (XR) y gemelos digitales, Capacidad Reducida, detección y comunicación integrados (ISAC), e IoT ambiental. La nueva versión profundizará a las previas que incluyen algunas funciones IA y aprendizaje automático, evidenciando la creciente convergencia entre ambas tecnologías, facilitando la transición a la incipiente etapa de 6G. Se espera que ello no solo mejore las prestaciones, sino que favorezca soluciones proactivas basadas en IA que se anticipen a eventuales problemas. Para más detalles puede consultarse un informe de Dell'oro (2024) en https://www.delloro.com/5g-advanced-how-will-it-impact-the-ran-market/ y el informe "3GPP Technology Trends" en: https://www.5gamericas.org/3gp-technology-trends/

[140] Las empresas chinas realizan numerosas contribuciones técnicas a los estándares de 5G, incluyendo propuestas sobre aspectos clave como la red de acceso por radio (RAN), la red de núcleo (core network), y otros componentes de la infraestructura. Además, ha demostrado liderazgo en áreas como el uso de espectro de onda milimétrica, la integración de 5G con otras tecnologías (por ejemplo, inteligencia artificial y el Internet de las Cosas), y el desarrollo de aplicaciones 5G de vanguardia.

2022) entra en juego ya que este punto ha sido contemplado en la Estrategia de la UE en materia de normalización (Comisión Europea, 2022b), que apunta a reforzar el proceso de elaboración de normas como una prioridad, así como facilitar el acceso a sus resultados[141].

La producción de equipos de comunicaciones fabricados en el territorio de la UE disminuyó en más de la mitad entre 2010-2020 (DEC-EC, 2020). La mercantilización y la competencia de empresas capaces de producir a bajo coste han contribuido a la tendencia hacia una mayor externalización. Esto ha provocado un liderazgo limitado de la industria en las nuevas TIC, el progreso tardío en IA y las limitaciones relativas en circuitos avanzados (ECS-SRIA, 2023). La cuestión clave que debe revisarse aquí es el dominio de la UE en tecnologías no sólo en I+D, sino también en la fase de fabricación. Esto podría dar lugar a una estrategia para promover la integración de las regiones rezagadas de Europa en las cadenas de valor de la 5G (y la futura 6G) a medio plazo.

Por otra parte, en 2023 los países de la UE comenzaron a profundizar las restricciones de acceso a sus mercados a la líder Huawei y a ZTE en el marco de las medidas adoptadas por el bloque bajo la premisa de redes 5G seguras y resilientes frente a amenazas cibernéticas, una cuestión surgida de la presión de Estados Unidos[142]. No obstante, este proceso de lenta concreción revela la heterogeneidad de intereses entre los Estados Miembros ya que en el momento de la Comunicación de la Comisión Europea (Comisión Europea, 2023) únicamente diez estados miembros de la UE habían seguido las prohibiciones impulsadas por Estados Unidos, a pesar del alineamiento de la Comisión (León, 2024). La más reciente de estas acciones corresponde a España que publicó en mayo de 2024 el Esquema Nacional de Seguridad de redes y servicios 5G aprobado por el Consejo de ministros (Real Decreto 443/2024).

Sin embargo, la presencia de Huawei dentro de las redes de telecomunicaciones europeas es extensa por sus menores costes en comparación con Nokia y Ericsson, entre otros motivos.

[141] Según el sitio de internet del Servicio Diplomático de la UE, el 22 de julio de 2024, el Consejo de Asuntos Exteriores celebró su intercambio anual sobre la Diplomacia Digital de la UE, en el que se evaluaron los avances logrados en los últimos cuatro años, en los que las cuestiones digitales han pasado de ser puramente técnicas a tener una importancia estratégica y política clave, con repercusiones inmediatas en nuestra democracia, economía y sociedad.

[142] Ello incluye la adopción de un marco común de evaluación de riesgos para las redes 5G y la sugerencia de la Comisión a los Estados miembros para que tomen precauciones para diversificar a los proveedores de redes 5G y reducir la dependencia de proveedores de alto riesgo.

Según los datos consignados por León (2024, p. 62) "casi el 60% de las redes 5G que se han desplegado en 2022 en la UE cuentan con presencia de componentes procedentes de Huawei o ZTE, aunque con diferencias significativas entre los estados miembros" que van desde el 100% de la red de Chipre, el 79% de Rumania, el 72% de Países Bajos, el 62% de Bulgaria, el 61% de Austria, el 59% de Alemania, el 38% de España y el 17% de Francia. Modificar esta situación implicaría un volumen elevado de inversiones, así como la eventualidad de mayores retrasos en el despliegue[143].

El denominador común a la descripción de este contexto es que estas acciones le confieren base empírica al análisis del capítulo II en el cual se insinuó la tendencia a la fragmentación de estándares y tecnologías. Ahora bien, lejos de configurar un proceso lineal, las dimensiones involucradas vuelven la cuestión compleja, por lo que es prematuro conjeturar cuáles serán los alcances de muchas decisiones recientes. De forma análoga a lo que sucede en la CVM de semiconductores, se está registrando un rediseño de la cadena de provisión de 5G donde la racionalidad geopolítica pesa en las decisiones de las empresas.

Nokia está intensificando sus esfuerzos para reducir la exposición de su cadena de suministro a China en línea con la estrategia política de Estados Unidos a favor de una «red limpia» libre de proveedores y capital chinos (Nikkei Asia, 18/04/2024)[144]. La firma Qualcomm, líder en el segmento *fabless* norteamericano y particularmente en chips 5G, tiene una gran exposición al mercado chino en sus balances, donde un 63.6% de sus beneficios provienen de las ventas en ese país. El bloqueo de EE.UU a los semiconductores específicos para 5G ha causado un gran impacto en las cuentas de la compañía, con pérdidas anuales de 5.260 millones de dólares (*Investor's Business Daily*, 9/08/2023)[145].

[143] Según la agencia Reuters (29/01/2024), el grupo europeo de las telecomunicaciones ETNO (entre cuyos miembros se encuentran Deutsche Telekom, Orange, Telefónica, Telecom Italia) "volvió a instar a las grandes tecnológicas a que ayuden a pagar el despliegue de la 5G y la banda ancha al publicar datos que muestran que Europa está por detrás de Estados Unidos y Asia en redes 5G, computación en la nube, inversiones e ingresos". Disponible en línea: https://www.reuters.com/business/media-telecom/faced-with-slow-5g-rollout-eu-telcos-single-out-big-tech-again-2024-01-29/

[144] Según se informa, Nokia ha reducido los pedidos a su proveedor de toda la vida Foxconn Industrial Internet, una filial de Foxconn que no es china, pero cotiza en la Bolsa de Shanghái

[145] A esta empresa se agregan otras tales como Texas Instruments (49.2%), Broadcom (35%), Applied Materials (28%) y ON Semiconductor (27,8%) que obtuvieron una cuota importante de sus ingresos de China (incluido Hong Kong) o Macao en sus últimos resultados anuales. El análisis y sus fuentes pueden obtenerse en: https://www.investors.com/etfs-and-funds/sectors/sp500-companies-face-much-larger-problems-in-china-than-apple/

Paralelamente, la restricción de acceso ha llevado a Huawei a desarrollar su propio sistema operativo en sus teléfonos móviles denominado *HarmonyOS*, cuya versión actualizada *HarmonyOS Next* es incompatible con las aplicaciones de Android[146].

Los acontecimientos parecen revelar la existencia de un dilema entre los intereses de los gobiernos relacionado con la seguridad de las redes y los de las empresas que procuran consolidar o aumentar sus ganancias y cuotas de mercado. Sin embargo, Timmers (2020) ya partía de un interrogante: ¿por qué se ha convertido de repente la seguridad de 5G en un problema si la tecnología lleva años en desarrollo? En su respuesta afirma que los gobiernos subestimaron la importancia de la gobernanza tecnológica, ya que "*las decisiones y elecciones soberanas se delegaron de facto en los operadores de telecomunicaciones*". Como reacción, los gobiernos buscan ahora reafirmar el control sobre el desarrollo o despliegue de tecnologías clave, desde la propia 5G, IoT o la futura 6G, pero también sobre tecnologías cuánticas, la inteligencia artificial (IA), la nanotecnología o la biología sintética.

### *1.2.1. Datos y metodología del IST para 5G*

La aplicación del IST al caso de 5G ha estado basada en la recopilación de los datos correspondientes a 45 indicadores considerados (ver capitulo IV para la estructura y metodología), adoptándose como criterio la utilización de promedios que comprendieran períodos no menores a 3 años en ningún caso, siendo 5 años lo más recomendable para darle mayor robustez a los resultados. Al respecto, para el ejercicio los datos analizados en los subpilares han cubierto los periodos 2012-2020, 2013-2020, 2014-2020 y 2017-2021. La distribución es la siguiente: el 38% de los indicadores se basó en datos actualizados hasta 2021, mientras que el 51% utilizó datos hasta 2020 y el 11% hasta 2019. Se descartó la inclusión de algunos indicadores importantes (por ejemplo, el personal de I+D en el sector empresarial de las TIC para Estados Unidos), dado que esa información no estaba disponible para todos los actores analizados.

[146] Este asunto ha sido confirmado oficialmente por el propio Richard Yu Chengdong, director ejecutivo del grupo de negocios de consumo de Huawei. La firma tiene la intención de desarrollar 5.000 aplicaciones nativas Para más detalles ver: https://www.xatakandroid.com/sistema-operativo/huawei-rompe-android-china-harmonyos-next-no-sera-compatible-apps-apk

El pilar de Activos y Competencias se calculó para la UE en 5G hasta 2021 como la media simple de los cuatro indicadores compuestos, de la siguiente manera: A&C5G, EU, 2021 = f (HC, S&T, DIC, EffR&D) - indicadores y fuentes en la Tabla 5.2 y definiciones completas en el apéndice 5.1. Teniendo en cuenta la accesibilidad y disponibilidad de tecnologías específicas, algunos criterios se definen para incluir medidas más complejas o indirectas en función de la información relevante que proporcionan. Debido a la relevancia de la regulación en el sector de las comunicaciones, el conocimiento de las contribuciones a las normas, las patentes y las publicaciones son medidas complementarias de la cartera tecnológica de un agente (Buggenhagen y Blind, 2022).

**Tabla 5.2** Indicadores compuestos Activos y competencias

| Subpilar | Indicador individual | Fuente |
|---|---|---|
| **Capital Humano** | Especialistas empleados en el sector de las TIC (Promedio 2012-2019) | 2021 PREDICT Dataset, DESI Report |
| | Especialistas técnicos empleados en industrias de fabricación de TIC (1000 personas empleadas) (media 2012-2019) | |
| | Especialistas técnicos empleados en industrias de servicios de TIC (1000 personas empleadas) (media 2012-2019) | |
| | Equivalente a tiempo completo de investigadores de I+D en el sector manufacturero de las TIC (promedio 2012-2020) | |
| | Equivalente a tiempo completo de investigadores de I+D en el sector servicios de las TIC (promedio 2012-2020) | |
| **Esfuerzo C&T** | GERD en porcentaje del PIB (Promedio 2014-2020) | Banco Mundial, OCDE |
| | Porcentaje del GERD financiado por el gobierno (Promedio 2014-2020) | |
| | BERD sector TIC/Total BERD (Promedio 2013-2020) | 2021 PREDICT Dataset, DESI Report |
| | Prom. Inversión en I+D empresas líderes 5G/BERD TIC (industrias manufactureras + industrias de servicios) (2013-2020) | EU Industrial R&D Scoreboard |
| | BERD Industrias manufactureras de TIC/BERD Sector TIC (Promedio 2013-2020) | 2021 PREDICT Dataset EU Industrial R&D Scoreboard |
| | BERD industrias de servicios TIC/BERD sector TIC (Promedio 2013-2020) | |
| | Porcentaje de la inversión en I+D en 5G sobre el total de la inversión en I+D en los sectores S&CS, TH&E, E&EE en las 2500 empresas más importantes del mundo (Promedio 2017-2021) | EU Industrial R&D Scoreboard |
| | Publicaciones científicas 5G atribuidas a un país sobre el número total de publicaciones científicas 5G (2010-2020) | Elsevier's Scopus® database, Web of Science (WoS) |
| | Principales organizaciones que publican 5G (agregados totales por país) | Elsevier's Scopus® database, Web of Science (WoS) |

| | | |
|---|---|---|
| | Publicaciones científicas 5G del país/Publicaciones científicas totales 5G (2010-2020) | 5G PPP, 5GIA, RTO websites, Networld2020, Elsevier's Scopus® database |
| **Capacidades domésticas de innovación** | Organización de investigación tecnológica relacionada con la 5G perteneciente a una parte interesada del total de organizaciones relacionadas con la 5G de las tres partes interesadas analizadas. | QS Ranking, Elsevier's Scopus® database, Web of Science (WoS), Buggenhagen and Blind (2022) |
| | Número medio de universidades en campos STEM entre las 20 primeras | |
| | Porcentaje de universidades (relacionadas con carreras STEM afines) clasificadas entre las 250 principales que ofrecen titulaciones de grado y posgrado en disciplinas relacionadas (ingeniería, Telecomunicaciones, informática) que tienen al menos una publicación relacionada con 5G entre 2012 y 2021. | |
| | I+D local + Prod/Total instalaciones (empresas líderes) (i) | EU 5G Observatory; Annual reports companies |
| | Porcentaje de empresas relacionadas con la 5G sobre el total de empresas de los sectores S&CS, TH&E, E&EE dentro de las 2500 principales empresas del mundo (Media 2017-2020) | |
| **Capitalización efectiva I+D** | Cuota de mercado de las tecnologías críticas asociadas (Chips y otros componentes electrónicos (2020) | COREnect, DECISION Etudes & Conseil, Networld Europe |
| | Familias de patentes 5G | Buggenhagen and Blind (2022) and Pohlmann and Buggenhagen (2021) |
| | Ventajas tecnológicas reveladas | OECD Science, Technology and Industry and Industry Outlook, Alvarez and Martin (2020) |
| | Porcentaje de contribuciones técnicas 3GPP aprobadas para 5G | Buggenhagen and Blind (2022) |
| | 5G contribuciones ponderadas aceptadas | |
| | Promedio exportaciones componentes y subsistemas electrónicos (2017-2021) /exportaciones totales medias (2017-2021) | UN Comtrade, Raw Material Information System (RMIS), EU Directorate-General for Trade |
| | Exportaciones medias de materias primas críticas utilizadas en electrónica (2017-2021) /exportaciones medias totales (2017-2021) | |
| | Exportaciones medias de productos químicos utilizados en electrónica/exportaciones medias totales (2017-2021) | |
| Fuente: Elaboración propia | | |

Como las empresas 5G pueden pertenecer a industrias categorizadas en sectores ajenos a la fabricación y los servicios TIC (por ejemplo, la producción de software), se incluyeron dos indicadores individuales para minimizar los posibles errores de medición. En primer lugar, se desglosan los datos sobre gastos de personal e I+D, incluyendo aspectos relacionados con el capital humano en las actividades de telecomunicaciones e informática (software). En segundo lugar, se consideró el número promedio de empresas (2017-2021) entre las 2.500

primeras del mundo en los sectores de Hardware y equipamiento tecnológico, Software y servicios informáticos, y Equipamiento electrónico y eléctrico. Tras la selección de empresas en estos tres sectores, se llevó a cabo una búsqueda individual para identificar la existencia de vínculos con la tecnología 5G, reteniendo únicamente aquellas empresas efectivamente relacionadas con el 5G dentro de su cartera (por ejemplo, a través del desarrollo o la producción de componentes electrónicos). Este análisis permitió obtener un conocimiento más detallado de la base manufacturera.

Entre las limitaciones, cabe mencionar que el universo considerado se limita a las 2.500 primeras empresas mundiales del Cuadro de Indicadores de I+D Industrial de la UE[147], lo que deja fuera a un número muy elevado de empresas; además, sólo se incluyeron aquellas empresas para las que se pudo establecer una relación con 5G a través de su página web. Esta medida, aunque imperfecta (debido a la exclusión de muchas PYME y start-ups), revela la existencia (o no) de una base industrial directa y/o indirectamente relacionada con la tecnología analizada. Este proceso requirió un análisis bastante detallado de todas las empresas para decidir su selección, especialmente de aquellas empresas con vínculos menos evidentes con la 5G. Dicho de otra manera, distinguiendo entre empresas generadoras de tecnologías (5G) y empresas usuarias de la tecnología. En el caso de la UE, se ha utilizado una base de datos complementaria compuesta por 1.000 empresas inversoras para estimar el índice de resiliencia productiva, ya que incluye empresas cuyo volumen de inversión es menor (y quedan fuera de la lista global)[148].

Los indicadores compuestos para el pilar de Condicionantes se han calculado de forma similar como la media simple de dos indicadores compuestos: Cond 5G, EU, 2021 = f (ExtRes, OsPr) - véase la tabla 5.3. El valor monetario de los CRM y no CRM relacionados con la electrónica ha sido considerado. Si se importa una materia prima pero la transformación se realiza en Europa, se analizó el impacto en la tecnología, si es sustituible o no, y el grado de concentración de proveedores. Además, se ponderó el valor de la

[147]La última versión puede consultarse en: https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1e5c204f-9da6-11ee-b164-01aa75ed71a1/language-en. La Unión Europea posee 367 empresas (un 15%) de las 2.500 empresas principales inversoras en I+D a nivel mundial.

[148] Según el reporte de 2023, las empresas con sede en la UE constituyeron el 17,5% del total de I+D, y Alemania, Francia y los Países Bajos acogieron a la mayoría de los grandes inversores en I+D de la UE. El Brexit modificó la muestra de la UE 1 000, ya que las plazas dejadas vacantes por empresas británicas fueron ocupadas en su mayoría por empresas de Alemania, Suecia y Francia. https://iri.jrc.ec.europa.eu/scoreboard/2023-eu-industrial-rd-investment-scoreboard

importación de componentes/subsistemas para su integración en la fabricación final. Alrededor del 75,5% de los socios comerciales de la UE en productos de alta tecnología relacionados con las telecomunicaciones y/o la electrónica de comunicaciones se concentran en nueve países (Estados Unidos, China, Corea del Sur, Japón, Malasia, Singapur, Vietnam, Taiwán y Tailandia). Además, se incluyó la media de las importaciones de un conjunto de insumos químicos que se utilizan en la producción de componentes.

**Tabla 5.3** Definiciones de los indicadores compuestos para Condicionantes

| Subpilar | Indicador individual | Descripción | Fuente |
|---|---|---|---|
| **Recursos externos** | Importaciones medias de materias primas críticas utilizadas en electrónica/Importaciones medias totales (2017-2021) | Media de las importaciones de la lista CRM 2020 de la UE (silicio, wolframio, antimonio, bismuto, cobalto, fluorita, magnesio y elementos ligeros de tierras raras - LREEs-) sobre la media de las importaciones totales de 2017 a 2021. | UN Comtrade, Raw Material Information System (RMIS), EU DG for Trade |
| | Importaciones medias de productos químicos utilizados en electrónica/Importaciones medias totales (2017-2021) | Media de las importaciones de productos químicos utilizados en electrónica (producción de obleas de silicio - cloruro de hidrógeno, cloruro de amonio, amoníaco, productos de transformación utilizados en diferentes etapas del procesamiento de semiconductores - ácido sulfúrico, alcohol isopropílico, hidróxido de amonio, ácido nítrico, ácido fosfórico) sobre la media de las importaciones totales de 2017 a 2021. | UN Comtrade, EU DG for Trade |
| | Balanza comercial media Materias primas NO críticas utilizadas en electrónica/Balanza comercial media productos totales (2017-2021) | Balanza comercial media de materias primas no críticas utilizadas en electrónica (Cobre, Níquel, Cromo, Plata, Estaño) /Balanza comercial media total productos (2017-2021) | UN Comtrade, Raw Material Information System (RMIS), EU DG for Trade |
| **Procesos externalizados** | Importaciones medias de componentes y subsistemas/Importaciones medias totales (2017-2021) | Importaciones medias de componentes y subsistemas de electrónica de comunicaciones relacionados con los segmentos: Antena 5G (AAU/RRH/células pequeñas), bandas base 5G y equipos centrales 5G sobre la media de las importaciones totales de 2017 a 2021 | UN Comtrade. EU DG for Trade |
| | Balanza tecnológica de pagos | Resultado de las exportaciones menos las importaciones. Se considera una medida parcial de los flujos internacionales de tecnología | |
| Fuente: elaboración propia | | | |

El primer indicador compuesto condicionante (ExtRes) se centra en las materias primas procedentes del exterior. Para llevar a cabo ciertos aspectos de este cálculo, se recurre al Análisis de Flujos de Materiales (AFM), que es una herramienta muy adecuada para recopilar información basada en el carácter transversal de muchos materiales (Eurostat, 2013). A continuación, los procesos externalizados (OsPr) reflejan el alcance de los insumos intermedios y/o componentes que proceden de agentes situados fuera del territorio de la UE, así como los procesos de producción desarrollados en otras zonas geográficas, asumiéndose que las instalaciones de I+D y producción dentro del territorio de un agente (por ejemplo, entre el total de instalaciones de una empresa) es un predictor razonable de las capacidades nacionales.

Por último, para el pilar de Impulsores de la Soberanía Tecnológica, la composición se basa en los indicadores de resiliencia y/o robustez tecnológica. Éste adopta la forma STDrvs5G, EU, 2021 = f (Tec_res-rob) y se centra en las capacidades latentes (en términos de capital humano y potencial productivo) al tiempo que mide la dependencia de materias primas críticas que no pueden sustituirse a corto o medio plazo; el mismo razonamiento se aplica a la resiliencia logística. Suponemos que cuanto más larga sea la ruta de suministro, más expuesta estará a diversas perturbaciones (bloqueos por accidentes, piratería, conflictos geopolíticos, costes de transporte).

Los cuatro índices o impulsores siguientes representarían el nivel de resiliencia:

1) La Tasa de Resiliencia del Capital Humano adopta una de las métricas del Índice Europeo de Competencias, así como el indicador "Vacantes difíciles de cubrir" elaborado por Eurostat. En cuanto a las personas formadas en carreras STEM, se seleccionaron únicamente aquellas que incluyen competencias portátiles/transferibles según las tecnologías analizadas (Electrónica y automatización, Ingeniería y oficios de ingeniería, Desarrollo y análisis de software y aplicaciones, Diseño y administración de bases de datos y redes, Matemáticas y Estadística). El criterio es que su base de conocimientos pueda orientarse mediante formación específica en un periodo limitado hacia las competencias solicitadas.

2) La Tasa de Dependencia de Materias Primas Críticas (*CRM-Dependency Rate*) se evalúa mediante dos parámetros: La Dependencia de las Importaciones, medida como IR = (Importación - Exportación) / (Producción nacional + Importación - Exportación) (CE, 2020b); y la Tasa de Insumos Reciclados al Final de su Vida Útil (EoL-RIR), descrita como el porcentaje de la demanda total satisfecha con materias primas secundarias. El valor de la Tasa de Dependencia de CRM será el más alto cuando la necesidad de importar sea del 100% y la posibilidad de sustitución a corto y medio plazo sea nula. La posibilidad o ausencia de sustitución de materias primas críticas es una cuestión básica para evaluar los mecanismos de resiliencia.

3) El índice de resiliencia productiva es una métrica para identificar proveedores nacionales alternativos de componentes y/o subsistemas que no estén vinculados a las empresas líderes. También se tienen en cuenta los centros de I+D, así como las empresas con capacidades compatibles (por ejemplo, PYME y *start-ups*) que aumentan la solidez de la cadena de valor local.

4) El Índice de Resiliencia Logística aborda los efectos de las cadenas de suministro más cortas (geográficamente cercanas), frente a las cadenas más largas con componentes procedentes de todo el mundo, pero en función del nivel de exposición de las rutas y medios de transporte. Los riesgos inherentes a ciertas dinámicas regionales en el sudeste asiático no son las mismas que en otras regiones. Los mayores riesgos a la hora de garantizar la accesibilidad y disponibilidad de insumos también están asociados a la pertenencia a alianzas geopolíticas.

### *1.2.2. IST para comunicaciones móviles avanzadas 5G*

El IST calculado para la UE aplicado a la tecnología 5G avanzada hasta 2021 es una función de los activos y competencias de la UE, sus condicionantes (limitaciones) y sus impulsores de soberanía tecnológica. El modelo define los factores que tienen más probabilidades de influir en el nivel de soberanía. La magnitud del efecto estará mediada por la existencia (o ausencia) de mecanismos de resiliencia y/o robustez tecnológica y por la capacidad potencial de apalancamiento de dichos mecanismos. Se expresa formalmente del siguiente modo:

$$IST_{5G,\ EU,\ 2021} = f\ (A\&C,\ Cond,\ STDrvs)$$

donde A&C significa Activos y Competencias, Cond son los Condicionantes y STDrvs representa los Impulsores de la Soberanía Tecnológica. El IST se expresa en una escala de 0 a 100, donde 0 implica el nivel más alto de no soberanía y 100 la soberanía total. El primer paso consistió en calcular los pilares que componen el índice. Una vez obtenidos los valores de los pilares, el índice se estimó como la suma ponderada de los tres pilares. El peso (w) asignado a cada uno de los tres pilares del IST es de 1/3. Aunque existen opciones metodológicas distintas, aquí se ha optado por asignar la misma importancia a las tres dimensiones o pilares. Hacer uso de técnicas de ponderación más sofisticadas para una obtención de pesos disímiles, implicaría conceder una importancia mayor o menor a cada uno de los pilares. De acuerdo con la aproximación conceptual de la tesis, los Activos y Competencias, los Condicionantes y los Impulsores son igualmente relevantes a la hora de aproximar cuantitativamente la Soberanía Tecnológica; distinto es que, en materia de acción de políticas, podría concedérsele un peso diferenciado según sean las fortalezas o debilidades relativas sobre las que se quiere actuar.

Seguidamente se sustituyeron los términos del modelo por las puntuaciones obtenidas para calcular el valor final mediante la fórmula:

$$IST_{5G,\ EU,\ 2021} = (\omega 1 * A\&C + \omega 2 * STDrvs) + \omega 3 * (1/Cond)$$

Los resultados revelan que el nivel de soberanía tecnológica de la UE en relación con los segmentos tecnológicos de "infraestructura de redes" y "red básica" de las comunicaciones móviles avanzadas 5G se situaba en 2021en un valor "medio" (19,84 puntos). Este resultado es consecuencia de un conjunto específico (aunque no exclusivo) de dependencias derivadas de una notable escasez de capital humano específicamente vinculado a la industria manufacturera de las TIC y las telecomunicaciones. Además, la electrónica de comunicaciones (componentes y subsistemas) suele subcontratar procesos de producción clave que se abastecen o realizan a través de un conjunto de proveedores generalmente ubicados en Asia. Por lo tanto, la UE estaba objetivamente expuesta a dificultades de suministro, pero también a vulnerabilidades relacionadas con la ciberseguridad. Como afirman Teubner *et al*. (2021), el refuerzo de los impulsores identificados de la soberanía

tecnológica mediante la integración activa de consorcios europeos podría contrarrestar muchas de las carencias estratégicas.

La Tabla 5.4 refleja las puntuaciones de los subpilares de la UE, China y Estados Unidos, los valores ponderados de los pilares y el valor total del IST. Las capacidades agregadas de la UE (27 Estados miembros) en los segmentos tecnológicos básicos en comparación con los demás muestran puntos fuertes en términos de esfuerzo científico y tecnológico, así como en redes institucionales (organizaciones de investigación y tecnología y universidades).

**Tabla 5.4** Resultados del Índice de Soberanía Tecnológica 5G

| Promedio puntaje Sub-pilar | Unión Europea | China | EE.UU. |
|---|---|---|---|
| Capital Humano | 14,86 | 80 | 40,26 |
| Esfuerzo C&T | 63,2 | 45,39 | 42,27 |
| Capacidades domesticas | 41,79 | 74,49 | 42,67 |
| Capitalizacion efectiva I+D | 7,97 | 75,83 | 69,83 |
| Recursos externos | 23,52 | 66,67 | 43,59 |
| Procesos externalizados | 64,03 | 100 | 94,61 |
| Resiliencia tecnológica | 28 | 42,5 | 35 |
| Promedio puntaje Pilar | Unión Europea | China | EE.UU. |
| A&C | 31,91 | 68,93 | 48,76 |
| Cond | 43,78 | 83,33 | 69,1 |
| Tec_res | 28 | 42,5 | 35 |
| Valor del pilar ponderado | Unión Europea | China | EE.UU. |
| A&C*0,33 | 10,53 | 14,45 | 9,24 |
| Cond*0,33 | 22,75 | 27,5 | 14,03 |
| Tec_res*0,33 | 16,09 | 22,8 | 11,55 |
| IST X 5G 2021 = (A&C*0,33 + Tes_res*0,33) + (Cond*0,33) /1 | | | |
| IST CN | 36,81 | | |
| IST US | 27,68 | | |
| IST EU | 19,84 | | |
| Fuente: Elaboración propia | | | |

Se detectaron capacidades para desarrollar tecnologías alternativas compatibles con 5G en el marco del sector de la electrónica, pero también se revelaron notables vulnerabilidades (el mencionado déficit de capital humano, limitada capitalización efectiva del esfuerzo realizado y un ecosistema electrónico innovador que se ha ido reduciendo en los últimos años, relacionado con los grandes volúmenes de importaciones y las funciones de producción externalizadas a otras regiones) que pueden exponer a la UE a graves riesgos (véase la Tabla 5.5 en la sección 5.3.1). También se desarrolló un análisis de sensibilidad para comprobar la solidez del IST en el caso de 5G tal como fue descrito en el capítulo IV.

## 5.3 Discusión

Esta sección se divide en dos apartados. En el primero, se discute la "fotografía" en función del IST calculado hasta 2021. En el segundo, se realiza un breve recorrido que indaga en las acciones de la UE en la perspectiva de analizar si desde entonces ha avanzado o retrocedido respecto a la posición que ostentaba entonces.

### *5.3.1 ¿Qué dice la "fotografía" que provee el IST?*

El primer pilar, Activos y Competencias, muestra un desequilibrio entre el capital humano (claramente insuficiente) y el resto de los indicadores, cuyos valores representan un nivel de soberanía medio-alto. En cuanto al capital humano especializado, el 88,6% del número total de especialistas en TIC en la UE pertenecía de media a la industria de servicios TIC durante 2012-2020. Por tanto, puede deducirse que la situación en 5G era aún más débil en términos reales, lo que es coherente con una tasa de resiliencia del capital humano nula o incluso negativa.

Considerando el peso medio de los especialistas en TIC en relación con la población total de los países, la UE se situaba en segunda posición con un 1,13% en 2019, mientras que para Estados Unidos es del 1,31% y para China del 1,11%. Se observa que solo el 11,4% de estos especialistas trabajaban en industrias manufactureras de TIC en el caso de la UE, frente al 38% en China y el 15% en Estados Unidos, mientras que el resto probablemente lo hacían en industrias de servicios. Del mismo modo, mientras que el personal equivalente a tiempo completo y los investigadores aportaban el 2,23% de las personas vinculadas al sector en la UE, en China esa cifra es del 4,34%. El factor población desempeña un papel importante, y dado que China duplica la suma de los otros dos en términos absolutos, el análisis de los datos en términos relativos ofrece claramente perspectivas interesantes.

Por un lado, la UE está formada por 27 Estados miembros, lo que supone un peso individual aún menor, agravado por la distribución no homogénea del capital humano en todo el bloque (si bien la menor cantidad podría verse compensada por la calidad). En este sentido, la composición del capital humano europeo en términos de cualificación y especialización es, a la vez, un reto y una alternativa para reducir la brecha. A pesar de que las posiciones de liderazgo de Estados Unidos y China son indiscutibles, es razonable asumir que un bloque

menos fragmentado mejoraría las condiciones de competencia y, en consecuencia, el posicionamiento de la UE (Parcu *et al*., 2022).

El esfuerzo en ciencia y tecnología registraba un aumento constante pero positivo en las métricas individuales que acompañan a los avances de la tecnología 5G. De acuerdo con el informe especial titulado "*Despliegue de la 5G en la UE: retrasos en el despliegue de las redes y problemas de seguridad sin resolver*" elaborado por la Corte Europea de Auditores (ECA, 2022), durante el período 2014-2020, la UE apoyó el desarrollo de la 5G con más de 4.000 millones de euros, tanto directamente del presupuesto de la UE como a través de la financiación del Banco Europeo de Inversiones (BEI). En el primer caso, el presupuesto financió proyectos relacionados con la investigación, el desarrollo de la tecnología y aplicaciones, mientras que, en el segundo, el Banco apoyó tanto la investigación como el despliegue. Esta financiación de la UE para la 5G se distribuyó del siguiente modo: Banco Europeo de Inversiones (BEI) 2.485 millones de euros para nueve proyectos en cinco Estados miembros, el Fondo Europeo para Inversiones Estratégicas (EFSI en inglés) invirtió 1.000 millones de euros, el Programa Marco Horizonte 2020 dedicó 755 millones de euros, y el FEDER aproximadamente 147 millones de euros (p. 12).

En relación con las patentes y las normas, se observan algunas variaciones según la metodología seguida por las fuentes de datos. Igualmente, los análisis coinciden en el posicionamiento a la cabeza de Nokia y Ericsson (Pohlmann *et al*., 2020). De hecho, existe una elevada concentración de productos tecnológicos en el sector, ya que para 2021 solo seis empresas (Huawei, Samsung, LG, Nokia, Ericsson, Qualcomm) acumulaban el 72,5% de las patentes clasificadas como patentes esenciales para las normas declaradas y concedidas por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) (Bekkers *et al*., 2020)[149].

La evaluación específica de las capacidades nacionales es una tarea compleja porque una mera lista de miembros en una organización relacionada con la 5G no revela por sí misma la propiedad de las tecnologías, o si son accesibles y/o están disponibles para su divulgación.

[149] Según el reporte de la consultora GreyB, de las 7.950 familias de SEP principales identificadas, el 60,6% están en manos de las 6 primeras empresas (Huawei, ZTE, Samsung, Qualcomm, Ericsson y Nokia).

Ha sido necesario emparejar empresas con tecnologías para identificar las competencias que faltan, especialmente las consideradas críticas.

En particular, la presencia mundial de Nokia y Ericsson puede analizarse en función del desarrollo de conocimientos y tecnologías que se lleva a cabo en sus centros de I+D e innovación, cuyas instalaciones se encuentran en Finlandia y Suecia, pero también en Estados Unidos, China e India[150]. Si bien la presencia de actividades de I+D en diversos lugares permite interactuar con nuevas y diversas fuentes de conocimiento, el actual contexto incrementa los riesgos potenciales provocados por la imposición de restricciones al acceso o a la movilidad en algunos países que no se explican por factores económicos, legales o de oferta, sino por razonamientos geopolíticos.

Mientras tanto, estas dos empresas líderes comparten una estrategia común de externalización en relación con la contratación de un Servicio de Fabricación Electrónica (EMS) para obtener materiales, componentes, capacidad de producción y otros servicios vitales en condiciones competitivas. Probablemente uno de los aspectos más críticos se refiere al desarrollo y suministro de componentes clave para el hardware. A este respecto, Ericsson y Nokia subcontratan la producción de módulos y subconjuntos electrónicos en su mayor parte a empresas de servicios de fabricación y proveedores que suelen estar ubicados en otras regiones.

El segundo pilar revela la interdependencia de la cadena de valor tanto en términos de fabricación como de diseño, lo que significa que las empresas europeas son incapaces de ofrecer soluciones de extremo a extremo con su propia tecnología. De hecho, la electrónica y las telecomunicaciones fueron los sectores con mayor volumen de importaciones en el periodo 2011-2021 (1.200 millones de euros, según Eurostat). Siguiendo el informe de Nokia (2021), se deduce que esta empresa fabrica alrededor del 57,5% de sus productos en regiones fuera de Europa. Como ya se ha mencionado, cuando las instalaciones en otros países pueden estar ostensiblemente bajo el control de otros gobiernos, esto puede considerarse una debilidad relativa. A falta de datos similares de Ericsson o Huawei, no se han incluido otros

[150] Este dato es consistente con la ubicación de los inventores de muchas se las patentes de ambas firmas. Estas dos empresas forman parte de la muestra analizada en el capítulo VII

indicadores; sin embargo, es posible estimar que Ericsson también fabrica alrededor del 60% fuera de la región europea. Esto afecta directamente a ambos líderes (Nokia y Ericsson), ya que sólo alrededor del 3,5%-5,0% de la producción mundial de componentes y hardware en la industria de las telecomunicaciones tiene lugar dentro de la UE.

Un factor importante para tener en cuenta es que los principales proveedores de componentes y hardware se encuentran en la región Asia-Pacífico, donde las fricciones actuales podrían intensificarse en los próximos años. Aunque los líderes europeos diseñan internamente su microelectrónica avanzada, en Europa no hay ningún fabricante de semiconductores que suministre componentes acordes con las tendencias actuales (COREnect, 2020). La diferencia entre las cuotas de mercado combinadas de soluciones de extremo a extremo para 5G (30,4% en 2020) y la producción mundial de componentes y hardware en la industria de las telecomunicaciones de la UE (3,5%-5,0%) revela el alcance de la externalización de bienes intermedios a terceros. La Unión (CE, 2020b) también ha definido los retos estratégicos asociados a la dependencia de las partes interesadas de las CRM vinculadas a varios ecosistemas industriales. Sólo se han considerado para el análisis las materias primas clasificadas como "críticas" en la lista CRM 2020 y utilizadas en equipos electrónicos y de comunicaciones. Esta decisión excluye otras importaciones que no entran en esta categoría, como el cobre y el níquel, que actualmente han comenzado a revalorizarse por la instalación de nuevos centros de datos (McKinsey, 2024).

El tercer pilar, Impulsores de la Soberanía Tecnológica, se refiere a cuatro tasas distintas. La tasa de resiliencia del capital humano de la UE es extremadamente baja (6,3 %) y está en consonancia con los diagnósticos que han motivado iniciativas como la *Digital Skills and Jobs Coalition* y la *EU STEM Coalition*. El capital humano empleado en industrias TIC y en telecomunicaciones disminuyó un 7,86% entre 2012 y 2019. Si bien es difícil identificar el peso de estos profesionales en términos de vinculación con la 5G, el valor sería aún menor si restringimos nuestros criterios de estimación, ya que asumimos que el 80% de los perfiles de graduados que denominamos "STEM core" pueden considerarse capital humano potencial

(en lugar del 30%-40%, que parece más acertado)[151]. La Tabla 5.5 recopila descripciones de las principales dependencias identificadas en el análisis.

**Tabla 5.5** Principales dependencias identificadas

| Pilar | Sub-pilar | Dependencias identificadas |
|---|---|---|
| Activos & Competencias | **Capital Humano** | El capital especializado en las industrias de fabricación de TIC y en las industrias de servicios de TIC (software como producto y telecomunicaciones) representa un bajo porcentaje del número total de especialistas en TIC en 2021. En 5G la situación es mas grave ya que un porcentaje todavía menor se dedica a ella. |
| | **Esfuerzo C&T** | Entre 2012 y 2020, el capital humano especializado en las industrias manufactureras de TIC registró una tendencia a la baja. En cambio, los especialistas de las industrias de servicios de TIC registraron un aumento moderado pero positivo. Actores de la UE (empresas, universidades, OTRI) han participado del desarrollo de 5G. |
| | **Capacidades domésticas** | Las capacidades de I+D son sólidas en las OTRI, las universidades, las empresas líderes, así como en muchas PYME de base tecnológica. La deslocalización de los procesos de producción es un reto importante porque las empresas de la UE no ofrecen soluciones tecnológicas extremo-extremo propias. |
| Condicionantes | **Procesos externalizados** | La dependencia más crítica se refiere a la fabricación de circuitos integrados y componentes críticos procedentes principalmente de Estados Unidos (diseño) y Asia (fabricación). Su criticidad radica en que son el núcleo de las redes 5G, pero también tienen implicaciones para otras tecnologías relacionadas. La industria microelectrónica europea sólo representa el 5% del mercado de producción de telecomunicaciones, que asciende a 408.000 millones de dólares. |
| | | Nokia y Ericsson subcontratan la fabricación de sus productos a socios y proveedores de servicios de fabricación electrónica. Esto abarca toda la cartera (tecnologías maduras), aunque en relación con las tecnologías más recientes puede haber algunas excepciones. Según los informes anuales de ambas empresas, la decisión estratégica de subcontratar es una dinámica que las expone a una amplia gama de riesgos. |
| Impulsores de ST (STDrv) | **Resiliencia tecnológica** | La UE_27 apenas dispone de más de la mitad del Capital Humano que necesitaría para cubrir sus necesidades (Índice Europeo de Competencias -Cedefop). La resiliencia en términos de tasa de dependencia de materias primas críticas no es una cuestión especialmente significativa con respecto a la 5G. Los riesgos potenciales se derivan de la eventual falta de acceso o disponibilidad de insumos asociados a la electrónica. La tasa de resistencia de la producción revela la magnitud de los esfuerzos de fabricación dispersos que podrían reforzar las capacidades europeas en comunicaciones avanzadas. La concentración de las capacidades tecnológicas en unos pocos países de la UE y la externalización de los procesos de producción refuerzan las lagunas dentro de las cadenas de valor europeas. Tasa de resistencia logística: Principales proveedores situados en la región Asia-Pacífico, caracterizada por tensiones latentes y múltiples conflictos. |
| Fuente: Elaboración propia | | |

[151] Doctorado, Máster, Licenciatura en TIC, Electrónica y automatización, Ingeniería y oficios de ingeniería, Desarrollo y análisis de software y aplicaciones, Diseño y administración de bases de datos y redes, Matemáticas y Estadística. El número total de titulados en estos campos en el periodo 2015-2018 fue de 2.332.355.

Los requisitos de materias primas críticas no son un problema especialmente significativo con respecto a la 5G, aunque sí para la industria de semiconductores, estrechamente vinculada (ver capítulo VI). Por eso los riesgos potenciales se derivan de la eventual falta de acceso o disponibilidad de insumos asociados a la electrónica.

En cuanto a la resiliencia productiva, existe un conjunto de empresas EMS que no forman parte del ecosistema 5G europeo o que tienen escasos vínculos con las empresas líderes (Nokia y Ericsson), a pesar de que sus carteras de soluciones tecnológicas y servicios satisfacen muchas de las necesidades de la industria de las telecomunicaciones. Una incorporación más coherente de estos esfuerzos productivos dispersos podría reforzar las capacidades europeas de comunicaciones avanzadas de cara al despliegue en curso, concretamente hacia la 6G.

La tasa de Resiliencia Logística de la UE es baja, claramente afectada por las largas distancias y, sobre todo, por la inestabilidad de las rutas a los principales proveedores de hardware y componentes electrónicos centrados en la región Asia-Pacífico. Singapur es el más lejano, Corea del Sur el más cercano, y la distancia media es de 8900 km. Esa región está atravesada por tensiones que en el futuro pueden escalar porque el riesgo potencial es alto, como ya se ha mencionado. En términos de "proximidad geopolítica", de los ocho principales socios comerciales que representan el 75% de las importaciones europeas de alta tecnología, cinco (EE.UU., Japón, Corea, Singapur y Taiwán) pueden considerarse más cercanos o vinculados por alianzas comerciales y/o políticas. La importancia de estos cinco socios comerciales es directamente proporcional a las complejas tensiones geopolíticas en las que están implicados.

Un informe de Kearney (2020) sugiere la existencia de una paradoja derivada de la divergencia entre los objetivos y las necesidades de las partes interesadas, señalando un desajuste entre la oferta de perfiles TIC, los empleos demandados en las industrias de alta tecnología (incluidas las comunicaciones móviles avanzadas 5G) y las dificultades indicadas por las empresas para cubrir puestos. Por ejemplo, las estrategias de externalización tanto de Nokia como de Ericsson consisten en penetrar en diversos mercados y estar cerca de los clientes, pero también en obtener componentes y funciones de fabricación a costes competitivos. Mientras que en términos de sus modelos empresariales esto puede ser

coherente para ambas empresas, el proceso ha tenido el efecto secundario de reducir las competencias locales.

En resumen, aunque la UE puede ser competitiva en sectores verticales que aplican 5G a sus productos y en la prestación global de servicios avanzados sin tecnología propia, es razonable cuestionarse el alcance y las limitaciones probables de esta situación durante la próxima década. Si se excluyen los mecanismos de resiliencia de las estimaciones, la situación en 2021 hubiese sido aún peor. La cuestión es que, a medida que la base industrial europea se convierta en un componente activo en el suministro de subsistemas e insumos críticos asociados a la tecnología, los niveles de riesgo se reducirán. Esta afirmación, por cierto, no se limita a este sistema tecnológico, sino que esa disminución del grado de exposición impactaría en otros ámbitos como IoT e incluso la IA, entre otros.

*5.3.2 ¿Qué ocurrió desde entonces?*

En lo que sigue se realiza un recorrido breve por las acciones e iniciativas de la UE posteriores a 2021, incluyendo los hallazgos que organismos del bloque o de partes interesadas en 5G han publicado en sus últimos informes. Ello permitirá analizar hasta qué punto las vulnerabilidades identificadas en los apartados anteriores han sido abordadas.

Los esfuerzos en investigación e innovación en 5G y otras tecnologías relacionadas, bajo el paraguas del Programa para el periodo 2021-2027 *Horizonte Europa*, cuyo presupuesto total es de aproximadamente 95.500 millones de euros, forman parte de las prioridades. Ello se vincula a la digitalización y la transformación digital donde los proyectos apuntan a fortalecer la competitividad y la ST, fomentar la cooperación internacional, y acelerar la adopción de 5G en diferentes sectores. Aunque el programa no especifica un presupuesto dedicado exclusivamente a 5G, los fondos asignados se integran en sus diferentes clústeres y líneas de investigación, tales como:

- Clúster 4: Digital, Industria y Espacio: Dentro de este clúster, se financian proyectos de investigación e innovación relacionados con 5G y tecnologías digitales, incluida la IA, IoT y la ciberseguridad. Los fondos se destinan a proyectos que promueven la transformación digital en sectores clave, como la salud, la energía, la movilidad, la agricultura, y la industria.

- Misión sobre Ciudades Inteligentes y Climáticamente Neutrales: Esta misión apoya proyectos que utilicen 5G y otras tecnologías emergentes para desarrollar soluciones de ciudades inteligentes y sostenibles.
- Proyectos Horizontales: financia proyectos que promueven la integración de 5G con otras tecnologías, como IA y tecnologías cuánticas, para impulsar la innovación y mejorar la calidad de vida.

Asimismo, el Consejo Europeo de Innovación (EIC en inglés), con un presupuesto de 10.000 millones de euros apoya las distintas fases de la innovación desde la investigación inicial hasta la prueba de concepto, la transferencia de tecnología y la financiación y ampliación de start-ups y PYMEs entre los cuales se encuentran proyectos relacionados con 5G y tecnologías futuras a través de subvenciones, inversiones directas o indirectas, y servicios de asesoramiento y aceleración empresarial[152].

CEF2 Digital es otro instrumento financiero destinado a fomentar el crecimiento, el empleo y la competitividad que destina 2.000 millones de euros en infraestructuras de conectividad europeas, con las principales acciones del programa centradas en cuatro puntos principales; (a) el despliegue y el acceso a redes de muy alta capacidad, capaces de proporcionar conectividad Gigabit, incluidos los sistemas 5G, (b) la provisión de conectividad inalámbrica de muy alta calidad, (c) la cobertura ininterrumpida con sistemas 5G, y (d) el despliegue de redes troncales nuevas o la mejora significativa de las existentes[153].

Otro elemento para mencionar es el programa político de la Década Digital 2030 donde se establece un mecanismo de cooperación anual para alcanzar los objetivos y metas comunes entre la Comisión y los Estados miembros. Según lo establecido en el programa, la Comisión apunta a abordar las carencias en las capacidades críticas identificadas por la UE en apoyo a un mercado único digital interconectado, interoperable y seguro. Para eso, acelerará y facilitará la puesta en marcha de proyectos a gran escala que ningún Estado miembro podría

[152] Los proyectos pueden centrarse en el desarrollo de nuevas aplicaciones, mejoras en la infraestructura, y avances en el rendimiento de las redes de comunicaciones. Además, fomenta la digitalización y la convergencia de 5G con otras tecnologías emergentes, como IA, IoT, computación en la nube y edge computing mediante la creación de aplicaciones inteligentes y en la optimización de procesos. También, el EIC apoya proyectos que utilizan 5G y tecnologías futuras para habilitar aplicaciones en sectores verticales como la salud, el transporte, la agricultura y la industria.

[153] https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/find-funding/eu-funding-programmes/connecting-europe-facility_en; https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_1109

desarrollar por sí solo donde se combinen inversiones procedentes del presupuesto de la UE, incluido el Fondo de Recuperación y Resiliencia (FRR), de los Estados miembros y del sector privado[154].

Cuando se indaga en las inversiones que serán destinadas a apoyar estos objetivos estratégicos la información relativa es escasa (Papazoglou *et al.*, 2023). El "*Mapeo de los instrumentos de financiación de la UE para los objetivos de la Década Digital*" elaborado por el Centro de Investigación Conjunto de la UE afirma que el FRR es el instrumento con mayores importes, concluyendo que "*las inversiones agregadas muestran una clara concentración de las inversiones públicas en los puntos cardinales de la digitalización de los servicios públicos (30%) y de la digitalización de las empresas (35%)"* pero que en áreas estratégicas como los semiconductores (2.4%), conectividad 5G (3.6%) o *Edge computing*, el volumen es "más modesto", aunque las asociaciones público-privadas o financiación alternativa aparecen como opciones en estos casos[155]. Al valoran estas acciones en función de los resultados del IST hasta 2021 puede afirmarse que los cambios hasta el momento son muy moderados, sobre todo si se compara con las acciones de Estados Unidos y China que han aumentado sus volúmenes de inversión.

Complementariamente, entre 2021-2027 los programas operativos FEDER (Fondo Europeo para el Desarrollo Regional) focalizados en apoyar el despliegue de infraestructuras digitales, y el FSE+ (Fondo Social Europeo Plus) para la adquisición de habilidades digitales, ambos enmarcados en la política de cohesión territorial agregarán recursos orientados a facilitar la transición digital, impactando en 5G[156].

[154] La Comisión ha identificado una lista inicial de proyectos multinacionales. Esta lista incluye ámbitos de inversión como la infraestructura de datos, los procesadores de baja potencia, la comunicación 5G, la informática de alto rendimiento, la comunicación cuántica segura, la administración pública, el blockchain, los centros de innovación digital, las competencias digitales y la ciberseguridad (*Europe's Digital Decade: digital targets for 2030*). Para llevarlos a la práctica ha creado la figura jurídica de Consorcio Europeo de Infraestructuras Digitales (EDIC) como mecanismo para facilitar los proyectos multinacionales. Su conformación requiere solicitud de al menos tres Estados miembros y aprobación de la Comisión, y su personalidad jurídica debe ser reconocida por todos los Estados miembros. Los Estados miembros fundadores definen la estructura de gobierno, la sede y sus normas de funcionamiento en los Estatutos. En cuanto a su presupuesto, se basa en las contribuciones de sus miembros complementadas por otras fuentes de ingresos, que pueden incluir subvenciones de la UE y nacionales.

[155] El mapeo solo analiza el FRR, Mecanismo «Conectar Europa» 2 Digital, Programa Europa Digital, Horizonte Europa (ES), convocatorias del Consejo Europeo de Innovación, Empresas Comunes de Europa y Horizonte 2020, Política de Cohesión 2021-2027 y Fondos ESIF 2014-2020

[156] En el caso de FEDER, la Comisión Europea aportará 29,589,219,267.042 de euros de un total de 44,890,153,048.576 de euros; respecto al FSE+ la Comisión Europea contribuirá con 6,815,446,031.6 de un total de 10,505,316,746.726 de euros; el Fondo de Cohesión (FC) se compondrá de 789,085,818.6 aportados por la Comisión Europea sobre un total de 995,042,140.522. Para más detalles consultar https://cohesiondata.ec.europa.eu/stories/s/Cohesion-policy-supporting-the-digital-transition-/vaxt-7rsr/

Junto con la definición de los objetivos plasmados en la Estrategia Digital Europea y la Estrategia de estandarización de la UE, para el bloque sigue siendo tan crítico como urgente el despliegue oportuno de las nuevas redes al ritmo de la evolución de la tecnología por dos razones (Parcu *et al.,* 2023). Por un lado, como ha sido comentado, la trayectoria de 5G ha estado asociada desde el principio a sus casos de uso. Por otro lado, las mudanzas en el escenario geoestratégico permiten sostener que el liderazgo tecnológico sin base empírica será difícil de sostener. Al mismo tiempo, la altísima concentración de capacidades en Alemania, Francia, Italia, Países Bajos, Austria, Bélgica e Irlanda revela desequilibrios que han exacerbado el impacto de la falta de un marco regulador unificado que incentive el reforzamiento del mercado único y la construcción de capacidades dentro del bloque, así como de instrumentos de financiación que puedan competir con los aplicados por otros países. En este punto es donde las brechas se hacen evidentes ya que las metas ambiciosas se enfrentan "*a los retos de una implantación que está resultando bastante más lenta de lo esperado*" (ECA, 2022).

Según el Observatorio 5G respecto a los lanzamientos comerciales, la mayoría de las ofertas comerciales fueron lanzadas por operadores europeos en 2020 con equipos procedentes de fabricantes fuera de la UE e, incluso, solo en 2022 los lanzamientos autónomos han alcanzado una proporción significativa respecto al total, alcanzando el 38% (Observatorio 5G, 2023). Con todo, al igual que sucede en otros ámbitos, la concentración en unos pocos países, con Alemania muy por delante del resto de la UE, es el rasgo destacado. En 2023, Europa tenía 4 servicios autónomos activos de 5G, con anuncios de nuevos lanzamientos en el segundo semestre del año pasado (Parcu *et al.,* 2023).

La Edición 2024 del Informe sobre el estado de las comunicaciones digitales de la Asociación Europea de Operadores de Redes de Telecomunicaciones (ETNO en inglés)[157] presenta algunos puntos que son reveladores para conocer los datos de 2022 y 2023 que permiten analizar cuál es el posicionamiento actual de la UE. Al respecto, los principales son:

- En el uso de 5G autónoma o SA (independiente o *Stand Alone* en inglés) y de las nuevas tecnologías RAN (Red de acceso radioeléctrico o *Radio Access Network* en inglés),

[157] El informe puede consultarse en: https://etno.eu/library/reports/117-state-of-digital-2024.html

Europa va significativamente a la zaga de Asia, pero actualmente supera a Norteamérica en algunos aspectos. Concretamente, en 2023 solo 10 de las 114 redes 5G operativas en Europa eran «5G SA», pero Norteamérica tenía 4. Asia lideró con 17 redes 5G SA.

- Mercados minoristas europeos muy fragmentados (45 grandes grupos de operadores móviles, frente a 8 en Estados Unidos, 4 en China y Japón y 3 en Corea del Sur) que impactan en términos de ingresos y de inversión.

Abonando esta perspectiva, el primer reporte de evaluación de resultados relativos a los objetivos y metas de Europa 2030 titulado *"Estado de la Década Digital"*, donde se evalúan los progresos enmarcados en el Programa de Política de la Década Digital (PPDD), adoptado por el Parlamento Europeo y el Consejo (en vigor desde enero de 2023). Hasta la fecha de publicación (septiembre 2023), los hallazgos principales señalan:

- Retraso en el despliegue de las redes autónomas 5G y calidad de la red por debajo de las expectativas de los usuarios finales y de las necesidades de la industria.
- Necesidad de inversión adicional de al menos 200.000 millones de euros para garantizar una cobertura gigabit completa, así como cobertura 5G en todas las zonas pobladas.
- Brecha anticipada entre los objetivos para fomentar la digitalización de las empresas, y la trayectoria prevista. Se estima que en 2030 solo el 66 % de las empresas utilizarán la nube, el 34 % los macrodatos y el 20 % la IA.
- Solo el 69 % de las pymes de la UE alcanzan un nivel básico de intensidad digital, con avances desiguales e insuficientes entre los Estados miembros[158].
- En las condiciones actuales, en 2030 sólo el 59% de la población dominará al menos las competencias digitales básicas, y el número de especialistas en TIC no superará los 12 millones.

Para dar respuesta a estas circunstancias, la Ley de Infraestructuras Gigabit[159] constituye otro esfuerzo para agilizar y abaratar el despliegue de redes reduciendo los costes y las cargas administrativas, racionalizando y digitalizando los procedimientos de concesión de permisos,

[158] Las metas por lograr son: al menos el 75% de las empresas de la UE deberían adoptar en sus operaciones servicios de computación en nube, big data y/o inteligencia artificial (IA); más del 90% de las pequeñas y medianas empresas (PYME) deben alcanzar al menos un nivel básico de intensidad digital (midiendo el uso de diferentes tecnologías digitales a nivel empresarial); duplicar el número de unicornios (empresas con una valoración superior a 1.000 millones de euros).
[159] En línea con los objetivos el informe se centra en cuatro pilares principales: competencias digitales, infraestructura digital, digitalización de las empresas, incluido el uso de la Inteligencia Artificial (IA), y digitalización de los servicios públicos.

facilitando el uso conjunto de infraestructuras físicas y fomentando el despliegue de redes de fibra. Además, la Comisión también anunció una Recomendación Gigabit, que orientará a las autoridades reguladoras nacionales sobre cómo utilizar los instrumentos de que disponen para incentivar un despliegue más rápido de las redes[160].

Lejos de abarcar todo lo sucedido, el mayor desafío es el nivel de ST relativo de la UE en semiconductores y circuitos electrónicos avanzados, tanto en herramientas de diseño y automatización como en fabricación (ver capítulo VI). La UE ha lanzado iniciativas cuyo objetivo es impulsar su soberanía tecnológica en el campo de los semiconductores, con eventual impacto sobre 5G.

En definitiva, describir estas acciones permite advertir una intención de cambiar a medio plazo el posicionamiento del bloque, pero, al menos desde 2021 hasta 2024, los informes relevados no indican que las medidas puestas en marcha por la UE hayan mejorado significativamente la fabricación de chipset de 5G en Europa ni que su nivel de ST haya aumentado.

### 5.4 Conclusiones

Los debates en torno a 5G en el contexto de la UE plantean la necesidad de equilibrar las interdependencias globales con las aspiraciones del bloque en términos de ST. De hecho, esta tecnología se ha convertido en el catalizador de nuevas tensiones geoeconómicas y de una marcada bipolarización chino-estadounidense que está provocando una reorganización de la industria global de las comunicaciones. Algunos autores observan que la ST "*se refiere además a la menguante independencia de Europa en términos de tecnologías clave para sectores estratégicos*" entre los que destacan los emergentes, pero también la industria de defensa (Nocetti, 2022). Cuando se focaliza el tema en relación con el desarrollo y despliegue de 5G, se identifican dos aspectos principales: el liderazgo industrial y/o geopolítico en la innovación tecnológica (Parcu *et al*., 2023 y 2022; Teece, 2021), y los retos relacionados con su despliegue que, debe subrayarse, están provocando reacciones incluso antes de su despliegue internacional generalizado (Nocetti, 2022).

[160] La propuesta de Ley de Infraestructuras Gigabit se publicó el 23 de febrero de 2023 y puede consultarse en: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/gigabit-infrastructure-act-proposal-and-impact-assessment

El objetivo y, por tanto, la aportación central de este capítulo ha sido aplicar el enfoque mixto propuesto por la tesis a un caso de estudio: 5G que es un sistema tecnológico con claras implicaciones geopolíticas relevantes para la evaluación y aplicabilidad del IST. Se ha profundizado en los segmentos fundacionales que se combinan en la creación de un producto complejo, lo que implica un saber hacer detallado sobre los requisitos específicos y el contexto (conocimiento del dominio) de diversos campos y disciplinas especializadas.

Otra aportación interesante que surge de los hallazgos señala que mientras el liderazgo tecnológico en 5G parece en manos de Estados Unidos y China, el posicionamiento de la UE-27 surge de su desempeño como bloque. De hecho, si se considera la situación de los países por separado, tanto las economías más fuertes como Alemania y Francia, o países innovadores en telecomunicaciones como Finlandia y Suecia, las distancias relativas respecto de ambos líderes sería más acentuada.

# **CAPÍTULO VI.** SOBERANIA TECNOLOGICA Y SEMICONDUCTORES

## 6.1 Introducción

Este capítulo tiene como objetivo analizar la importancia de la ST como nueva racionalidad de la política de innovación partiendo de reconocer el alto nivel de exposición de la UE respecto a una tecnología fundamental en el siglo XXI tal como los semiconductores. Se asume la necesidad de mejorar el posicionamiento internacional del bloque y la mejora de su resiliencia. Este ejercicio empírico y de reflexión en todo caso implica indagar en los *trade-offs* asociados a las opciones disponibles para la UE.

En tal virtud, el objetivo de análisis es si a la Unión Europea (UE) le interesa más desarrollar una importante capacidad de diseño de circuitos integrados (chips) basados en dispositivos semiconductores, como Estados Unidos, o establecer capacidades de fabricación de semiconductores con resolución de 2nm (normalmente denominada "fundición"), el límite actual, en territorio de la UE con una importante participación europea para finales de la década actual, como han hecho algunos países asiáticos basándose en sus propias capacidades y control (por ejemplo, Taiwán, Corea del Sur y China). Con este punto de partida, se analiza desde el punto de vista geopolítico el impacto de esta tecnología sobre uno de los campos emergentes más relevantes de la actualidad: la Inteligencia Artificial (IA)[161].

Los debates recientes se han centrado en si se debe fomentar y financiar la construcción de las fundiciones más avanzadas basadas en nodos de proceso de 2nm en la UE para aliviar los posibles cuellos de botella en la cadena de suministro (Kearny, 2022) que, ante shocks sistémicos, como el que supuso la pandemia, quedaron más al descubierto que nunca. Alternativamente, podrían construirse fundiciones de menor resolución para satisfacer las necesidades de sectores industriales como la automoción o la electrónica industrial. Otra perspectiva aboga por invertir fondos privados y públicos para impulsar el segmento de empresas que diseñan chips lógicos de nueva generación, donde el bloque depende aún más

[161] La definición de IA es objeto de muchas discusiones incluso entre los especialistas. La IA consta de varias áreas principales de investigación y desarrollo que han dado lugar a diversas tecnologías (Martínez-Plumed et al., 2022: 13-16). Dado el enfoque de esta tesis y la limitación de espacio, no resulta pertinente extenderse en el debate sobre la conceptualización más adecuada. Esto no significa que el asunto no revista importancia. En todo caso, algunos de los denominadores comunes que se identifican apuntan que los sistemas de IA son programas informáticos desarrollados con una o varias técnicas y enfoques que pueden, para un conjunto dado de objetivos definidos, generar resultados tales como contenidos, predicciones, recomendaciones o decisiones que influyan en los entornos con los que interactúan (Righi et al., 2021).

de proveedores tecnológicos extranjeros y donde el valor añadido es mayor, aunque persistan los riesgos de suministro. No obstante, abordar la cuestión mencionada enmarcándola como un asunto dicotómico (diseño o "*fabs" o* "foundries" en inglés) tiene importantes deficiencias (Kleinhans, 2021).

En primer lugar, los chips semiconductores son componentes clave en los productos digitales y digitalizados, incluidas las aplicaciones e infraestructuras críticas para la sanidad, la energía, la movilidad, las comunicaciones y la automatización industrial, así como los dispositivos cotidianos como los teléfonos inteligentes y los automóviles. Son esenciales para la competitividad económica, la transición dual (verde y digital) y las tecnologías emergentes como la IA, las comunicaciones móviles avanzadas (5G/6G), el IoT (OCDE, 2023 a; Dachs, 2023; CE, 2022) y las tecnologías cuánticas. Incluso en algunas de las industrias europeas estratégicas tales como la automoción la electrónica industrial depende cada vez más de la tecnología de semiconductores (ASML, 2022). Además, como tecnología de doble uso, su incorporación a armas y equipos sofisticados la convierte en esencial para la seguridad nacional (Bown, 2020).

En segundo lugar, es apropiado considerar sistemáticamente las implicaciones de posicionar a los países y a las empresas por segmentos de la cadena de valor. Según el Comisario Europeo de Mercado Interior, Thierry Breton, Europa ha dependido en exceso de la subcontratación de una parte importante del diseño y la fabricación de semiconductores en las últimas décadas (Bloomberg, 2021). Además, según el Consejo de la UE (2022), la UE tiene capacidades limitadas tanto en el diseño como en la fabricación de productos, lo que sitúa al bloque regional como un actor secundario. Esto también ha afectado a la disponibilidad de capital humano. Las empresas europeas están especialmente preocupadas por atraer talento, tanto especialistas como personas con habilidades básicas y conocimientos de ingeniería.

El argumento que se propone justificar en el presente capítulo es que la UE tiene margen para poner en marcha una estrategia que cambie las reglas del juego, más compleja y arriesgada, pero con potencial para tener efectos estratégicos en el posicionamiento de la UE, basada en la adopción de una estrategia combinada entre las alternativas de diseño y fabricación. Todas

estas opciones para alcanzar los objetivos no son mutuamente excluyentes, sino que dan prioridad a opciones diferentes con consecuencias a largo plazo. Por consiguiente, es necesario considerar cómo afectaría cada opción, analizada por separado, a la creación de capacidades de soberanía tecnológica tanto para el sector de Comunicaciones Avanzadas 5G (Ver capítulo V) como para IA[162]. Al considerar las opciones desde la perspectiva de la ST, es crucial identificar aquellas que promuevan el desarrollo de capacidades nacionales o regionales a medio plazo. Esto da prioridad a la aparición de activos y competencias domésticos con centro en los segmentos de diseño y fabricación como base para aprovechar las estrategias de colaboración internacional.

Es importante tener en cuenta que, debido a la naturaleza de la industria de semiconductores, todas las opciones requieren inversiones multimillonarias, pero no todas son realmente impulsoras de la capacidad de agencia del bloque, incluso si algunos Estados miembros de la UE pudieran apostar por partes de ellas. Aunque la UE no pueda liderar toda la CVM, ganar centralidad en segmentos clave podría generar efectos multiplicadores que sirvieran para apalancar sus intereses en una eventual reconfiguración del sector con efectos positivos en otros sectores. Para ello es pertinente analizar sus capacidades tanto en el segmento del diseño como en el de la fabricación y evaluar los avances tecnológicos que podrían mejorar potencialmente la posición de la UE.

El capítulo analiza la posición de la UE-27 en la economía y la geopolítica de los semiconductores avanzados, con especial atención a los segmentos de diseño y producción. Para eso describe la industria global de semiconductores y su cadena de valor. Luego profundiza en las particularidades del diseño y fabricación de chips avanzados, identificando a los principales actores y cómo se organizan. Se aplica el IST y se debate sobre la situación de la UE respecto a esta tecnología habilitadora. Sigue un análisis del impacto de esta tecnología sobre el campo de la IA. Sobre esta base se evalúan las opciones disponibles y se

[162] Para satisfacer la creciente demanda de potencia de cálculo, se utilizan diversos dispositivos semiconductores en la detección, las comunicaciones y la gestión de la energía (CE, 2022). Estos dispositivos son también elementos clave en el campo del entrenamiento de grandes modelos lingüísticos que requiere la IA generativa. La mayor demanda de chips de nueva generación se da en los campos de las comunicaciones y los equipos de procesamiento de datos, donde los requisitos técnicos de los chips evolucionan rápidamente. *campos tecnológicos, esenciales para la digitalización, como la conectividad (5G/6G), la computación en la nube y en los bordes, los centros de datos, la inteligencia artificial, la computación de alto rendimiento, junto con la informática personal y la electrónica de consumo, representan actualmente más del 75% de la facturación total*" (EMI, 2023, p. 8).

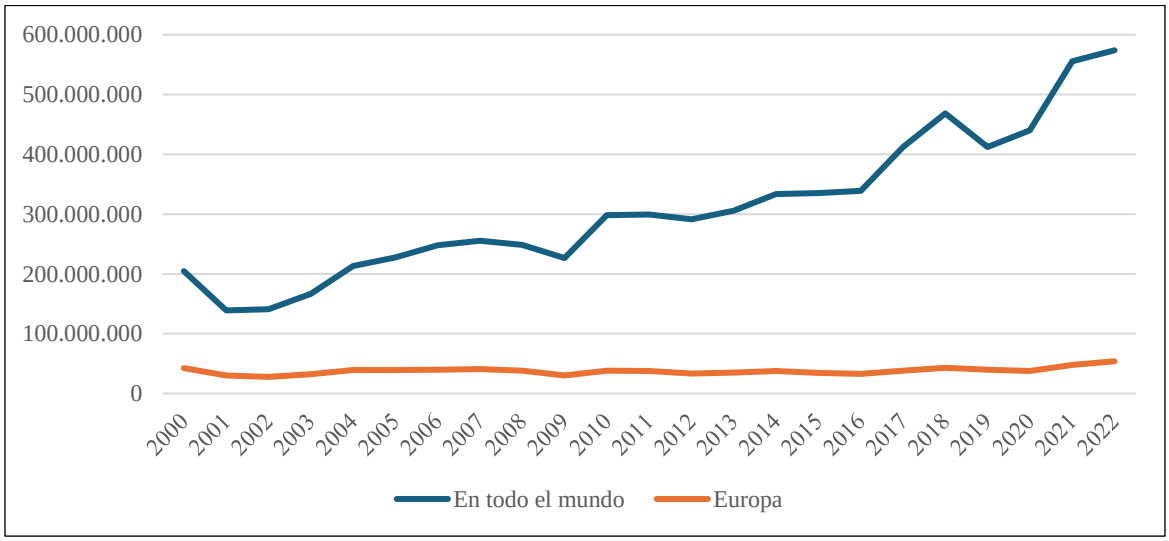
analiza las implicaciones de implementar una política de innovación orientada a la ST. Finalmente, se presentan las conclusiones.

### 6.2 La industria de semiconductores

La facturación de la industria mundial de semiconductores en el mercado ha ido en aumento desde el año 2000 y ha superado los 500.000 millones de dólares en 2022, como se muestra en el Gráfico 6.1. Sin embargo, la participación de los países europeos ha ido disminuyendo año tras año, lo que confirma las distintas fuentes de información (ELG, 2014; CE, 2021a). Esta tendencia europea hacia el estancamiento es más relevante aún al considerar el notable crecimiento de las ventas de semiconductores a escala mundial, lo que obedece tanto a su carácter transversal como a su aplicación en diferentes industrias[163].

Asimismo, el gráfico 6.2 revela que las memorias, los chips lógicos, los chips analógicos y las Unidades de Procesamiento Múltiple (UPM) representaron los segmentos más importantes de la industria, con un 79% de las ventas en 2021.

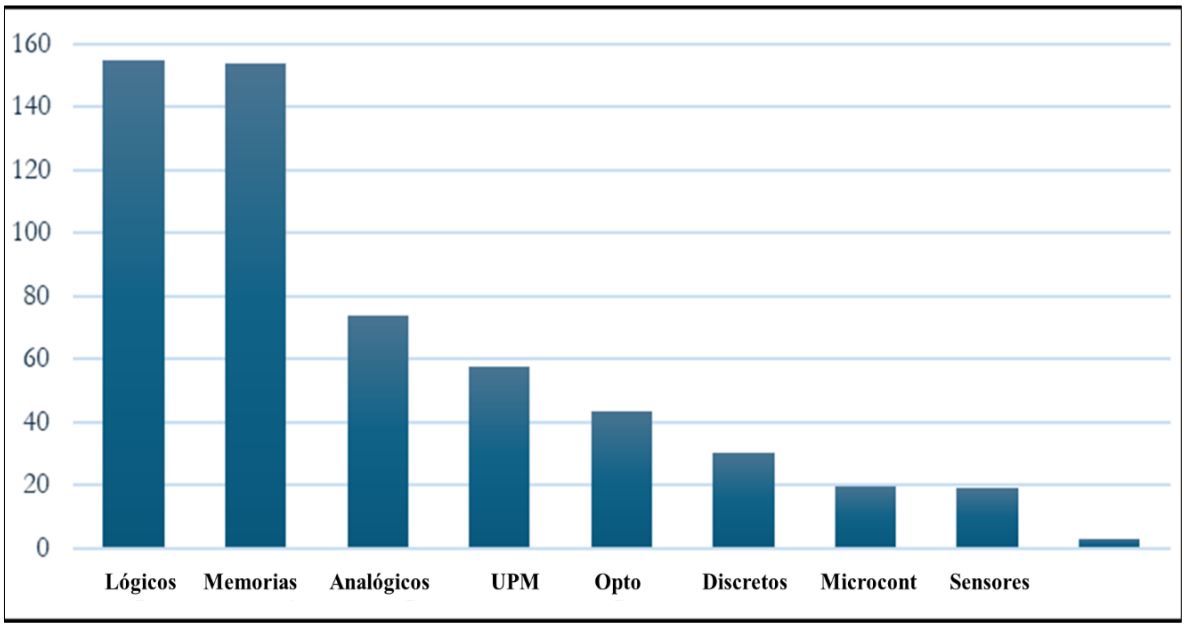
**Gráfico 6.1** Evolución de la facturación mundial vs. europea de semiconductores 2000-2022




Fuente: Cálculos del autor basados en Estadísticas del Comercio Mundial de Semiconductores (WSTS, 2023)

[163] La necesidad de almacenamiento de información, el despliegue de infraestructuras avanzadas de comunicaciones móviles, las aplicaciones de inteligencia artificial, la computación en la nube y de alto rendimiento, por nombrar sólo algunos, son los desarrollos más recientes que integran el amplio campo de las tecnologías digitales. Se prevé que la demanda de chips de vanguardia en nodos de resolución inferior a 10 nm crezca mucho más rápido (por ejemplo, para entrenamiento de grandes modelos de lenguaje o inferencias en aplicaciones de inteligencia artificial) que la de chips más convencionales (por ejemplo, para el automóvil o la electrónica de consumo) relativamente más sencillos de fabricar al requerir menores resoluciones.

**Gráfico 6.2** Distribución de las ventas mundiales de semiconductores por segmentos de productos (2021)




Fuente: Elaboración propia a partir de SIA (2022). Nota: miles de millones de USD

*6.2.1 La Cadena de Valor Mundial de los semiconductores*

Un circuito integrado, también conocido como chip semiconductor, se produce a través de una cadena de valor compleja y altamente globalizada. Además, ninguna economía posee una industria de semiconductores completamente independiente y unificada que pueda funcionar sin tecnologías o materiales procedentes de suministradores en el extranjero[164]. Aunque todas las economías son interdependientes en la industria mundial de semiconductores, no todas requieren o son capaces de operar plantas eficientes de fabricación de chips de alta resolución (OMC, 2023).

Esta industria ha experimentado cambios significativos en los últimos 30 años, impulsada por la llamada "revolución sin fábricas" que comenzó a finales de la década de 1980 (OMC, 2023; DEC-EC, 2020). La característica principal desde entonces ha sido la elevada intensidad de I+D a lo largo de toda la cadena de valor, en particular durante las fases de

[164] La industria del microchip depende en gran medida de insumos como productos químicos, obleas de silicio y equipos de producción. Las empresas europeas desempeñan un papel crucial en determinadas fases de la cadena de valor. Por ejemplo, BASF, Merck y Solvay son líderes en el suministro de productos químicos, mientras que Siltronic y GloFo desempeñan un papel clave en la producción de obleas. Encontrará más detalles sobre las características de la industria de semiconductores en Kleinhans y Baisakova (2020), la Comisión Europea (2022) y SIA (2022).

investigación y diseño que llega a representar entre el 15 y el 20% de los ingresos de las empresas. Por otra parte, es importante mencionar que el término tecnología "de punta o frontera" debe aplicarse de forma adecuada al tipo de chip y a su uso previsto (EC-JCR, 2023). De hecho, un aspecto significativo para tener en cuenta es que la producción de microchips se adapta a las necesidades específicas de los usuarios. Por lo tanto, es inexacto considerarlos como una mercancía uniforme como el acero o el carbón (Dachs, 2023).

El proceso de integración económica y fragmentación productiva analizado en el capítulo II encuentra en este sector industrial uno de sus casos paradigmáticos. En este sentido, se fueron configurando dos modelos empresariales distintos.

El primero corresponde a las compañías que se especializan en segmentos de procesos específicos. Las empresas *Fabless* se concentran en la I+D y ofrecen diseños sin poseer capacidades de producción, las fundiciones se centran en los aspectos frontales y la fabricación de semiconductores, y las firmas de ensamblado, testeo y empaquetado de semiconductores subcontratados (OSAT en inglés) se encargan de las fases de montaje (ver Figura 6.1)[165]. Las empresas *Fabless* desarrollan un extenso proceso de ingeniería que puede durar hasta tres años y consta de varios pasos. Estas empresas diseñan los productos para venderlos a terceros o para utilizarlos en sus propios productos. Sin embargo, no fabrican las obleas de silicio ni los chips[166]. Las fundiciones son esenciales para que funcione este modelo de negocio, pero exigen importantes inversiones de capital.

El segundo modelo está representado por las firmas de Fabricación integrada de dispositivos (más conocidas como *Integrated Devices Manufacturing* o IDM en inglés), que integran verticalmente el diseño y la fabricación en sus propias fábricas, ejerciendo así un control total sobre todo el proceso de desarrollo del producto.

[165] Este modelo ha experimentado una evolución significativa en las dos últimas décadas, dando lugar a una dinámica en la que las interdependencias a lo largo de la CVM son clave (OCDE, 2023). Las fundiciones surgieron junto al ecosistema *fabless* para ofrecer servicios de fabricación a las empresas de chips que carecían de instalaciones para tal fin. Los gastos relacionados con la creación y el mantenimiento de las fábricas, sobre todo al principio, suponen un obstáculo para la entrada y, en última instancia, restringen el número de empresas en el mercado.

[166] Es importante señalar que estas firmas no fabrican chips para otras empresas *fabless*, aunque pueden utilizar fundiciones de terceros para sus propias necesidades.

En la década de 1990, surgió la metodología del "sistema en chip", lo que provocó que la parte de diseño de la cadena de valor se dividiera en Diseño Automático (EDA en inglés) y Propiedad Intelectual (PI). Desde entonces, la industria ha confiado cada vez más en las empresas de PI para reducir costes utilizando esquemas prediseñados. Como resultado, la británica Arm (aunque actualmente de propiedad de la firma japonesa Softbank) y la estadounidense Intel se han convertido en dominantes, generando una situación de dependencia estratégica por parte de las firmas europeas. Antes del Brexit, la UE consideraba a Arm como un activo pero esta percepción ha cambiado cuando el Reino Unido dejó de ser un país comunitario.

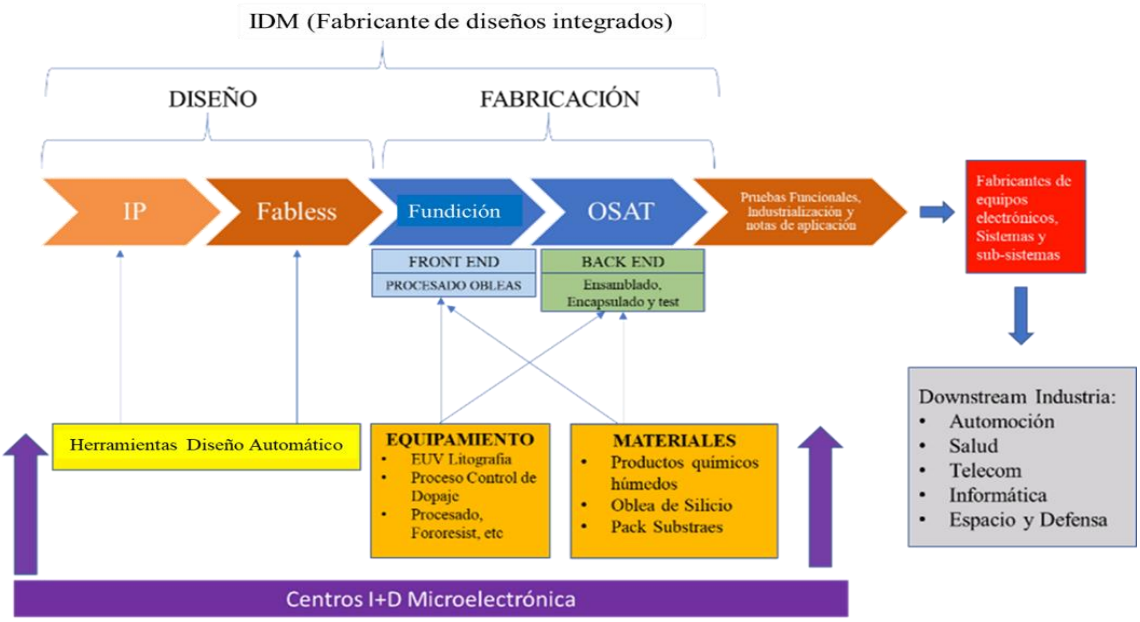
Sin embargo, en la última década ha surgido una tecnología alternativa que ha ido ganando popularidad. La tecnología RISC-V es una arquitectura de conjunto de instrucciones (ISA) de estándar abierto basada en un conjunto de instrucciones reducido (o RISC en inglés), que ofrece una opción al esquema que ha predominado hasta ahora, aunque la ISA RISC-V se basa en ideas de arquitectura informática que se remontan al menos 40 años atrás[167].

Otro aspecto notable se refiere a que el coste de producción de nuevos chips ha aumentado debido al uso de arquitecturas en tres dimensiones (3D) avanzadas, el uso de materiales semiconductores diferentes al silicio y la mejora en la miniaturización. Mientras que ello conduce a un proceso tecnológico más complejo, que a su vez eleva los costes de capital, permite producir más chips por oblea, lo que se traduce en chips más baratos o con mejores prestaciones en frecuencia o consumo[168].

[167]. Desde 2010, RISC-V ha evolucionado desde un laboratorio informático universitario hasta convertirse en la base de innumerables chips que se encargan de tareas informáticas. El objetivo era investigar los mecanismos internos de la computación sin incurrir en las condiciones de las empresas de propiedad intelectual, que cobran regalías por cada chip que utiliza su tecnología. Además, sus partidarios no sólo consideran el coste como un aspecto positivo, sino que también argumentan que las tecnologías con arquitectura interna que puede estudiarse abiertamente son mucho más seguras. RISC-V proporciona un lenguaje común para diseñar procesadores que se encuentran en dispositivos como teléfonos inteligentes, unidades de disco, routers Wi-Fi y tabletas. Esto facilita el desarrollo y el mantenimiento de estos dispositivos. El código no puede utilizarse directamente para la fabricación, sino que consiste en un conjunto de instrucciones informáticas fundamentales que dictan los cálculos que puede ejecutar un chip. Los ingenieros pueden descargar estas instrucciones e integrarlas en el proceso, mucho más intrincado, de elaborar los planos de diseño de los componentes semiconductores.

[168] El tamaño de los transistores de un material semiconductor y el tamaño de la oblea indican el nivel de complejidad tecnológica alcanzado por una fábrica en relación con la capacidad de su proceso de fabricación. No obstante, esta referencia adquiere otras connotaciones de complejidad cuando se utilizan otros materiales (por ejemplo, el nitruro de galio) para aplicaciones en los que la velocidad de procesamiento, el uso de altas frecuencias o la potencia requerida no permiten el uso de silicio.

**Figura 6.1** Cadena de valor de los semiconductores




Fuente: Elaboración propia a partir de AMETIC (2023)

Para completar la descripción de los actores y fases que se observan en la Figura 6.1, los fabricantes de equipos utilizados en el proceso de fotolitografía son un insumo previo fundamental que también desempeña un papel crucial. Estas máquinas se utilizan para imprimir los diseños de los chips en las obleas. Sin embargo, las barreras técnicas de entrada para los equipos de fotolitografía, especialmente en los nodos avanzados, son extremadamente altas, al igual que la inversión en I+D.

Según la CE (2022) y Kleinhans y Baisakova (2020), la UE tiene una posición fuerte en equipos de fabricación de circuitos integrados a nivel mundial. Sólo hay cuatro productores significativos de equipos de fotolitografía: ASML, una empresa holandesa que domina los equipos de fotolitografía ultravioleta extrema (EUV) de gama más alta que permiten la producción de transistores más pequeños y microchips lógicos avanzados, así como los equipos de fotolitografía ultravioleta profunda (DUV), y tres proveedores japoneses, Canon, NuFlare y Nikon[169]. ASML es el único desarrollador de la tecnología de fotolitografía

[169] La litografía es el más complejo de los tres pasos básicos en la fabricación de obleas. Se trata de un mercado muy concentrado, con un monopolio de la UE en la vanguardia y un duopolio UE/Japón en las tecnologías más antiguas. La litografía depende de muchos equipos «auxiliares» que deben estar estrechamente integrados con la máquina litográfica (Kleinhans y Lee, 2022).

ultravioleta extrema (EUV)[170]. El desarrollo de la tecnología de litografía EUV ha requerido una importante inversión de unos 7.000 millones de dólares a lo largo de 17 años. La cadena de suministro de ASML comprende aproximadamente 4.500 empresas, entre las que se destacan a nivel europeo Trumpf (tecnología láser) y Carl Zeiss (óptica), pero también muchas empresas de Estados Unidos lo que condiciona, de hecho, su posicionamiento mundial y su libertad de acción en la toma de algunas decisiones.

## 6.3 El talón de Aquiles de la UE-27: ¿Cuáles son las opciones de la UE en la cadena de valor de los semiconductores avanzados?

### *6.3.1 Geografía y economía de los chips semiconductores avanzados*

Durante varias décadas, se supuso que el número de transistores en un chip se duplicaría aproximadamente cada año, lo que se traduciría en un crecimiento exponencial de la potencia de los chips informáticos, lo cual se traduce en mayor capacidad de procesamiento de datos (Ley de Moore). Con el tiempo estos avances han provocado una desconexión casi total entre la nomenclatura y la realidad física de los circuitos integrados[171].

La complejidad de los chips ha aumentado significativamente con la separación del diseño y la fabricación. Para los nodos de tecnología avanzada es muy importante que exista un fuerte vínculo entre el diseño y la tecnología de procesos. Por eso es importante la relación estrecha de las instalaciones de fabricación y los equipos de diseño[172]. La cuestión no es sencilla ya que implica tanto la incertidumbre geopolítica, como las cadenas de suministro y el problema de los costes de producción en comparación con los competidores asiáticos.

En la UE, los chips lógicos avanzados sólo representan el 8% de la demanda total del bloque (Dachs, 2023; CE, 2021a), lo cual se explica porque la demanda de la UE está impulsada principalmente por sectores como la automoción y la electrónica industrial, que requieren

[170] ASML posee actualmente una cuota de mercado dominante de más del 60%, mientras que el resto se divide entre los proveedores japoneses Canon y Nikon, así como Applied Materials (EE.UU.), Tokyo Electron (Japón) y Lam Research (EE.UU.). Si consideramos el segmento EUV, ASML aumentó su cuota de mercado hasta el 80% y ahora es el proveedor exclusivo de Samsung y TSMC para sus chips más avanzados.

[171] El concepto de densidad de integración permite comprender el rendimiento esperado de un chip. La importancia de la computación surge de sus requisitos de aplicación y permanencia, como la capacidad de cálculo/procesamiento y el consumo de energía. Su trascendencia radica en su influencia en la configuración organizativa de la industria, así como en su promoción de otros campos como la inteligencia artificial y las TIC.

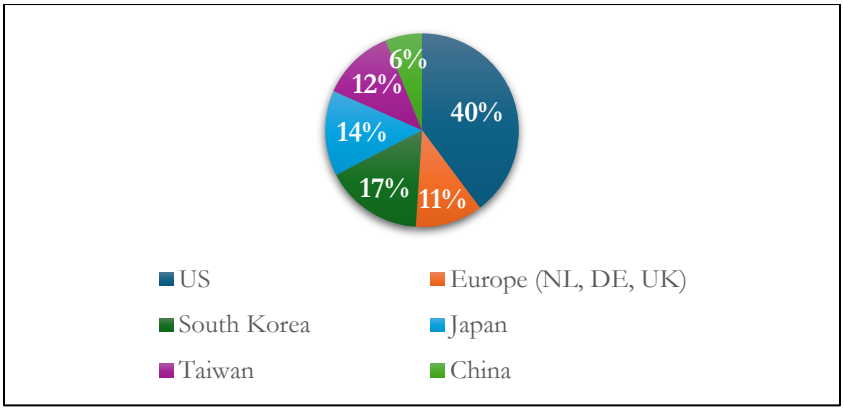
[172] Cuando los nodos tecnológicos son maduros, todos los parámetros tecnológicos suelen ser estables y estar incluidos en las bibliotecas de diseño que proporcionan las fundiciones y los proveedores de EDA, por lo que la proximidad entre la casa de diseño y las instalaciones de fabricación no es un requisito.

circuitos integrados diferentes y menos exigentes que los utilizados en nodos de proceso más avanzados de 2-5 nm. Éste es un punto débil de la UE. También debe considerarse la demanda de chips integrada en productos de alta tecnología para el usuario final en sectores como el aeroespacial, defensa o equipos médicos [173].

Existen al menos tres formas de definir las cuotas de mercado de los semiconductores, en función del valor añadido en cada fase de la CVM (véase Gráfico 6.3). Entre ellas se incluyen la ubicación de la sede del fabricante del circuito integrado, la ubicación del cliente que recibe los chips o la ubicación del usuario final, ya sea una empresa o un consumidor. Los valores de producción de las distintas regiones suelen notificarse en función de la sede del fabricante del chip y no de la ubicación física de las instalaciones de producción (CE, 2022).

El gráfico 6.4 ilustra claramente la brecha existente entre los sectores de la automoción y aeroespacial/defensa y otros sectores "digitales", utilizando las cuotas de mercado como aproximación. Las empresas europeas tienen una participación del 20% o más en los sectores de automoción, aeroespacial y defensa, e industrial. Sin embargo, su cuota es inferior al 5% en informática, procesamiento de datos y telecomunicaciones[174].

**Gráfico 6.3** Valor añadido total de la industria mundial de semiconductores.

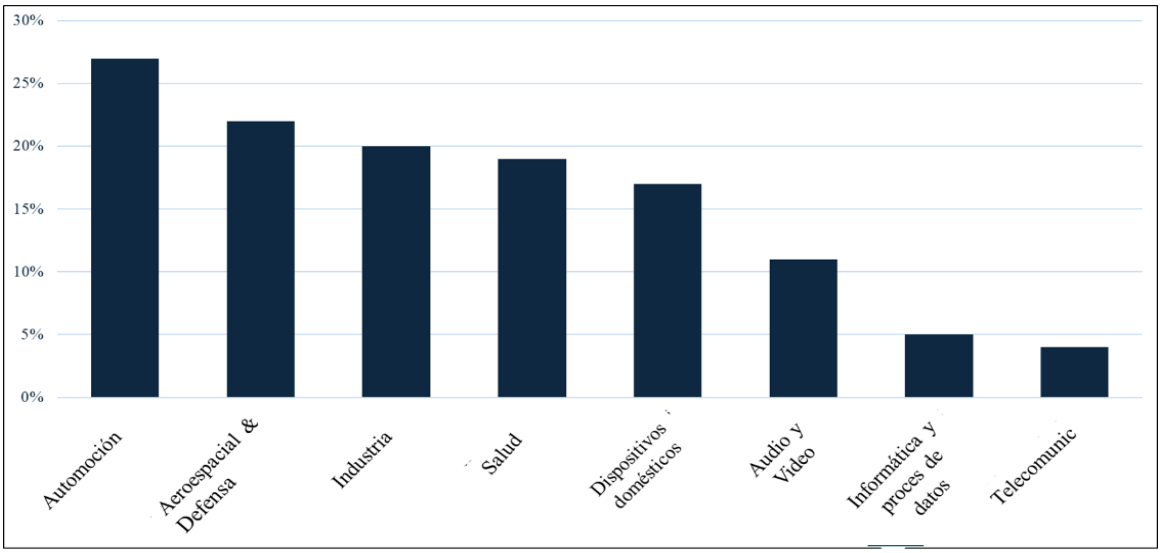



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de EC-JCR (2023)

[173] El mercado de la electrónica de consumo no tiene los mismos requerimientos en todos sus segmentos en cuanto a semiconductores lógicos que utilicen los chips más avanzados en términos de "PPAC" (potencia, rendimiento, área, coste). Mientras que la informática, los móviles inteligentes si necesitan esos chips, los electrodomésticos, los equipos de sonido/imagen, el sector del automóvil convencional no los demandan. Por otra parte, es importante tener en cuenta que muchos tipos de semiconductores, como los semiconductores analógicos y de señal mixta (chips de potencia y radiofrecuencia -RF-, sensores, etc.), no dependen de la contracción de los nodos. Respecto a estos y a los sensores (MEMS) también son necesarios para la electrónica de consumo e industrial.

[174] Estos datos son coherentes con las conclusiones de la investigación realizada por da Ponte *et al.* (2022), que analizó la dependencia de insumos y componentes, así como los procesos externalizados en la industria de las comunicaciones móviles avanzadas 5G, cuyos contenidos fueron integrados en el capítulo anterior.

**Gráfico 6.4** Cuotas del mercado europeo de producción de circuitos integrados en distintos sectores




Fuente: Elaboración propia con datos de la CE (2022).

*6.3.2 Diseño avanzado de semiconductores: actores y campo organizativo*

Diseñar un chip implica establecer sus requisitos, diseñar su arquitectura y validar su diseño en un banco de pruebas. La fase de diseño representa aproximadamente la mitad del valor añadido del semiconductor, pero sólo el 10-15% del gasto de capital físico (OCDE, 2023b). Por el contrario, el diseño representa más del 30%, del valor del producto final (CE, 2022). El diseño de chips es un proceso complejo que requiere ingenieros y científicos altamente cualificados, tecnología avanzada y propiedad intelectual (licencias) para crear diseños para el rendimiento y la funcionalidad del chip. Teniendo en cuenta los diferentes segmentos de la cadena de valor, la innovación en el diseño de chips es crucial para los futuros avances en la tecnología de semiconductores (SIA, 2022). En 2021 Europa representaba menos del 1% del total mundial de sedes de empresas de chips sin fábrica, en contraste con el 68% de Estados Unidos y el 21% de Taiwán[175].

Estados Unidos tiene una sólida posición de liderazgo en el diseño de circuitos integrados, lo que aumenta su capacidad para dar forma a las normas técnicas, mejora la seguridad nacional al depender menos de diseños realizados en otros países, y proporciona beneficios

[175] En la UE, el diseño de chips lo realizan principalmente sus IDM y está vinculado a los mercados en los que son fuertes. Una proporción significativa de chips utiliza actualmente propiedad intelectual de origen estadounidense para su diseño. En consecuencia, la cuota europea de fabless ha disminuido del 4% en 2010 a menos del 1% en 2022 (CE, 2022).

indirectos a los fabricantes de equipos originales (OEM) en industrias que van desde la tecnología de la información y las telecomunicaciones hasta el transporte y la energía. En relación con las herramientas de diseño automatizadas proporcionadas por el software de Automatización del Diseño Electrónico, las empresas estadounidenses Cadence Design Systems y Synopsis, así como Siemens EDA (antigua Mentor Graphics)[176], representan el 70% de las ventas mundiales.

El interés de la UE y de otros países por las soluciones de hardware abierto como RISC-V se explica por el potencial de revolucionar los dominios de la propiedad intelectual y *fabless*. Las inversiones en RISC-V han crecido rápidamente en los últimos tres años. El código abierto puede ayudar a preservar la soberanía cuando la concesión de licencias de PI a terceros no comunitarios es la única alternativa. Sin embargo, se necesita una masa crítica de contribuyentes europeos a los proyectos de código abierto. La utilización de hardware y software de código abierto ofrece posibilidades para aplicaciones basadas en núcleos, como procesadores, procesadores gráficos, procesadores de imágenes, aceleradores para IA/ML, procesadores de seguridad y procesadores de gestión de energía. Además, facilita la portabilidad entre sistemas y software[177].

*6.3.3 Fabricación avanzada de semiconductores: actores y campo organizativo*

La etapa de fabricación consiste en imprimir o "grabar" el circuito integrado diseñado en la etapa anterior sobre una oblea de silicio. La fabricación o fundición se basa en un gran número de complejos procesos avanzados de fabricación, que representan aproximadamente una cuarta parte del valor añadido de los semiconductores, pero casi dos tercios del gasto en capital físico (OCDE, 2023b).

Durante las últimas décadas, la mayoría de las inversiones en nuevas instalaciones de producción de chips se han realizado en Asia. Aproximadamente el 75% de la capacidad mundial de fabricación de semiconductores se concentra en Asia Oriental y China. La taiwanesa TSMC acapara el 53% de la cuota de mercado mundial, mientras que la surcoreana

[176] En marzo de 2017, Siemens adquirió Mentor Graphics por 4.500 millones de dólares. Aunque Siemens tenga la propiedad de la firma, las instalaciones y el personal se encuentran en Estados Unidos.
[177] La tecnología RISC-V agiliza la creación de *System-On-Chips* (SoC) inventivos por lo que es muy adecuada para diseños estratégicos de SoC dirigidos a dominios de aplicación específicos gracias a su arquitectura de conjunto de instrucciones (ISA) ampliable.

Samsung y la taiwanesa UMC suman el 16,3% y el 5,7%, respectivamente[178]. Actualmente los nodos de 7nm y 5nm se manufacturan a escala casi en su totalidad en Taiwán y Corea del Sur. De hecho, sólo TSMC y Samsung tienen capacidad para producir chips de 2-3 nm, y Taiwán acapara el 92% de su producción mundial (Ragonnaud, 2022).

La IDM estadounidense Intel ha construido fábricas para su propia producción y hasta ahora no proporcionaba servicios de fundición al mercado, lo cual podría cambiar en sus nuevas instalaciones[179] (ver sección 6.4.1). En cuanto a China, la perspectiva de la UE es que las condiciones geopolíticas tienen como objetivo vetar de facto alternativas como SMIC, que es la mayor fundición y el único competidor. Mientras que la información disponible sobre las capacidades reales de China es confusa, predominan las especulaciones interesadas al momento de evaluar a este país y sus empresas[180]. Aunque algunos análisis sugieren que aún necesita varios años para ponerse al día, los últimos acontecimientos indican que ha progresado más de lo esperado, especialmente desde las sanciones de EE.UU. que le ha forzado a incrementar sus capacidades propias[181]. En el campo de la IA (ver sección 6.5) se confirma esta característica (CNBC, 2024)[182]. Sin embargo, debido al contexto internacional actual, las opciones disponibles para asegurar el acceso a equipos de fabricación de otros países parecen limitadas.

Los volúmenes de inversión que requieren las fábricas de última generación para mantener unas instalaciones tecnológicamente avanzadas conocidas como salas blancas podrían

[178] Casi 30 empresas producían circuitos avanzados en 2001, pero en 2020 sólo unas pocas empresas de Taiwán, Corea y Estados Unidos han sido capaces de fabricar en la frontera tecnológica. Ello revela la intensidad del cambio tecnológico y la complejidad que los chips han ido adquiriendo desde inicios del siglo XXI.

[179] Intel ha realizado una serie de anuncios de inversión en territorio comunitario. En marzo de 2022, anunció una inversión por 33.000 millones de euros para construir una fábrica en Alemania, aunque han surgido diferencias con el gobierno alemán que han retrasado el proyecto. A mediados de 2023 agregó otra inversión por 4.600 millones de dólares en Polonia (Intel; El Economista).

[180] Según fuentes norteamericanas, respecto a la IA generativa asociada a los modelos lingüísticos, las empresas chinas van de 1 a 3 años por detrás de sus homólogos estadounidenses, y OpenAI marca el ritmo (Meacham, 2023). Además, los controles a la exportación de 2022 de la administración Biden sobre chips informáticos avanzados impiden a China acceder a un hardware clave para crear IA avanzada. Otras fuentes señalan un atraso mayor en el desarrollo de las herramientas y el software necesarios para fabricarlos. Según un análisis del Instituto Danés de Estudios Internacionales (Jiang, 2023), en 2022 China logró la fabricación de chips con un proceso de 7nm, todavía dos pasos por detrás de los procesos más avanzados de 5nm y 3nm de Taiwán y Corea del Sur. Lo que no dice esta afirmación es que, hasta no hace demasiado tiempo, las publicaciones que analizaban estos temas afirmaban que China tenía la capacidad de producir a 14nm.

[181] Más concretamente, SMIC en China ha producido chips en nodo de 7 nm integrados por Huawei en su teléfono inteligente (MATE 60) lanzado en el cuarto trimestre de 2023.

[182] Según un artículo publicado por la cadena estadounidense CNBC, "*las restricciones a la exportación estadounidense de chips avanzados perjudican su aceleración de la IA, pero gigantes del mercado chino como Huawei están intensificando sus esfuerzos en el campo de los chips, y China tiene el talento para la IA, con casi el triple de licenciados en IA que Estados Unidos*". Disponible en línea: https://www.cnbc.com/2024/03/31/in-ai-race-with-us-china-is-behind-on-a-key-weapon-its-own-openai.html

explicarlo. Las salas blancas deben mantener un nivel extremo de limpieza y control térmico y están equipadas con maquinaria compleja para la producción de chips. El gasto de capital (capex) necesario para una fábrica de capacidad estándar que produzca chips analógicos avanzados ronda los 5.000 millones de dólares, mientras que una fábrica de dispositivos lógicos y de memoria avanzados podría superar fácilmente los 20.000 millones de dólares (EC-JCR, 2023).

La configuración actual de la CVM de semiconductores exhibe más de 50 puntos potenciales únicos de fallo, lo que equivale a más del 65% del valor del mercado mundial vulnerable a interrupciones o shocks ocasionados por diversos motivos (desde el crecimiento de la demanda, los largos ciclos de fabricación, la inflexibilidad del suministro, hasta las tensiones geopolíticas). Esta situación no afecta únicamente a la UE sino también a los Estados Unidos pero lo que resulta evidente que la cadena de suministro dista mucho de ser resiliente (EMI, 2023).

### 6.4 Debate sobre la situación de la UE

La eficiencia económica y la creciente sofisticación de la tecnología de semiconductores han sido los principales impulsores del proceso de fragmentación de la cadena de valor y de mayor especialización. Esta tendencia también ha llevado a una concentración de las empresas y de la geografía tanto del diseño como de la fabricación de semiconductores en Estados Unidos y Asia, respectivamente, y a un aumento significativo de los costes de inversión tanto para las capacidades de diseño como de fabricación (OCDE, 2023b).

La suposición de que toda la discusión geopolítica de los semiconductores gira en torno a la seguridad del suministro y la resiliencia de las cadenas de valor ignora la dinámica cambiante de la política y la economía internacionales, que ya están remodelando las reglas del juego. El mundo se está alejando del libre comercio, por lo que no se puede dar por sentado un suministro seguro de chips producidos en Asia (Dachs, 2023; Mariotti, 2022). En esta industria, los retos y las oportunidades varían de un segmento a otro, al igual que su impacto en otras tecnologías emergentes. La evolución tecnológica actual del sector demuestra que el diseño y la fabricación son componentes esenciales de la producción de chips avanzados o de gama alta.

*6.4.1 IST para semiconductores*

En las secciones anteriores se examinó brevemente la relevancia diferenciada de los distintos segmentos de la cadena de valor, se identificaron a los actores más relevantes y se observó la configuración del campo organizativo relacionado con esta tecnología[183]. De ello se deriva que en los segmentos de diseño y fabricación de semiconductores la UE presenta un posicionamiento vulnerable. Este apartado complementa la evaluación cualitativa para darle mayor consistencia al argumento.

Por cierto, en el marco de caso del sistema 5G estudiado en el capítulo precedente se mencionaron las interdependencias entre ese sistema tecnológico y la tecnología de semiconductores. Por consiguiente, la aplicación del IST que sigue asume muchas de las apreciaciones ya formuladas (que sean pertinentes para este caso) a fin de evitar reiteraciones. Las fuentes más relevantes son las siguientes: la base de datos Predict (2023), el Proyecto "*Monitor Europeo de Ecosistemas Industriales*" (EMI)[184], el SIA factbook (2024), el Cuadro de indicadores de I+D industrial de la UE (2023). Complementariamente, se consultaron estudios producidos y/o financiados por instituciones y asociaciones europeas y norteamericanas para contrastar datos, apreciaciones y hallazgos (Jones *et al.*, 2023; Ciani y Nardo, 2022; Informes del Servicio de Investigación del Congreso -CRS-, Servicio de Investigaciones del Parlamento Europeo -EPRS-; Centro Conjunto de Investigación de la Comisión Europea).

Es apropiado insistir en que los datos utilizados permiten aproximar parcialmente los aspectos que se busca capturar. Por ejemplo, para dimensionar los indicadores que forman parte del subpilar Capital Humano, así como inversiones empresariales, los datos corresponden al sector TIC en su definición operacional que permite una comparación

[183] De acuerdo con la perspectiva adoptada por el trabajo de Edler *et al.* (2023) que se apoya en la teoría de la agencia embebida, el aparato metodológico consta de dos bloques. El primero es el de los "actores", que hace hincapié en el papel de los gobiernos y las organizaciones supranacionales junto con el de las grandes empresas y los organismos de investigación. El segundo es el del campo organizativo, que puede entenderse como un terreno de juego o maniobra (en constante cambio) que determina las reglas del juego. Como sostienen los autores, «*en el contexto de la soberanía tecnológica, el juego genérico que juegan los actores es la competencia tecnológica en relación con una tecnología específica o un conjunto de tecnologías mutuamente dependientes*» (p. 5).

[184] El proyecto fue iniciado por la Comisión Europea, Dirección General de Mercado Interior, Industria, Emprendimiento y PYME y el Consejo Europeo de Innovación y la Agencia Ejecutiva para las PYME (EISMEA). El EMI (por sus siglas en inglés) es presentado como una de las principales herramientas que utiliza la Comisión Europea para supervisar y evaluar las tendencias en la aplicación de la transición ecológica y digital en los ecosistemas industriales. EMI proporciona a los responsables políticos, al mundo académico y a la industria datos actualizados de alta calidad y perspectivas para la toma de decisiones. Para más detalles ver: https://monitor-industrial-ecosystems.ec.europa.eu/about/what-is-emi

adecuada con países que no pertenecen a la UE (Predict 2023)[185]. Los sectores industriales más estrechamente relacionados con la fabricación de semiconductores son el 26.11 "fabricantes de componentes electrónicos" y 26.12 "fabricantes de placas de circuitos impresos" de la clasificación NACE[186]. Estos sectores de la clasificación industrial oficial son los que reúnen a la mayoría de las empresas que trabajan en semiconductores. También, se consideraron los datos de Comext sobre el comercio para categorías específicas de productos/insumos frente a los países incluidos para comparar (es decir, Estados Unidos, China, Corea del Sur y Taiwán)[187].

Con la finalidad de reducir las brechas surgidas del empleo de información muy agregada, se incluyeron indicadores específicos de la I+D como el volumen de negocios de los productores de chips (fundiciones) y diseñadores de chips (empresas sin fábricas) propiedad de la UE identificadas en el análisis cualitativo, así como el número de empleados.

Las tablas 6.1 y 6.2 presentan los indicadores y fuentes en los cuales se basaron las estimaciones. De todas maneras, tal como expone el estudio de Ciani y Nardo (2022), mientras que se apela a los datos comerciales para medir las dependencias geográficas de las diferentes tipologías de semiconductores, una serie de limitaciones en los datos restringen las opciones para realizar análisis más granulares.

Primero, la información no indica dónde se producen los bienes ni tampoco los mismos están vinculados a empresas específicas. Incluso, las descripciones de los productos no son lo suficientemente detalladas como para distinguir fehacientemente entre las tecnologías más avanzadas y las más maduras (Ciani y Nardo, 2022, p. 6). Segundo, los semiconductores se asocian a unos pocos códigos sectoriales en las clasificaciones oficiales que sólo representan

[185] Dentro de esa base de datos, las industrias de fabricación de TIC están conformadas por la fabricación de componentes y placas electrónicas, fabricación de ordenadores y equipos periféricos, fabricación de equipos de comunicación y fabricación de electrónica de consumo

[186] Las empresas proveedoras de software para el diseño de chips (EDA), se encuentran entre las que se dedican a "otras publicaciones de software", 58,29. Los proveedores de máquinas para la fabricación de semiconductores se clasifican en otros códigos (26.70 "fabricación de instrumentos ópticos y material fotográfico", en 27.90 "fabricación de otro material eléctrico" o 28.89, "fabricación de otra maquinaria para usos especiales"), así como los proveedores de productos químicos y gases 20.11, "fabricación de gases industriales", y 20.59, "fabricación de productos químicos" (Ciani y Nardo, 2022, p. 19-20).

[187] En la clasificación de 4 dígitos del SA (Sistema Armonizado o HS en inglés), las categorías de productos más representativas son (1) diodos, transistores y dispositivos semiconductores similares (SA 8541) y (2) circuitos electrónicos integrados como procesadores, memorias y amplificadores (SA 8542). Datos del SA 8541 (diodos, transistores y dispositivos semiconductores similares), que incluye los dispositivos semiconductores menos avanzados.

parcialmente la realidad de las empresas de la cadena de valor[188]. Tercero, las actividades de lo que se denomina *back-end* (ensamblado, empaquetado y testeo) suelen clasificarse con otros códigos sectoriales, junto con empresas totalmente ajenas a los semiconductores.

Dado el enfoque de este capítulo que se centra en los segmentos de diseño y fabricación y no en toda la cadena de valor, algunos de estos problemas son superados parcialmente.

**Tabla 6.1** Indicadores compuestos Activos y competencias

| Subpilar | Indicador individual / descripción | Fuente |
|---|---|---|
| **Capital Humano** | Esp. industrias manufactureras TICs Promedio 2015-2022 (1000 personas empleadas) | 2023 PREDICT Dataset; DESI 2023 |
| | Especialistas técnicos empleados en industrias de fabricación de TIC (1000 personas empleadas) (media 2012-2019) | |
| | Esp. industrias serivicios TICs Promedio 2015-2022 (1000 personas empleadas) | |
| | Personal equivalente a tiempo completo en I+D TIC / total PERD (promedio 2015-2022) | |
| | Personal Equivalente a Tiempo Completo en I+D industrias manufactureras TIC/Total PERD (Promedio 2015-2022) | |
| | Investigador equivalente a tiempo completo en I+D TIC / total RERD (promedio 2015-2022) | |
| | Investigador Equivalente a Tiempo Completo en I+D industrias manufactureras TIC/Total RERD (Promedio 2015-2022) | |
| **Esfuerzo C&T** | Gasto empresarial en I+D (Millones de euros corrientes PPA) sector TIC / Total Gasto empresarial en I+D (promedio 2015-2022) | 2023 PREDICT Dataset, DESI Report |
| | Gasto empresarial en I+D (Millones de euros corrientes PPA) industrias manufactureras TIC/Total Gasto empresarial en I+D sector TIC (promedio 2015-2022) | 2023 EU Industrial R&D Scoreboard |
| | Inversión media en I+D de las principales empresas de semiconductores (2018-2022) (millones de euros). Estimaciones en base a información del Cuadro de Indicadores de inversión industrial en I+D 2020-2023. UE se basa en IDMs. EEUU se basa en compañías *fabless*. China se basa en *fabless y fundiciones*. Corea se basa en IDMs. | 2023 EU Industrial R&D Scoreboard |
| | Gasto en I+D como porcentaje de las ventas de las principales empresas de semiconductores (2020-2022) (millones de euros) | SIA factbook 2024 |

[188] Según los autores, "*los códigos sectoriales oficiales abarcan alrededor del 60% de las empresas pertenecientes a la cadena de valor, principalmente Fabless (diseño de chips), Foundries (producción de chips) e IDMs (fabricantes de diseños integrados)"* (Ciani y Nardo, 2022, p. 6).

| | | |
|---|---|---|
| | Publicaciones científicas - Recuentos fraccionados de publicaciones científicas relacionadas a semiconductores atribuidas a un área geográfica o país/ total publicaciones científicas relacionadas de los países comparados en el IST (2018-2022). Se seleccionaron los siguientes campos: Electroquímica, Ciencias de la Computación (todas), Ingeniería Aeroespacial, Ingeniería de Automoción, Ingeniería Biomédica, Mecánica Computacional, Ingeniería de Control y Sistemas, Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Ingeniería Industrial y de Fabricación, Ingeniería Mecánica, Cerámica y Composites, Materiales Electrónicos, Ópticos y Magnéticos, Matemáticas Computacionales, Informática Teórica, Sistemas Sensoriales, Física atómica y molecular, y óptica. | Elsevier's Scopus® database, Estadísticas de la OCDE |
| | Publicaciones científicas del país relacionadas con los semiconductores/ total Publicaciones científicas (2018-2022) | Elsevier's Scopus® database, Estadísticas de la OCDE |
| **Capacidades domésticas de innovación** | Principales RTO/Centros de I+D de Universidades | QS Ranking, Elsevier's Scopus® database, Web of Science (WoS), SIA factbook 2024, EC, TSIA; EC-JCR (2023) |
| | Numero promedio de universidades en campos STEM dentro del top 20 | |
| | Porcentaje de universidades (relacionadas con carreras STEM afines) clasificadas entre las 250 principales que ofrecen titulaciones de grado y posgrado en disciplinas relacionadas (ciencias de la computación, física y física aplicada, ingeniería eléctrica, electrónica, ingeniería de materiales, ingeniería química) | |
| | Capacidad de fabricación de semiconductores por países | SEMI Europe; EC-JCR (2023); SIA Factbook 2024 |
| | Capacidad de fundiciones avanzadas <10nm | |
| **Capitalización efectiva I+D** | Familia de patentes IP5 por dominios tecnológicos de la OMPI (Fecha de prioridad, Inventor) (2010-2020) | Estadísticas de la OCDE |
| | Ventajas tecnológicas reveladas | Estadísticas de la OCDE |
| | Volumen de negocios por propiedad de las empresas *Fabless*, fundicion e IDM (promedio), ubicación del propietario final global. Elaboración sobre la base de los datos de BvD y de la lista de empresas de la cadena de valor de los semiconductores del Centro Conjunto de Investigación de la Comisión Europea. | SEMI 2023, SIA factbook 2024, Ciani y Nardo (2022) |
| | Promedio exportaciones CI y componentes electrónicos/promedio total exportaciones (2018-2022). Estimaciones basadas Sistema Armonizado (SA o HS en inglés) códigos 8542 y 8541 que comprenden procesadores "85423190", circuitos electrónicos integrados (otros) "85423990", D-Rams, almacenamiento > 512 mbit "85423239", memorias multicombinacionales "85423290", amplificadores "85423390"; Diodos "85411000", transistores con un índice de disipación >= 1 W "85412900", diodos emisores de luz "85414010", dispositivos semiconductores fotosensibles "85414090", cristales piezoeléctricos montados "85416000". | UN Comtrade, Directorate-General for Trade |

| | | |
|---|---|---|
| | Promedio exportaciones químicas utilizados en utilizadas en la fabricación de semiconductores/promedio total exportaciones (2018-2022). Estimaciones basadas en SA códigos 8112 que incluye berilio, cromo, germanio, vanadio, galio, hafnio, celtio, indio, niobio, columbio, renio y talio, y artículos de estos metales; y SA "280461" Silicio que contenga >= 99,99% en peso de silicio. | |
| | Promedio Exportaciones materias primas críticas utilizadas fabricación semiconductores/promedio total exportaciones (2018-2022). Estimaciones basadas en SA código 3818 Elementos químicos dopados para uso en electrónica, en forma de discos, obleas o formas similares; compuestos químicos dopados para uso en electrónica | UN Comtrade, Raw Material Information System (RMIS), EU Directorate-General for Trade |
| Fuente: Elaboración propia | | |

**Tabla 6.2** Definiciones de los indicadores compuestos para Condicionantes

| Subpilar | Indicador individual / descripción | Fuente |
|---|---|---|
| **Recursos externos** | Prom. importaciones materias primas críticas utilizadas utilizadas fabricación semiconductores/promedio total exportaciones (2018-2022). Estimaciones basadas en el SA código 3818 | UN Comtrade, Raw Material Information System (RMIS), EU DG for Trade |
| | Promedio importaciones químicas utilizadas fabricación semiconductores/promedio total exportaciones (2018-2022). Estimaciones basadas en SA códigos 8112 y 280461 | UN Comtrade, EU DG for Trade |
| **Procesos externalizados** | Prom. importaciones CI y componentes electrónicos/promedio total exportaciones (2018-2022). Estimaciones basadas en SA códigos 8542 y 8541 | UN Comtrade. EU DG for Trade |
| | Balanza tecnológica de pagos. Resultado de las exportaciones menos las importaciones. Se considera una medida parcial de los flujos internacionales de tecnología | |
| Fuente: elaboración propia | | |

En línea con la propuesta del capítulo IV, el IST calculado para la UE aplicado a la tecnología de semiconductores hasta 2022 es una función de sus activos y competencias, sus condicionantes (limitaciones) y sus impulsores de soberanía tecnológica. El año elegido (2022) es el último año donde las estadísticas de acceso público disponibles están relativamente más completas. El modelo define los factores que tienen más probabilidades de influir en el nivel de soberanía. El efecto está mediado por la existencia (o ausencia) de mecanismos de resiliencia y/o robustez tecnológica y por la capacidad potencial de apalancamiento de dichos mecanismos. Se expresa formalmente del siguiente modo:

$$IST_{semic,\ EU,\ 2022} = f\ (A\&C,\ Cond,\ STDrvs)$$

donde A&C significa Activos y Competencias, Cond son los Condicionantes y STDrvs representa los Impulsores de la Soberanía Tecnológica. El IST se expresa en una escala de 0 a 100, donde 0 implica el nivel más alto de no soberanía y 100 la soberanía total. El índice se calcula en dos pasos, primero se valoran los pilares y, segundo, se estima el índice como la suma ponderada de los tres pilares. El peso (w) asignado a cada uno de los tres pilares del IST es de 1/3. Se sustituyeron los términos del modelo por las puntuaciones obtenidas para calcular el valor final mediante la fórmula:

$$IST_{\text{semic, EU, 2022}} = (\omega 1 * A\&C + \omega 2 * STDrvs) + \omega 3 * (1/Cond)$$

En la tabla 6.3 se exponen los resultados:

**Tabla 6.3** Resultados del Índice de Soberanía Tecnológica en semiconductores

| Promedio puntaje Sub-pilar | Unión Europea | China | EE.UU. | Corea del Sur |
|---|---|---|---|---|
| Capital Humano | 12,72 | 38,76 | 22,99 | 23,26 |
| Esfuerzo C&T | 31,86 | 42,01 | 52,06 | 78,93 |
| Capacidades domesticas | 20,06 | 67,68 | 79,2 | 32,8 |
| Capitalización efectiva I+D | 13,58 | 26,27 | 58,30 | 86,22 |
| Recursos externos | 0,1 | 55 | 0,1 | 85,83 |
| Procesos externalizados | 24,11 | 74 | 19,36 | 53,12 |
| Resiliencia tecnológica | 11,75 | 26,25 | 30,75 | 20,25 |
| Promedio puntaje Pilar | Unión Europea | China | Estados Unidos | Corea del Sur |
| A&C | 21,83 | 43,68 | 53,13 | 55,3 |
| Cond | 12,1 | 40,5 | 9,73 | 69,47 |
| Tec_res | 11,75 | 26,25 | 30,75 | 20,25 |
| Valor del pilar ponderado | Unión Europea | China | EE.UU. | Corea del Sur |
| A&C*0,33 | 7,20 | 14,41 | 17,53 | 18,25 |
| Cond*0,33 | 3,99 | 13,37 | 3,21 | 22,93 |
| Tec_res*0,33 | 3,88 | 8,66 | 10,15 | 6,68 |
| TSI X 5G 2021 = (A&C*0,33 + Tes_res*0,33) + (Cond*0,33) /1 | | | | |
| IST CN | 36,44 | | | |
| IST US | 30,89 | | | |
| IST CS | 47,86 | | | |
| IST EU | 15,07 | | | |
| Fuente: Elaboración propia | | | | |

Los resultados revelan que el nivel de soberanía tecnológica de la UE en relación con los segmentos diseño y fabricación de semiconductores se situaba en 2022 en un nivel "medio-bajo" (15,07 puntos). En lo concerniente al primer pilar, los subpilares que componen los Activos y Competencias evidencian las debilidades respecto a la situación de la UE en

comparación con algunos de los grandes actores. Cabe agregar que el 11,5% de los especialistas TIC del bloque europeo trabaja en el sector manufacturero, el resto lo hace en industrias de servicios. Este patrón parece consistente con el observado en relación con las inversiones de las empresas donde casi un 32% se destina a las manufacturas contra el 68% en promedio que va a los servicios.

Aunque muchas innovaciones tecnológicas punteras desarrolladas por las Organizaciones de Investigación Tecnológica (RTO en inglés) de la UE han sido adoptadas en otras partes del mundo, las empresas europeas no han seguido necesariamente su ejemplo. La concentración de las empresas en sus mercados proporciona una visión de la base manufacturera actual, que es débil y poco diversificada, especialmente en las tecnologías digitales y los nodos de vanguardia. Ello es consistente con los hallazgos del capítulo VII respecto de las patentes y la geografía de los inventores de las empresas en los sectores vinculados a las tecnologías digitales.

Ciani y Nardo (2022) revelaron que alrededor del 80% de los proveedores de las firmas europeas de semiconductores tienen su sede fuera de la UE. El bloque es un importador neto de productos de las categorías 8541 como 8542. La primera comprende componentes más maduros (Diodos, transistores, diodos emisores de luz, dispositivos semiconductores fotosensibles y cristales piezoeléctricos montados). La segunda, en cambio, incluye circuitos electrónicos integrados como procesadores, memorias y amplificadores. Los chips y memorias más avanzados, que luego se emplean en la electrónica de consumo, la automoción y la industria espacial, se comercializan bajo esta categoría (Ciani y Nardo, 2022, p. 13). Según EC-JCR (2023), la cuota de Europa en la producción mundial total ha descendido del 9% en 2009 al 7% en 2022. Esta situación limita su capacidad para producir por debajo de los 22 nm y tiene una cuota restringida en determinados productos, así como en los circuitos integrados avanzados (DEC-EC, 2020). Existe un desequilibrio geográfico en la producción, con Europa experimentando un declive.

Los puntos fuertes de la UE en producción son los chips para aplicaciones industriales y de automoción, incluidos los sensores y los microchips discretos (Dachs, 2023). Las empresas IDM de la UE son Infineon (Alemania), NXP (Países Bajos) y STMicroelectronics cuyas

filiales se sitúan mayoritariamente en Francia e Italia, aunque su Sede está localizada en Países Bajos[189]. Estas empresas están especializadas y han reforzado su posición en segmentos de mercado específicos. Producen principalmente dispositivos analógicos y lógicos para los sectores de la automoción y la industria, lo que concuerda con las inversiones de estos países en I+D[190]. Otros actores importantes son Bosch, AMS, X-Fab y la empresa austriaca AT&S. En los Países Bajos se encuentra Nexperia, de propiedad china, mientras que en Francia está Melexis e Intel en Irlanda.

Las inversiones en equipos de fabricación de chips actualizados y de última generación son una materialización de las capacidades de expansión y mejora de una fábrica. Por lo tanto, analizar el gasto en equipos de fabricación por regiones es un buen indicador de qué regiones han realizado las mayores inversiones debido a sus procesos de fabricación. Entre 2003 y 2020, los países europeos redujeron su inversión en el mercado mundial[191]. Al considerar la fabricación de obleas en general, la UE tiene la menor capacidad de fabricación de obleas en todos los nodos tecnológicos (Kleihans, 2021)[192]. Hay más de 50 fábricas de semiconductores situadas en varios Estados miembros, como Alemania, Francia, Irlanda, Italia, Austria, Países Bajos, Bélgica, Hungría, República Checa y Suecia. En la UE la mayoría de las fábricas producen en nodos maduros en obleas de 150 mm y 200 mm (CE, 2022).

En cuanto al segundo pilar, los datos revelan un limitado déficit comercial en algunos insumos utilizados para la fabricación de semiconductores. Este dato es consistente con la baja participación relativa de la UE en la producción de chips de nodos maduros y la nula capacidad respecto a los denominados nodos avanzados.

[189] STMicroelectronics es propiedad en un 28% de los gobiernos de Francia e Italia a través de Bpifrance y Cassa Depositi e Prestiti (CDP Spa).
[190] Infineon ostenta una posición de liderazgo en semiconductores de automoción, alcanzado en 2023 una cuota de mercado del 14% (Infinieon, 2024).
[191] Pasaron de aproximadamente 69.000 millones de dólares, lo cual significaba casi el 12% (unos 2.400 millones de dólares ese año) a sólo el 3% (unos 2.560 millones de dólares) (Kleihans, 2021). Cabe destacar que estos datos incluyen a países como el Reino Unido, entonces un Estado miembro con un peso relativo significativo.
[192] La capacidad de obleas para los nodos de proceso entre <10nm y >20nm es atribuible en su totalidad a las fabricaciones de Intel en Irlanda (14nm). Para los nodos de proceso comprendidos entre menos de 40nm y más de 20nm, la capacidad de obleas se divide entre las fábricas de STMicroelectronics en Francia e Italia, que utilizan FD-SOI de 28nm, y las fábricas de Globalfoundries en Alemania, que utilizan FD-SOI de 22nm. La capacidad de fabricación de obleas para procesos entre <180nm y >40nm corresponde a STMicroelectronics y Globalfoundries, mientras que Bosch (65nm en Alemania), Infineon (90nm en Alemania), X-FAB (130nm en Francia) y NXP (140nm en los Países Bajos) son algunos de los principales IDM. Sin embargo, casi la mitad de la capacidad europea de fabricación de obleas comprende nodos de 180nm o más.

En relación con el tercer pilar, los impulsores de ST arrojan resultados mixtos. Algunos son neutrales (es decir que no mejoran ni empeoran la situación de la UE) y otros negativos ya que a la brecha existente entre la oferta y la demanda de capital humano se agrega, que el bloque es importador neto de algunos metales para la producción de semiconductores, que el 100% de la capacidad de producción de nodos avanzados (en nodos inferiores a 7 nm) se localiza en TSMC en Taiwán y Samsung en Corea del Sur y que Asia oriental es la región más importante para la fabricación back-end (ensamblaje, empaquetado y ensayo). )[193]. Las instalaciones de Intel en Irlanda son las únicas con una capacidad de 14nm en todo el territorio del bloque. En 2023 fue inaugurada la fundición "Fab 34" de Intel, la primera que utilizará litografía ultravioleta extrema en fabricación de alto volumen en Europa[194].

*6.4.2 ¿Qué dice la "fotografía" que provee el IST?*

A partir de los datos relevados por el IST y el análisis cualitativo correspondiente, es posible señalar que el diseño de chips de la UE depende de la I+D y de acuerdos estables con fundiciones situadas en todas partes para garantizar la producción de los chips diseñados, mientras que las instalaciones de fabricación de la UE dependen del rendimiento relativo con respecto a los procesos de nodos más avanzados implementados por fundiciones no europeas. Ahora bien, un punto central se refiere a las condiciones en las cuales las empresas deciden instalarse en el territorio comunitario.

En el caso de TSMC, la UE ha aceptado que los costos de los chips fabricados en Alemania sean entre un 20-30% más caros que los que produce en Taiwán. Esta situación tiene un doble impacto. Por un lado, es esperable que afecte la competitividad de las firmas europeas usuarias. Por otro lado, pone en evidencia los costes de seguir esta alternativa para incrementar el nivel de ST.

[193] Existen tres tamaños estándar de oblea 150 mm o inferior (introducido por primera vez en 1983), 200 mm (introducido en 1992) y 300 mm (introducido en 2002). La oblea de 300 mm se considera actualmente la más moderna. Por ejemplo, la fábrica de 2021 de Bosch en Dresde produce obleas de 300 mm, pero de nodo de 65 nm (Deloitte Insights, 2022). Aunque se han propuesto obleas de 450 mm para 2025, es posible que su introducción se retrase. Los fabricantes pueden producir chips de nodos avanzados en obleas más pequeñas o chips de nodos finales en obleas más grandes.

[194] Una gacetilla de prensa de la empresa titulada "La nueva fábrica de Intel en Irlanda comienza la producción de alto volumen de la tecnología Intel 4" enfatiza esta situación y revela la estrategia de esta empresa al expresar: "*La apertura de la Fab 34 en Leixlip, Irlanda, combinada con la planta de fabricación de obleas planificada de Intel en Magdeburgo, Alemania, y las instalaciones de montaje y prueba planificadas en Wrocław, Polonia, ayudará a crear la primera cadena de valor de fabricación de semiconductores de vanguardia de extremo a extremo en Europa*". Al respecto puede consultarse: https://www.intel.la/content/www/xl/es/newsroom/news/new-fab-ireland-high-volume-production-intel-4-technology.html#gs.bjnj22

La UE va a la zaga de Estados Unidos, Taiwán y Corea en esfuerzos de I+D en este ámbito. El gasto de capital (CapEx) europeo en semiconductores representa sólo el 3-4% del gasto mundial de la industria (ASML, 2022). Además, la UE tiene previsto invertir (según lo acordado en la Ley del Chip) sólo una fracción de lo que China y Estados Unidos tienen previsto invertir en los próximos años. La horquilla oscila entre el 10% y el 50% de sus respectivas inversiones. Aunque las estimaciones varían, existe un consenso entre las consultoras tecnológicas internacionales de que la demanda de circuitos integrados lógicos avanzados crecerá rápidamente en los próximos años impulsada principalmente por la IA, la informática de alto rendimiento y las comunicaciones inalámbricas. Del mismo modo, los nodos tecnológicos maduros seguirán teniendo demanda, aunque a un nivel mucho más bajo. Además, sólo unas pocas empresas de la UE están desarrollando chips utilizando nodos de proceso de 5 y 7 nm. Entre ellas se encuentran NXP, STMicroelectronics, Ericsson y pequeñas empresas de nueva creación (Kleinhans, 2021). Los semiconductores empleados para la fabricación de sensores, dispositivos de potencia y radiofrecuencia (RF) son el punto fuerte de las principales empresas de semiconductores de la UE. Por lo tanto, es crucial apoyar el crecimiento de las empresas sin fábrica y ampliar las capacidades de diseño en la UE (CE, 2022, p. 32).

La mencionada adquisición de Siemens le permitió su ingreso en el segmento EDA en 2017. Esta adquisición brinda la oportunidad de colaborar con la comunidad europea de EDA y apoyar el desarrollo europeo en un sector en el que la UE tiene una escasa presencia, pero esta oportunidad sólo puede aprovecharse plenamente si existen incentivos que fomenten la participación de todas las partes interesadas.

La limitada participación de las empresas de la UE en el diseño de chips lógicos avanzados y segmentos de memoria no significa que el bloque carezca de capacidades de I+D. Institutos punteros como IMEC en Bélgica (y próximamente en Málaga, España) que también posee capacidades de fabricación en líneas piloto, CEA-Leti en Francia y Fraunhofer en Alemania han realizado importantes investigaciones en el campo de los semiconductores y han contribuido a crear robustos ecosistemas de innovación. Muchos avances tecnológicos han sido el resultado de colaboraciones entre empresas, universidades e instituciones de investigación que aúnan conjuntamente fondos y esfuerzos. Se trata de actores clave en el

desarrollo de la propiedad intelectual europea, la acogida de líneas piloto y la contribución al desarrollo de competencias y a la formación (CE, 2022). Al mismo tiempo, un punto débil importante es que las empresas europeas sólo invirtieron el 6% del total mundial en I+D de semiconductores en 2022. Esta cifra es significativamente inferior a la de Estados Unidos (60%), Corea del Sur (13%) y Taiwán (11%) (Dachs, 2023; OCDE, 2023b; CE, 2022).

En la fabricación de semiconductores, para avanzar hacia un nodo de proceso de última generación se requieren inversiones de gran magnitud cada cinco años como máximo y no de una sola vez en el momento inicial. Es decir que la inyección de importantes volúmenes de capital es recurrente a lo largo del tiempo. El peso del sector industrial de la UE en microelectrónica no es suficiente para ello, incluso si se utiliza dinero público como está ocurriendo desde 2022 con los Fondos de Nueva Generación en algunos Estados miembros. El Canciller Olaf Scholz anunció en 2024 que destinaría unos 20.000 millones de euros del Fondo para el Clima y la Transformación (KTF), dotado con 212.000 millones de euros, para reforzar su industria de semiconductores. Inicialmente destinado a apoyar el objetivo del Gobierno de transformar Alemania en una economía de energía limpia y libre de emisiones, Scholz amplió el ámbito de aplicación para incluir la financiación de los fabricantes de chips.

A nivel de la UE, la Ley de Chips Europea (2022) procura reforzar el ecosistema de semiconductores del bloque (a través de una plataforma de Diseño y líneas piloto, entre otras cuestiones), garantizar la resiliencia de las cadenas de suministro y reducir las dependencias externas, alcanzando una cuota de mercado mundial de semiconductores hacia 2030 de hasta el 20%. A su vez, complementa otras iniciativas como la Alianza en Procesadores y Tecnologías de semiconductores; las empresas comunes; el Proyecto Importante de Interés Común Europeo (IPCEI en inglés) sobre microelectrónica y tecnologías de la comunicación. Como ejemplo, la Empresa Común de Semiconductores, integrada por la Comisión Europea, una serie de estados participantes y tres asociaciones industriales[195], en su primera ronda de convocatorias de líneas piloto innovadoras, anunciada en noviembre de 2023, consiguió

[195] Los Estados son Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Israel, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, Rumanía, Suecia y Turquía. Las asociaciones industriales son EPoSS (Asociación Europea de Integración de Sistemas Inteligentes), Aeneas (Asociación Europea de Actividades Nanoelectrónicas), Inside (Asociación Industrial de la Plataforma Tecnológica Europea para la investigación, el diseño y la innovación en Sistemas Digitales Inteligentes y sus aplicaciones).

1.670 millones de euros de financiación de la UE, seguidas por el lanzamiento de 216 millones de euros en convocatorias de propuestas para apoyar iniciativas de investigación e innovación en los campos de los semiconductores, la microelectrónica y la fotónica en febrero de 2024 (*Electronic Components Strategic Research and Innovation Agenda* -ECS SRIA-, 2024).

También en el marco de la ley, Infineon anunció su colaboración con TSMC, Robert Bosch y NXP para invertir en la recientemente creada Compañía Europea de Fabricación de Semiconductores (ESMC en inglés) con sede en Dresde[196]. Es decir que la gran mayoría de los fondos para semiconductores se destinaron a empresas extranjeras como Intel, para su nueva fábrica de Magdeburgo, y TSMC, para su planta de Dresde. Esto indica un mayor impulso relativo a extender las operaciones de producción de las firmas extranjeras de semiconductores en otras localizaciones donde tienen mercados atractivos que a la revitalización de los fabricantes domésticos o de otros países del bloque.

¿En qué medida las empresas electrónicas son usuarias y no productoras de microchips en la UE? La diferencia entre la cantidad de chips que consume la UE (en torno al 20% del suministro mundial) y la que produce (alrededor del 9%) corresponde al volumen de inversión en equipos de producción de chips. Los consultores internacionales reconocen que, aunque los semiconductores de última generación serán importantes en el futuro, los chips fabricados con procesos más antiguos seguirán siendo fundamentales para muchas industrias en las que los países europeos son líderes, como el transporte, la sanidad, la fabricación y la industria manufacturera (*Deloitte Insights*, 2022). También podría ser relevante la industria agroalimentaria si tanto Internet de las Cosas como los sensores se expanden. En otras palabras, los avances previstos no sólo se centrarán en las tecnologías de vanguardia, sino que también se extenderán a industrias más convencionales. Dado que los proveedores europeos de semiconductores se han centrado en su base de clientes, la consecuencia obvia es que simplemente no existe una demanda a gran escala de semiconductores lógicos

[196] La empresa conjunta estará participada en un 70% por TSMC y en un 10% por Bosch, Infineon y NXP. Según los anuncios, cuando se construya la fundición, va a representar una instalación avanzada de fabricación de semiconductores de 300 mm (12 pulgadas) con capacidad FinFET que utilice tecnologías CMOS (nodos de 28-12 nm) (IEEE Power Electronics, 2023). Para más detalles puede consultarse: https://www.ieee-pels.org/magazine/driving-semiconductor-manufacturing-in-europe/

avanzados. De hecho, los IDM europeos acaban en la electrónica de consumo, pero en pequeñas cantidades.

**Tabla 6.4** Inversiones públicas para el sector de chips

| Actor | Objetivo | Num. inversiones en fundiciones/OSAT* | Incentivos (billones de dólares) |
|---|---|---|---|
| China | 70% autosuficiencia 2030 | + 30 | 142 |
| Corea del Sur | Liderazgo en chips lógicos, impulsar liderazgo en fundiciones | 3 | 55 |
| UE | 20% cuota mercado global 2030 | 8 | 47 |
| EEUU | Resiliencia en la cadena de suministro de Chips | 26 | 39 |
| Japón | US$ 1120 billones en ventas para 2030 | 4 | 17,5 |
| Taiwán | Desarrollo chips 1nm 2030 | 7 | 16 |
| *Ensamblado, Ensayo/testeo y Empaquetado<br>EEUU: Building supply chain, Ley de infraestructuras, Ley de Innovación y Competencia de Estados Unidos (USICA), Strategic competition act. China: Hecho en China 2025, 14° Plan quinquenal (2021-2025), Megaproyectos 2030, Estándares 2035, Plan de doble circulación. | | | |
| Fuente: Basado en Semiconductor Industry Asscociation, Boston Consulting Group (2023) | | | |

Mientras tanto, la UE cuenta con un ecosistema único de organizaciones de desarrollo tecnológico e industrias de semiconductores, en particular proveedores de líneas piloto y fabricantes de equipos (de diseño), materiales y herramientas. Su presencia es especialmente fuerte en la creación de imágenes de alta resolución, la deposición de capas atómicas, el ensamblaje y el empaquetado. También está presente en los mercados mundiales de sensores y actuadores basados en tecnología MEMS, semiconductores de potencia y sistemas empaquetados, mientras que la tecnología FD-SOI permite el desarrollo de procesadores de potencia ultrabaja (ECS-SRIA, 2023). Además, pequeñas empresas como RECIF (Francia) o SÜSS MicroTec (Alemania) cuentan con capacidades de I+D, fabricación avanzada y potencial para aumentar su cuota de mercado. SOITEC es líder en tecnología FD-SOI (Fully Depleted Silicon on Insulator) (EC-JCR, 2023).

### 6.5 Tendencias en circuitos integrados para IA

Tanto los datos como ciertas clases de semiconductores con capacidad para ejecutar más rápidamente algoritmos para aplicaciones en tiempo real (por ejemplo, para el vehículo

autónomo) como para ejecutar algoritmos de aprendizaje automático de forma paralela (por ejemplo, para análisis de imágenes) son esenciales para la cadena de valor de la IA por lo que disponer de ambos activos será crítico en la competencia económica global y en la estabilidad del sistema internacional (Wang, 2023)[197].

Las prestaciones de estos sistemas de IA requieren el uso de circuitos integrados específicos ya que no resulta suficiente o no siempre es posible disponer de arquitecturas de servidores especializados para tal propósito. Frente a esta necesidad surgieron los denominados chips de IA que son circuitos integrados especialmente diseñados para obtener un desempeño adecuado para satisfacer la IA generativa y el entrenamiento de los denominados grandes modelos de lenguaje[198], entre otros, los chips de memoria de gran ancho de banda (HBM en inglés). La creciente demanda conlleva potenciales problemas de aprovisionamiento[199] y otras implicaciones tecnológicas que repercutirán en la competitividad de empresas (Nikkei Asia, 10/05/2024).

Un posible elemento que permite observar la relevancia es el aumento de la capitalización y los valores de cotización en bolsa que superan el billón de dólares de las grandes tecnológicas tales como Amazon, Apple, Microsoft, Alphabet que se han incorporado al segmento, o líderes como Intel y Nvidia. Por ejemplo, esta última ostenta un claro liderazgo en las Unidades de Procesamiento Gráfico (GPU en inglés)[200], cuya más reciente arquitectura ha

[197] El número total de publicaciones sobre IA se multiplicó desde 2010. Los temas específicos de la IA que siguen dominando la investigación son el reconocimiento de patrones, el aprendizaje automático, la visión computacional, los algoritmos y la minería de datos. Estados Unidos ha mantenido el liderazgo en el porcentaje de publicaciones mundiales de repositorios de IA desde 2016 pero China se está acercando cada vez más. De hecho, las 10 instituciones que publican más artículos sobre IA en el subcampo de la visión computacional son todas chinas. Las instituciones estadounidenses están representadas en mayor medida entre los principales publicadores de Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN.)

[198] El desarrollo de la inteligencia artificial se acelera en todo el mundo, y el hecho de que esta tecnología esté en la base de todo, desde el correo electrónico hasta los sistemas de misiles, aumenta considerablemente el riesgo (*Foreign Polic*y, 27/03/2023). La mayor parte de estos avances se han producido en la denominada IA generativa que consiste en sistemas que producen nuevos contenidos de texto, imagen, audio o vídeo a partir de datos. El ejemplo que mayor notoriedad tiene para el gran público surge de los modelos lingüísticos (Stokel-Walker, 2023; OCDE, 2023) cuyos avances indican con claridad las potencialidades, así como los peligros que puede acarrear.

[199] Tal como analiza el estudio del Foro de Empresas Innovadoras (2024) sobre el tema, mientras que en el año 2023 tanto Microsoft como Meta recibieron 150.000 GPUs de Nvidia del modelo H100 cada una, las necesidades previstas para 2024 son solo considerando a Meta, 350.000 GPU H100 de Nvidia para la infraestructura informática de la compañía. Otras firmas como Amazon, Google, Oracle, Tencent añadieron otros 200 mil a razón de 50 mil cada una (CBInsights 2024). Sin embargo, este listado mencionado no es exhaustivo, sino que apenas apunta a dimensionar la evolución de tan solo un tipo de chip de IA.

[200] En marzo de 2024 la norteamericana Nvidia anunció su nuevo chip NVIDIA GB200 Grace Blackwell que se introducirá en el mercado próximamente. En ese momento será el chip de IA más potente disponible creado con 208.000 millones de transistores mediante un proceso de fabricación por TSMC de 4nm que ofrece hasta 192 GB de memoria interna que, junto a una interfaz de 8.192 bits, permitirá un ancho de banda de 8 TB/s. Su coste oscilará entre 30.000 y 40.000 dólares. Para más detalles https://nvidianews.nvidia.com/news/nvidia-blackwell-platform-arrives-to-power-a-new-era-of-computing

implicado una inversión de 10.000 millones de dólares en I+D[201]. Aunque pueda resultar especulativo, es razonable asumir que estos costos de desarrollo tienden a generar una mayor concentración y efecto de monopolio toda vez que la mayor parte de las empresas que integran este mercado, bastante más pequeñas, difícilmente puedan competir.

Muchas compañías han empezado a prestar atención al empleo de chips basados en arquitecturas abiertas como RISC-V con crecimientos estimados del mercado muy elevados[202] para afrontar los costes y los problemas de suministro que han comenzado a surgir. Es decir que la utilización de GPUs basadas en tecnología propietaria no es la única estrategia que el sector privado está encarando para gestionar el asunto. Además de las grandes, está emergiendo un conjunto de *start-ups* especializadas que impulsan el desarrollo de las opciones no propietarias que por ahora se utilizan para acelerar los modelos de recomendación, tanto en inferencia como en entrenamiento[203]. Las potencialidades de este estándar abierto no se agotan ahí, sino que se extienden a que surjan nuevos actores de herramientas, de software, de periféricos, así como de otros conjuntos de instrucciones (ISA) propietarias.

En este marco de aceleración de vías alternativas que ofrezcan soluciones a un escenario que exhibe desde su configuración inicial signos de complejidad, la UE lanzó en 2018 el Proyecto del Procesador Europeo (*European Processor Initiative* -EPI) con el objetivo de desarrollar un procesador con propiedad intelectual (IP) completamente europeo basado en RISC-V con arquitectura EPAC para un chip acelerador[204].

[201] La nueva arquitectura se denomina B200. Para más detalles puede consultarse: https://www.cnbc.com/2024/03/19/nvidias-blackwell-ai-chip-will-cost-more-than-30000-ceo-says.html

[202] La empresa de investigación de mercado Semico proyecta un crecimiento anual del 73,6% en el número de chips que incorporan la tecnología RISC-V, con una previsión de 25.000 millones de chips de IA para 2027 que generarán unos ingresos de 291.000 millones de dólares. Para más detalles pueden consultarse: https://www.dfrobot.com/blog-13462.html. Incluso la propia Meta se han adherido a RISC-V para la siguiente generación de procesadores aceleradores de inferencias y de chips para entrenamiento de grandes modelos de lenguaje https://www.nextplatform.com/2023/12/01/meta-sees-little-risk-in-risc-v-with-custom-accelerators/

[203] Entre los ejemplos que pueden identificarse, *Esperanto* ha creado el primer procesador de IA RISC-V de alto rendimiento destinado a competir contra potentes GPU en sistemas de recomendación de IA; y SiFive ha anunciado soluciones diferenciadas para aplicaciones generativas de IA y aprendizaje automático que incrementan el ámbito de aplicación inicial de RISC-V. En el caso de *Esperanto* véase https://spectrum.ieee.org/risc-v-ai. En el caso de *SiFive*, se trata de su Performance P870 y el *SiFive* Intelligence X390 que ofrecen un nuevo nivel de baja potencia, densidad de cómputo y capacidad de cómputo vectorial y, cuando se combinan, proporcionan el impulso de rendimiento necesario para un cómputo cada vez más intensivo en datos tal como puede ver en https://www.sifive.com/press/sifive-announces-differentiated-solutions-for-generative

[204] Este proyecto está en su segunda fase (SGA2). La arquitectura de EPAC incluye teselas vectoriales (VTILE) RISC-V, aceleradores especializados de aprendizaje profundo y esténcil (STX) y núcleos de precisión de coma flotante variable (VRP), todos ellos cuidadosamente diseñados en una arquitectura de teselas heterogénea cuyas subunidades cumplen con los esfuerzos de estandarización de RISC-V. https://www.european-processor-initiative.eu/accelerator/

La Brújula Estratégica 2022 de la UE ha definido entre sus objetivos convertir al bloque en líder mundial en IA reduciendo la dependencia de agentes externos para las tecnologías emergentes, aumentando la producción de procesadores informáticos de alto rendimiento y el establecimiento de un espacio de datos independiente. Además, el documento destaca cómo se espera que la IA en la UE sea un componente clave de una nueva estrategia europea de seguridad y defensa, ya que formará parte de los futuros sistemas de armamento (Servicio Europeo de Acción Exterior, 2022; Calderaro y Blumfelde, 2022).

A pesar de las intenciones formuladas en el ámbito de la política, la situación es compleja ya que, en los últimos veinte años, la evolución de la cadena de valor de los semiconductores ha creado barreras de entrada difíciles de superar (Kleinhans, 2021). Ricart y Álvarez-Aragonés (2024) señalan dos puntos de la UE que podrían, de persistir en el tiempo, dejar al bloque fuera de las tres grandes potencias mundiales: el número de grandes empresas y start-ups de IA Generativa y el moderado volumen de capital riesgo que logra invertir. En este sentido, la debilidad relativa de sus activos y competencias que impactan sobre su nivel de ST podría socavar los cimientos de su capacidad efectiva para incidir tanto en los debates en los foros internacionales como en el establecimiento de los marcos regulatorios de la IA.

### 6.6 Política de innovación orientada a la soberanía tecnológica en la tecnología de semiconductores: propuestas para la UE

En virtud de las secciones anteriores y del planteo de este capítulo, se identificaron varias opciones que tienen en cuenta las características y la dinámica de la industria. Algunas combinaciones, resumidas en la tabla 6.5, consisten únicamente en la instalación de una fundición, pero otras pueden basarse en tecnologías de diseño patentadas o de código abierto. Las dos primeras opciones dejan como están las capacidades de diseño y se centran en la fabricación. Al crear una fundición que garantice un suministro constante de chips a sectores tradicionales de la UE como la automoción y la electrónica industrial, se reforzará la resiliencia del bloque. Estas alternativas priorizan la racionalidad a corto plazo, al tiempo que mejoran efectivamente la situación prevista para la próxima década. Esto implica que la resolución de los chips puede no tener que ser de última generación, sino adaptarse a las necesidades específicas de estos sectores industriales. Sin embargo, este planteamiento puede

limitar las capacidades futuras de la UE en las industrias que requieren chips de nueva generación.

Por otro lado, puede crearse una fundición para nodos avanzados. No obstante, esta posibilidad tiene al menos tres limitaciones importantes. En primer lugar, puede no conducir necesariamente al desarrollo de las capacidades tecnológicas propias de la UE, ya que depende de las condiciones de participación de las empresas europeas, lo que puede exigir "abrir la caja negra".

Además, sin un ecosistema *fabless* que requiera estos procesos "avanzados", no será sostenible a medio plazo, ya que necesitará operar al menos al 80% de su capacidad (IRDS, 2022). El tercer elemento está estrechamente relacionado con el anterior. Estados Unidos está construyendo nuevas fundiciones en su territorio para complementar su gran segmento de diseño. Pero las fundiciones asiáticas también podrán satisfacer la demanda estadounidense en caso necesario, como hacen ahora. Por lo tanto, si la UE no apoya a sus empresas *fabless*, una fundición con las características anteriores no tendrá demanda para su producción.

La tercera opción es potenciar el pequeño ecosistema de diseño de la UE, pero centrándose en nichos de mercado en los que no es necesario satisfacer una demanda de gran volumen. Ahora bien, sin una demanda concreta, el potencial de crecimiento es limitado. Las fábricas de semiconductores sólo pueden seguir siendo viables a medio y largo plazo si reciben trabajo de empresas sin fábricas que diseñan sus chips basándose en una tecnología de nodo de proceso específica. Los diseños deben coincidir con los nodos tecnológicos que soporta la fábrica para el procesamiento de las obleas. La adopción de esta alternativa podría mejorar la posición de la UE en la cadena de valor. Pero si se examina con más detenimiento, parece mantener el statu quo en términos de diseño al basarse en bloques tecnológicos patentados (prediseños) de agentes no europeos. Este planteamiento no crea las condiciones para el desarrollo de la propiedad intelectual europea, ni fomenta una mayor coordinación entre los grandes fabricantes de equipos industriales, las PYME y las start-ups.

Las tres últimas opciones combinan elementos de las anteriores, pero introducen nuevas variables que permitirán el desarrollo de capacidades de soberanía tecnológica a medio plazo,

con diferentes grados de impacto dado que el énfasis se pone en ambos segmentos. Cada opción requiere la creación de un ecosistema microelectrónico fuerte basado en chips producidos en fábricas que utilicen, entre otras, tecnologías RISC-V de código abierto, incluyendo aceleradores de IA, memorias, etc. La creación de un ecosistema de diseño fuerte basado en desarrollos del bloque y líneas de producción de prueba para probar nuevas tecnologías es comparativamente más moderada en la configuración 4 que en las configuraciones 5 y 6, en las que se espera un reposicionamiento mucho más sólido de la UE en la CVM.

**Tabla 6.5** Principales opciones identificadas desde la perspectiva de la UE

| EU opciones ST | Énfasis en diseño | | Énfasis en producción | | Impacto ST al final de la década |
|---|---|---|---|---|---|
| | IP proprietario | RISC-V (IP abierto) | Fabs convencional | Fabs avanzadas | |
| **Opción 1** | Sin inversiones especiales | Sin inversiones industriales especiales | Mantener varias fundiciones >20nm | Mantener <20nm pequeñas instalaciones sólo para investigación | Mantener la situación actual (posición global débil) |
| **Opción 2** | Sin inversiones especiales | Sin grandes inversiones industriales | Instalar varias fundiciones >20nm | Instalar 2-3 nm fabs de firmas no europeas | Abordar las necesidades actuales y futuras de la industria de la UE |
| **Opción 3** | Promover empresas de diseño de CI con PI no europea | Sin grandes inversiones industriales | Mantener/instalar varias fundiciones especializadas >20nm | Mantener <20nm pequeñas instalaciones sólo para investigación | Abordar las necesidades actuales de la industria tradicional de la UE pero no la posición futura de la UE |
| **Opción 4** | Promover empresas de diseño de CI con IP no europea | Promover empresas de diseño basado en RISC-V | Mantener varias fundiciones especializadas >20nm | Instalar 2-3 nm Fundiciones con participacion UE | Reposicionamiento de la UE en la cadena de valor mundial |
| **Opción 5** | Promover IP Europea y frmas de diseño | Promover firmas diseño basado en RISC-V | Mantener/instalar varias fundiciones especializadas >20nm | Mantener <20nm pequeñas instalaciones sólo para investigación | Fuerte reposicionamiento de la UE en la cadena de valor del diseño |
| **Opción 6** | Promover IP Europea y frmas de diseño | Promover firmas diseño basado en RISC-V | Instalar varias fundicioes especializadas nueva s>20nm | Instalar fundiciones 2-3 nm | Fuerte reposicionamiento de la UE en la cadena de valor mundial |

Fuente: Elaboración propia

### *6.6.1 Implicaciones*

Entre las implicaciones políticas, la PIST pone de relieve la importancia de conocer a fondo una tecnología de uso general (y de doble uso) como los semiconductores y su cadena de valor mundial. Además, la justificación de la ST exige tener en cuenta las consecuencias de las opciones elegidas, que difieren en varios aspectos. Por un lado, las perspectivas económicas, tecnológicas y geopolíticas tienen implicaciones distintas a corto, medio y largo

plazo. Por otro lado, es esencial establecer estrategias de desarrollo de capacidades sostenibles y coherentes, basadas en un análisis imparcial de la situación actual, cuyo objetivo sea equilibrar la dimensión estratégica con las señales del mercado.

Reflexionar sobre la soberanía tecnológica en relación con los semiconductores requiere tener en cuenta la complejidad de la cadena de valor, altamente fragmentada, y los niveles de especialización implicados tanto en la fase de diseño como en la de producción. Hasta ahora, la industria manufacturera europea se ha centrado predominantemente en la reducción de costes. Este enfoque, coherente con una orientación de libre mercado, ha provocado que la UE se retire de industrias que son la base de las vulnerabilidades del bloque en el actual contexto geoestratégico como el caso de los equipos de comunicaciones (da Ponte *et al.*, 2022). Sin embargo, la industria europea de diseño de chips se enfrentaba a unos márgenes bajos basados en los derechos de propiedad intelectual pagados a otras empresas no europeas. En los últimos años, los principales actores de la industria (que no son europeos) han reforzado y mejorado sus posiciones a escala mundial (ESPAS, 2022). Aunque la cooperación internacional es un aspecto importante de sus estrategias, es complementaria y subordinada.

Por ejemplo, China está invirtiendo importantes recursos financieros y capital humano para construir una cadena de valor autosuficiente. Aunque el tiempo es un factor importante para tener en cuenta, no es el único a la hora de determinar su posicionamiento global. Estados Unidos estaría dispuesto a cooperar con Europa a través de la US *Chips Act* y ha propuesto la "*Chip 4 Alliance*" con Japón, Corea y Taiwán para establecer una cadena de suministro de semiconductores “democrática” (*Economist Intelligence Unit* 2022). Sin embargo, no es evidente que las empresas europeas puedan acceder a los recursos que destinará a esta tecnología ni tampoco cuáles serán las condiciones de acceso. La pugna con China es el objetivo central que orienta la estrategia geo-tecnológica de Estados Unidos. Al mismo tiempo, el país ha dado prioridad a la construcción de fábricas dentro de sus fronteras para reconstruir su base industrial.

La cuestión sigue siendo si la UE debe o puede permanecer neutral en el conflicto subyacente entre las dos mayores economías del mundo (Dachs, 2023; Ragonnaud, 2022). Hasta ahora,

se han documentado casos en los que las empresas de la UE se han visto perjudicadas al aceptar no vender sus equipos o ser relegadas en el suministro por las fundiciones asiáticas que dan prioridad a las *fabless* norteamericanas.

Arnal *et al*. (2023) señalan que la Unión Europea (UE) tiene un grado limitado de control sobre todos los proyectos y no dispone de un gran presupuesto central. Además, en el seno de la UE coexisten diversas estrategias a nivel nacional, como las promesas de subvenciones y las inversiones públicas. Este enfoque sólo contribuye parcialmente a la ST de la UE. Los esfuerzos para revitalizar el ecosistema, especialmente en los cuatro Estados miembros más grandes, pueden solaparse. Además, tanto la creación de capacidades en otros Estados miembros como el fomento de la cooperación internacional con socios estratégicos pueden carecer de una estrategia coherente. La UE lleva años intentando reforzar su ecosistema de diseño de chips, con un éxito limitado. Tras el declive de Nokia, Europa ya no posee una gran empresa como Qualcomm, Intel, Apple o Samsung que busque los diseños de semiconductores más avanzados (CSIS, 2022).

En relación con las implicaciones tecnológicas, como ha sido mencionado, el significado del término "nodo de frontera" varía mucho de una aplicación a otra. Por lo tanto, una estrategia de innovación destinada a lograr la soberanía tecnológica debería considerar la posibilidad de basarse en la creación de competencias transversales para tener éxito en última instancia. En el horizonte de los circuitos integrados avanzados, las sinergias con otras tecnologías emergentes abren un amplio abanico de posibilidades que la UE debería estar dispuesta a aprovechar. Entre ellas se encuentran los dispositivos clásicos - CPU, GPU, FPGA, ASIC, memorias - integrados en sistemas de mando como tecnologías lógicas y a través de unidades de procesamiento especializadas - algoritmos de IA, computación neuromórfica, supercomputación, redes inalámbricas avanzadas - IoT, computación cuántica, sistemas de autenticación e identificación, criptografía, *blockchain*, nuevos sistemas de comunicación móvil (IRDS, 2022; DEC-EC-Anexos, 2020). Las opciones seleccionadas hoy por la UE en el ámbito de los chips condicionarán su futuro.

Existe una ventana de oportunidad para adoptar una política de innovación basada en la soberanía tecnológica, en la que las definiciones apunten a construir activos y competencias

propias. Esto implica considerar las políticas de innovación con parámetros que pueden haberse pasado por alto debido a un enfoque en la reducción de costes por encima de otros factores. La UE podría desarrollar un sólido ecosistema de diseño invirtiendo y dando prioridad a las tecnologías de código abierto y probando nuevos procesos y materiales de investigación y desarrollo (I+D) a través de líneas de producción piloto. Esta estrategia a medio plazo mejorará las capacidades tecnológicas de la UE y le permitirá seguir el ritmo de sectores emergentes como la inteligencia artificial, las comunicaciones avanzadas y las tecnologías cuánticas.

De las opciones identificadas en la sección anterior, la sexta es la que mayor énfasis coloca en impulsar la ST apoyada en un esfuerzo predominantemente europeo. Sin embargo, la cuarta opción responde a una lógica orientada a reforzar los activos y las competencias de la UE, aunque le confiere un margen significativo a la cooperación con otros actores, incluidas las empresas no europeas que poseen tecnologías patentadas. En este punto, la necesidad de promover la consolidación de ecosistemas de investigación e innovación abiertos robustos con esos socios es clave y funcional a los intereses de ambas partes. Un entorno atractivo hace menos favorable una eventual nueva reubicación de las capacidades de fabricación por parte de esas empresas[205].

La tecnología de código abierto proporciona libre acceso al ecosistema de propiedad intelectual y permite su montaje y modificación. Esto permite a los centros de investigación y a las empresas centrar sus esfuerzos de I+D en la innovación y la aplicación. La Hoja de ruta para la soberanía europea en hardware, software y tecnologías RISC-V de código abierto (2022), permite identificar cuatro cuestiones/retos principales que la UE debe abordar para desarrollar una estrategia sostenible y eficaz que refuerce sus capacidades de soberanía tecnológica y su poder de decisión.

- Es importante abordar cuestiones transversales como la escalabilidad, la certificación en distintos ámbitos de aplicación y la seguridad.

[205] En abril de 2024, el Consejo de Autoridades Públicas de la Empresa Común Chips ha seleccionado los consorcios que implementarán cuatro líneas piloto para la tecnología de semiconductores. Es un paso importante en la aplicación de la Ley Europea de Chips, en particular para su iniciativa Chips for Europe. Como resultado, los principales laboratorios de investigación europeos recibirán 2.500 millones de euros para desarrollar y probar chips avanzados en Europa. Para más detalles consultar: https://digital-strategy.ec.europa.eu/es/news/europe-commits-semiconductor-innovation-new-testing-facilities

- Existe la percepción de que crear una propiedad intelectual defendible con código abierto es difícil, si no imposible. Esta percepción supone un reto importante para la financiación de las empresas emergentes basadas en el código abierto.
- Los proveedores europeos de propiedad intelectual, los servicios de diseño y los centros públicos de investigación deben redefinir sus modelos de negocio, impulsando los esfuerzos compartidos de costos y centrando el esfuerzo individual en las características diferenciadoras y los servicios especializados[206] (Open Source Hardware & Software Working Group, 2022, pp. 67-70).
- Uno de los principales retos a los que se enfrentan los diseñadores es la limitada disponibilidad de herramientas de automatización del diseño electrónico (EDA) y de diseño asistido por ordenador (CAD) de código abierto en Europa.

Aunque este último aspecto es compartido con otras regiones, para la UE es esencial apoyar los proyectos colaborativos de código abierto y crear una masa crítica europea significativa. Sólo así se estaría en condiciones de competir con los actores mundiales. Aunque relativamente débiles, cabe mencionar a continuación algunas iniciativas para herramientas CAD de código abierto que pueden ayudar.

Los esfuerzos europeos por ubicar instalaciones de fabricación avanzada en algunos Estados miembros se vieron impulsados cuando los países pudieron utilizar los fondos adicionales de la UE de Próxima Generación. Si finalmente las fundiciones anunciadas en Alemania de TMCS e Intel entran en funcionamiento junto con otras inversiones (más limitadas) en otros países europeos, pero también si incluyen capacidades de test y empaquetamiento, se reducirá la dependencia estratégica europea en los eslabones finales de la cadena de valor de los semiconductores[207].

[206] Los nuevos modelos podrían incluir proveedores que ofrezcan bloques de IP bajo licencias abiertas, permitiendo a los diseñadores utilizar, modificar y redistribuir los diseños sin costos de licencia, pero bajo ciertas condiciones preestablecidas. Además, podrían implementarse modelos de licencias duales, donde el uso básico es gratuito y abierto, pero se ofrece una licencia comercial para aplicaciones empresariales o con soporte especializado. También se podrían desarrollar servicios especializados de diseño personalizado, que aprovechen el código abierto como base, reduciendo costos y acelerando el tiempo de desarrollo. Por último, la conformación de consorcios público-privados, en los cuales organizaciones públicas de investigación tecnológica se asocien con empresas y universidades para desarrollar nuevas tecnologías, permitiría el acceso compartido a los resultados bajo licencias abiertas. Entre las organizaciones más conocidas que acogen cooperaciones de código abierto se destacan CHIPS Alliance y OpenHW Group.

[207] Si bien puede ser considerado un asunto muy técnico, es importante aclarar que esta situación solo impactaría a los semiconductores basados en silicio, pero la UE debe abordar otros materiales como nitruro de galio si quiere entrar en ámbitos como el aeroespacial o la defensa.

En función de la situación europea que revelan los resultados del IST, las opciones debatidas para aumentar la ST de la UE en semiconductores se han centrado en el acceso a la tecnología con grandes inversiones de capital, parte de ellas procedentes de fondos públicos. Sin embargo, no hay ST sin recursos humanos bien formados y capacitados[208]. Se trata de un requisito previo que debe abordarse con medidas políticas específicas. En el contexto de la UE, este hecho ha sido reconocido en todos los programas lanzados a nivel europeo y de los Estados miembros con el objetivo de proporcionar los especialistas necesarios durante varios años. Para abordar esta necesidad, los responsables europeos deberían considerar dos elementos complementarios:

- El tipo de especialistas necesarios dependerá de las opciones adoptadas para aumentar la ST. Si el esfuerzo se centra en el diseño de CI, el tipo de personal difiere fuertemente del caso de la opción centrada en la fabricación de CI tanto en competencias como en número total requerido. En ambos casos, los países son muy conscientes de que la dotación de titulados actuales de las universidades en este campo no es suficiente para cubrir la demanda estimada (Muscella *et al.*, 2024; Proyecto Metis)[209]. Tanto estudios realizados en el marco del proyecto METIS (*MicroElectronics Training, Industry and Skills*) como las estimaciones provisorias que se están llevando a cabo actualmente revelan una escasez de trabajadores cualificados en el sector de los semiconductores con perspectivas de profundizarse en los próximos años[210]. Se calcula que Europa tiene entre sesenta mil y varios cientos de miles de vacantes de empleo en el sector de las TIC y la electrónica, y muchas siguen sin cubrirse (De Boeck, 2022)[211]. Las investigaciones en curso revelan que la escasez de mano de obra podría afectar a todos los principales perfiles laborales técnicos, en particular a ingenieros, técnicos y especialistas en datos.

[208] La carrera de Ingeniería Eléctrica/Electrónica es la más común y la más solicitada para trabajar en semiconductores, seguida de la Física y las Ciencias de la Computación. Otros campos relevantes son la ingeniería de materiales y la ingeniería química.

[209] La Alianza Europea de procesadores y tecnología de Semiconductores ha publicado un informe sobre las brechas en la formación de talento que subraya lo siguiente: "*En la Unión Europea (UE), el déficit de cualificación en la industria de los semiconductores representa una preocupación especialmente acuciante. (...) la región se enfrenta a un desajuste entre la demanda de la industria y las capacidades de la mano de obra. Este desajuste no sólo obstaculiza la capacidad de la industria para mantener la competitividad, sino que también pone en peligro su capacidad para capitalizar las oportunidades emergentes en áreas como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas (IoT) y la fabricación avanzada"* (p. 4).

[210] La industria de semiconductores de la UE tiene como gran desafío abordar el problema de la escasez de talento tanto para diseño como fabricación, pero incorporando diferentes conjuntos de habilidades, en particular en el desarrollo de software y la IA (US-Taiwan Business Council, 2023).

[211] Jo De Boeck es el jefe de Estrategia de IMEC (*Chief Strategy Officer*). Para más detalles su artículo de opinión puede consultarse en: https://www.imec-int.com/en/articles/collaboration-europes-strength-global-war-talent-0

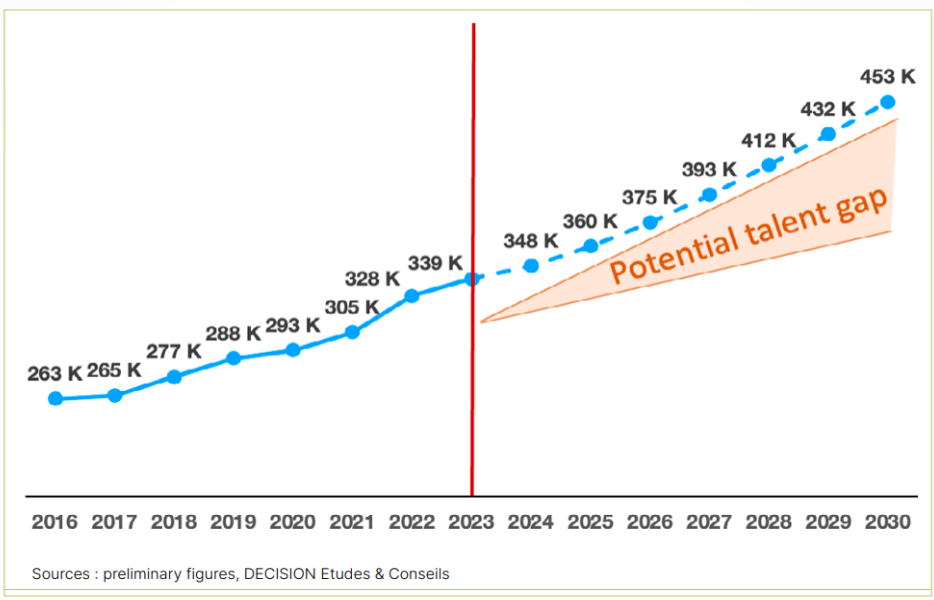
En 2023, la industria europea de semiconductores empleó aproximadamente a unas 340.000 personas (SEMI, 2023). La mano de obra en el sector ha crecido con una tasa media de crecimiento anual del 3% entre 2016 y 2021. Las previsiones de demanda para 2030 podrían traducirse en la incorporación de unos 113.000 empleados durante este periodo en todos los segmentos de la cadena de valor, lo que supone un aumento del 33% de la mano de obra de la UE en el sector de los semiconductores. La figura 6.2 expone las estimaciones del grupo de trabajo formado por académicos y personal de empresas europeas de semiconductores que integran la Alianza Europea de procesadores y tecnología de Semiconductores (Muscella *et al.,* 2024). Por otra parte, un estudio publicado por "*Strategy*" que forma parte del área de consultoría de PwC plantea una visión más pesimista que sostiene: "*la industria europea de semiconductores está rezagada en todos los fundamentos organizativos, así como en el cumplimiento de las expectativas de talento*".

En definitiva, se necesitan acciones específicas para abrir nuevas titulaciones en las que las competencias básicas deben estar alineadas con las opciones adoptadas. Sin embargo, esta educación abierta debería complementarse con competencias sobre sistemas propios vinculados a procesos de nodos o herramientas de diseño con una profunda implicación de las empresas clave. Existen varias alternativas para el desarrollo profesional. Su pertinencia depende de objetivos que son diferentes pero que pueden ser complementarios. Por ejemplo, cursos cortos como la Formación Profesional Continua, los seminarios técnicos, los módulos específicos en los cursos de grado y los programas de mejora de las competencias online. Asimismo, los doctorados industriales para los especialistas en el sector de fabricación también son una herramienta que está adquiriendo una creciente relevancia (Muscella *et al.*, 2024).

- La competencia por el talento para los semiconductores ha derivado en una batalla global en la que la atracción y retención de personal cualificado se ha convertido en un gran problema para las entidades públicas y privadas. Desde esta perspectiva, la UE necesita resolver un problema de migración interna de especialistas cualificados entre los Estados miembros, y otro externo en el que especialistas europeos en semiconductores bien formados podrían trasladarse a países extranjeros, principalmente a EE.UU.

Según plantea el jefe de Estrategia del IMEC, Jo De Boeck (2022), la inversión colaborativa en conocimientos y competencias puede ser un elemento diferenciador crucial para formar, atraer y retener talentos tecnológicos. El autor alude a la idea de esfuerzos orquestados que implican la participación de las partes interesadas (sector de microelectrónica). Algunas iniciativas sirven de ejemplo.

**Figura 6.2** Brecha de talento potencial de mano de obra en semiconductores




*EU semiconductor workforce (2016-2030)*

Fuente: Muscella *et al.* (2024, p. 10)

Primero, el Pacto por las Capacidades es respaldado por un amplio y diverso conjunto de socios de la industria, centros de I+D, proveedores de educación y ONG. El objetivo es apoyar a los ecosistemas industriales estratégicos en la creación de asociaciones para la mejora de las cualificaciones, la reconversión profesional, la atracción de "jóvenes talentos" y el desbloqueo de financiación europea, nacional y regional. Segundo, el Proyecto europeo Erasmus+ METIS, coordinado por SEMI Europe y en el que participan start-ups, PYME, grandes empresas, asociaciones industriales nacionales y de la UE, proveedores de educación formal y organismos reguladores en materia de acreditación y certificación.

Lo primero que es pertinente señalar es que el problema del talento no atañe exclusivamente a la UE, sino que es una suerte de consecuencia lógica del aumento exponencial de

tecnologías digitales y nuevos sectores basados en ellas. McKinsey (2022) subraya que la construcción de capacidades (propias) es más importante que nunca. Aun asumiendo los desafíos, implementar programas formales y estructurados que maximicen el potencial de las competencias de ingeniería existentes en los equipos mediante la incorporación de comportamientos transformadores. La experiencia de colaboración industria-academia, tal como revela la experiencia en Sachsen-Anhalt en Alemania donde Intel va a invertir en la construcción de facilidades, es una opción posible ya que se espera que genere unos 3000 nuevos puestos de trabajo.

El planteamiento que se deriva es ¿En qué otras regiones pueden promoverse esas asociaciones? ¿Pueden las IDM europeas ampliar su huella dentro del bloque? ¿Quién y cómo se asumen los costes que estas decisiones imponen? En efecto, estas acciones tienen sus costes inherentes. Como ha sido mencionado, basta observar el volumen de inversión y las dificultades que Estados Unidos está teniendo respecto a la mano de obra en la construcción de las plantas de TSMC y Samsung en su territorio.

### 6.7 Conclusiones

Este capítulo se ha centrado en la industria de los semiconductores y, en particular, ha puesto el énfasis en la dependencia de las cadenas de valor mundial con el objetivo de identificar la mejor opción para reforzar la soberanía tecnológica de la UE a medio plazo. Esta tecnología constituye una de las industrias más complejas y fragmentadas globalmente pero también una de las más estratégicas del siglo XXI. Los chips semiconductores se destacan por ser elementos esenciales en productos digitales y digitalizados de diversos sectores económicos. Además, son fundamentales para el desarrollo de tecnologías emergentes y disruptivas. Asimismo, su incorporación a armas y equipos sofisticados la convierte en esencial para la seguridad nacional.

A pesar de la relevancia consignada, la UE es un actor secundario de la CVM como muchos documentos oficiales reconocen y los mismos datos revelan. Ello representa un problema en el marco de un tablero geoestratégico en transición que encuentra en los semiconductores una de las tecnologías/sectores más afectados. Todas las fuentes coinciden en que la demanda de circuitos integrados lógicos avanzados crecerá rápidamente en los próximos años,

impulsada principalmente por la IA, la informática de alto rendimiento y las comunicaciones inalámbricas. Del mismo modo, la demanda de nodos tecnológicos maduros seguirá aumentando, aunque a un ritmo más lento.

Mientras que el tema ha generado mucha atención en los últimos años, una primera aportación de esta investigación es la combinación de la racionalidad de la ST con la inteligencia estratégica como una herramienta que permite analizar los puntos fuertes y débiles de la UE. Para ello se profundizó en la narrativa respecto al campo organizacional de los segmentos de diseño y fabricación, pero también se consideraron nuevas tendencias y las dinámicas emergentes relacionadas con los desarrollos de software y hardware de código abierto. Asimismo, se aplicó el IST para obtener una instantánea apoyada en evidencias empíricas y datos respecto al posicionamiento de la UE.

El análisis de un caso permite comprobar si las discusiones teóricas de los conceptos tienen sustento empírico y comprobar los potenciales impactos del liderazgo tecnológico en la libertad para decidir y actuar en relación con otros actores geopolíticos, así como para mejorar la competitividad en el mercado (ASD, 2020). Otras aportaciones se desprenden ello. Por un lado, los sistemas aislados y autárquicos son demasiado costosos, pero además su sostenibilidad no está garantizada, por lo tanto, no son una opción viable o deseable para la UE ni acorde a sus intereses de perseguir una autonomía estratégica abierta. De hecho, la cooperación internacional ha aportado importantes beneficios a la economía de la UE. Por otro lado, la carencia de capacidades propias en los segmentos críticos de una cadena de valor estratégico como la de los semiconductores permite afirmar que sin un adecuado nivel de ST el objetivo de la autonomía estratégica abierta que plantea la UE carece de cimientos para sostenerse. En un contexto de tensiones geopolíticas crecientes, ello expone al bloque a un amplio abanico de riesgos y amenazas derivadas de la eventual utilización de interdependencias asimétricas. Estos pueden surgir de intereses contrapuestos, pero también de intereses de países aliados que no necesariamente sean coincidentes.

El conjunto de insumos analíticos que siguieron el enfoque mixto -cualitativo y cuantitativo- que propone la tesis fueron la base para analizar posibles opciones que puedan tener efectos multiplicadores que contribuyan en mejorar el nivel de ST. En ese sentido, una segunda

aportación ha sido proponer una estrategia que se apoya en un abordaje integral (*top-down* y *bottom-up*) que da prioridad a la construcción de activos y competencias domésticos como base para reposicionarse a la UE en la reconfiguración de la CVM de semiconductores que está en curso, repensando las estrategias de colaboración con terceros actores y las alianzas internacionales. Este punto es la piedra angular para que la estrategia de cooperación internacional que despliegue la UE ocurra en condiciones relativamente simétricas.

# CAPÍTULO VII. SOBERANÍA TECNOLÓGICA Y COLABORACIÓN INTERNACIONAL

## 7.1 Introducción

El conocimiento y los activos intangibles se han convertido en factores determinantes de la economía mundial, tanto en la producción como en los bienes de consumo (Archibugi y Filippetti, 2014). La colaboración internacional se considera un motor clave para la generación de conocimiento y tiene importantes repercusiones en la innovación tecnológica (Archibugi y Michie, 1997). La UE ha promovido activamente la cooperación en CTI entre los Estados miembros, pero también ha ampliado sus relaciones con países de fuera de la UE mediante los instrumentos de cooperación internacional en el desarrollo de los programas marco de investigación e innovación como el Horizonte Europa (2021-2027) en vigor.

De hecho, las capacidades tecnológicas y la especialización de la UE van unidas tanto a una fuerte competencia internacional como a la elevada colaboración internacional. Parte de estas capacidades tecnológicas están asociadas a fuentes de conocimiento no europeas como, por ejemplo, las proporcionadas por inventores de fuera de la UE.

En este capítulo, el objetivo es analizar la capacidad relativa de la UE para generar tecnologías digitales, haciendo un estudio de la colaboración internacional en la generación de tecnologías para explorar cómo ésta puede condicionar su agencia para tomar decisiones y, por lo tanto, su soberanía tecnológica. Este ejercicio requiere analizar las limitaciones y fortalezas tecnológicas de un conjunto de agentes que integran el ecosistema de innovación digital del bloque. Sin embargo, esta investigación se centrará en las patentes de las empresas de actividades económicas ligadas a las tecnologías digitales por considerarlas protagonistas centrales del proceso de innovación en la actualidad y en el futuro, poniendo el foco en las conexiones internacionales con inventores extranjeros, dentro y fuera de la UE[212]. Aunque ello supone admitir desde el principio la limitación de no incluir las patentes aplicadas por universidades y organizaciones de investigación tecnológica. En todo caso, este trabajo

[212] Aunque las patentes constituyen un derecho de propiedad industrial sobre invenciones y no necesariamente un indicador de innovación en el mercado, el indicador de patentes proporciona una aproximación adecuada de la capacidad de desarrollar nuevas tecnologías y soluciones tecnológicas. Además, existe evidencia lo suficientemente contrastada y robusta para aceptarlas como un indicador fiable en los análisis cuantitativos de generación tecnológica (Pavitt, 1985; Trajtenberg, 1987; Basberg, 1987; Griliches, 1990; Frietsch y Grupp, 2006; Teece, 2021).

apunta a identificar potenciales puentes que conecten dos temáticas, la ST y la colaboración internacional, que han transitado trayectorias académicas desconectadas.

Según las estadísticas de la Oficina Europea de Patentes (OEP), así como algunos estudios recientes (Godinho y Simões, 2023; Confraria *et al*., 2021), las cuatro clases de patentes que representan una parte muy significativa y creciente del total de solicitudes durante la última década son el procesamiento informático (G06F), los semiconductores (H01L), la comunicación digital (H04L) y la comunicación inalámbrica (H04W). Estas clases representan menos del 1% de los 594 subsectores de la Clasificación Internacional de Patentes (CIP), pero concentran un número desproporcionado de solicitudes de patentes en la Oficina Europea de Patentes y en la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos (USPTO). Como informan Godinho y Simoes (2023), entre dos subperíodos, 2000-2004 y 2018-2019, el peso relativo de las cuatro clases juntas aumentó del 23,2% al 34,6% en la USPTO y del 14,0% al 20,8% en la OEP. En efecto, el predominio de estas clases refleja su papel clave como impulsores del proceso de transformación digital y su carácter habilitador en la generación de productos en todos los sectores e industrias en la actualidad.

La cuestión que se aborda en este capítulo se formula en estos términos: ¿Hasta qué punto una estrategia europea de innovación abierta a colaboraciones internacionales es compatible con una soberanía tecnológica de la UE en el ámbito digital (y cómo puede incluso reforzarla)? Un aspecto crítico es el relacionado pues, con qué posibles motores pueden apalancar y ampliar la base tecnológica de la UE aumentando la participación de los Estados miembros en la generación de tecnologías digitales.

El capítulo se organiza en cinco secciones más la conclusión. En la primera, se busca establecer un puente entre el marco conceptual de la soberanía tecnológica y la colaboración internacional para la generación de tecnología apelando brevemente a algunos antecedentes bibliográficos. La metodología y los datos se presentan en la sección tres. La sección cuatro describe las tecnologías digitales en la UE. La sección cinco contiene los resultados de la cartografía de patentes en este campo, la importancia relativa de las invenciones realizadas en naciones extranjeras, así como algunas implicaciones políticas. La sección seis presenta las conclusiones.

### 7.2 Soberanía tecnológica y dependencia internacional de las co-invenciones

La literatura empírica sobre los flujos internacionales de conocimiento ha identificado diferentes canales de difusión entre los que se destacan los flujos de importación e incluso exportación (Keller, 2010), las inversiones transfronterizas y un canal directo desincorporado de información codificada entre el que se incluyen las patentes y otros derechos de propiedad intelectual (Montobbio y Sterzi, 2013).

El análisis de patentes se ha utilizado para diversos fines, como el seguimiento de las tendencias tecnológicas, el análisis de los patrones de innovación tecnológica o el desarrollo de estrategias tecnológicas (Jeeeun y Lee, 2015). La información sobre patentes puede revelar las alianzas entre distintos tipos de organizaciones, incluidas las privadas-privadas, privadas-públicas, grandes-medianas empresas, etc. (OCDE, 2009). En los estudios sobre innovación su uso se fundamenta por su información normalizada sobre nuevas ideas y desarrollo tecnológico (Pavitt, 1985; Basberg, 1987; Griliches, 1990; Frietsch y Grupp, 2006; Teece, 2021). Es un indicador válido y sólido de la creación de conocimiento y actúa como proxy del conocimiento tecnológico acumulado (Trajtenberg, 1987; Patel y Pavitt, 1997). También se utilizan para supervisar las tendencias tecnológicas, los patrones de innovación y las estrategias de desarrollo (Jeeeun y Lee, 2015; Schmoch y Khan, 2019).

Los datos contenidos en los documentos de patentes son una fuente relevante para el análisis de la localización internacional y la difusión de diferentes tipos de tecnologías porque cada documento de patente individual incluye información sobre individuos e instituciones (Cantwell y Santangelo, 1999), así como de la dispersión geográfica de las redes de inventores en regiones y sectores específicos (Cano-Kollmann *et al*., 2013; Qiu *et al*., 2017; Medina *et al*. 2019). Estas redes de co-invención permiten explorar patrones de actividades de colaboración e innovación (Lee *et al*., 2016; Ejermo y Karlsson, 2006).

El número de patentes se correlaciona positivamente con el número de introducciones de nuevos productos o innovaciones (Basberg, 1987), lo que permite sostener que se trata de indicadores válidos y sólidos de la creación de conocimiento (Trajtenberg, 1987)[213]. Incluso

[213] Es pertinente señalar que en el ámbito de servicios digitales no es exactamente así puesto que el uso de secreto industrial es muy extendido.

se ha comprobado que las patentes son indicadores significativos del rendimiento de la cartera tecnológica en campos patentables (Schmoch y Khan, 2019). Los motivos y los beneficios asociados de las patentes garantizan que esta actividad sea un punto de referencia fiable para medir las capacidades tecnológicas y el rendimiento de la innovación de las organizaciones (Buggenhagen y Blind, 2022).

No obstante, frente a estudios centrados en las capacidades de patentamiento de empresas, industrias o países, el punto clave a destacar aquí es que el conocimiento y las habilidades necesarias para generar tecnologías, lejos de ser estáticas pueden fluir de un país (o región) a otro e intercambiarse a través de interacciones entre inventores y cesionarios; por ejemplo, en Medina *et al*. (2019) se confirma que la importancia de la conectividad internacional con grupos de conocimiento y centros de excelencia extranjeros ha sido crítica en la generación de conocimiento vinculado a las tecnologías de la información y las comunicaciones en España.

Por otro lado, las patentes también muestran que la distribución geográfica de los inventores no coincide necesariamente con la distribución geográfica de los cesionarios (Confraria *et al*., 2021). Al estudiar los flujos de conocimiento, es importante tener en cuenta que el inventor de la patente es el creador (lado de la oferta) del conocimiento innovador, mientras que el cesionario suele ser el propietario de las patentes (lado de la demanda) o el usuario de este conocimiento innovador (Liu *et al*., 2022).

Además, el conocimiento tácito es muy específico del contexto y no puede transferirse fácilmente, salvo a través de una intensa comunicación y cooperación personales. La co-invención es una forma de relación que requiere interacciones estrechas y persistentes entre los inventores (Breschi y Lissoni, 2009). Por lo tanto, los datos sobre coinventores pueden ser un medio para rastrear el intercambio de conocimientos intangibles, otra fuente importante para las innovaciones (Xiang *et al*., 2013).

En definitiva, los beneficios asociados al patentamiento garantizan que se trate de un punto de referencia fiable para medir las capacidades tecnológicas y el rendimiento de la innovación de las organizaciones (Buggenhagen y Blind, 2022), también de los países y los bloques regionales. Los indicadores de patentes pueden servir como una aproximación empírica

válida para el análisis de la soberanía tecnológica digital en la UE. De hecho, las patentes son uno de los indicadores individuales incluidos en el IST propuesto por la tesis.

Por otra parte, el objetivo de este capítulo no es agotar este tema específico sino abrir una línea de investigación futura que profundice en el asunto del poder de las redes internacionales en la generación de conocimiento.

### 7.3 Metodología y datos

El punto de partida ha sido el *Cuadro de Indicadores de Inversión en I+D Industrial de la UE* o Scoreboard -en adelante, el Cuadro de Indicadores CE (2024)-, que recoge las 2.500 empresas con mayores importes en gasto en I+D del mundo. Esta fuente permite seguir la dinámica de la especialización tecnológica porque proporciona indicadores relacionados con los esfuerzos científicos y tecnológicos de las empresas, incluyendo I+D y patentes, y asociaciones con inventores y empresas de propiedad extranjera. Aunque las tecnologías digitales son transversales y generalmente se apela al agregado de TICs para su análisis, se ha optado por una delimitación del ámbito basada en tres amplios sectores industriales estrechamente vinculados. Además, el criterio de selección de las empresas examinadas de los tres sectores ha sido escoger una muestra lo suficientemente representativa que permita capturar a las firmas que registran mayores gastos en I+D a nivel de la UE.

La industria de *Hardware y Equipos Tecnológicos* está representada en el Cuadro de Indicadores (CE, 2024), por 207 empresas en todo el mundo responsables de 165.000 millones de euros de inversión en I+D; sólo 17 empresas europeas se encuentran entre ellas, y representan casi el 11% de las inversiones en I+D. Fueron seleccionadas las primeras 11 empresas que representan el 93% del esfuerzo en I+D de la UE en esa industria.

La industria de la *Electrónica y el material eléctrico* comprende 249 empresas que invierten alrededor de 83.000 millones de euros en gastos de I+D; entre ellas, 25 son empresas europeas y representan menos del 13% de las cifras mundiales; la selección incluye 11 empresas entre ellas que representan el 91,2% del esfuerzo de I+D de la UE en esta industria. El sector de *Software y Servicios Informáticos* está compuesto por 336 empresas de todo el mundo que invirtieron cerca de 200.000 millones de euros. En este sector, 24 empresas europeas figuran entre los 2.500 mayores inversores en I+D. En nuestro análisis se incluyen

todas las empresas europeas, que representan alrededor del 6% de la inversión mundial en I+D en este sector, y el número de patentes que poseen las empresas europeas de este sector es significativamente bajo. Se asume que el criterio restrictivo de patentabilidad de los programas informáticos establecido en el Convenio sobre la Patente Europea puede influir en el número de patentes identificadas. Para ser aceptados, los programas informáticos deben realizar una contribución técnica al estado de la técnica que implique un efecto técnico que vaya más allá de la interacción física normal entre el programa y el ordenador (Lema *et al*., 2021).

Los patrones de colaboración internacional, definidos como invenciones en las que participan inventores de diferentes países, se analizan utilizando las solicitudes de patentes y las transferencias a la Oficina Europea de Patentes (OEP) durante la última década (entre 2010 y 2021). Aunque se acepta la limitación de elegir solo una oficina, la OEP es la base de datos más relevante para el objetivo de este capítulo porque se considera una valiosa fuente de información para el análisis de la innovación tecnológica en las economías europeas (Abraham y Moitra, 2001). Dado que la OEP es una oficina regional, hay estudios que sostienen que las estadísticas de presentación de patentes estarían menos sesgadas que las de otras oficinas, lo que evita un sesgo de recuento hacia un único país (de Rassenfosse *et al*., 2013).

Las solicitudes de patentes en la OEP son exploradas para las principales empresas seleccionadas del Cuadro de Indicadores en los tres principales sectores relevantes para la transformación digital mencionados anteriormente (Hardware y equipos tecnológicos, Equipos electrónicos y eléctricos, y Software y servicios informáticos). Estos sectores están vinculados al desarrollo de campos o sistemas tecnológicos clave como la inteligencia artificial, la computación en la nube, la robótica y el 5G, entre otros -véase el conjunto de empresas europeas de los sectores seleccionados y los principales códigos de patentes asociados a las tecnologías digitales en el Apéndice 7.1, 7.2, 7.3-. Esta selección está relacionada con el marco de las tecnologías de la llamada Cuarta Revolución Industrial (4IR) y el enfoque propuesto por Menéndez *et al*. (2023), ya que existe una combinación de innovaciones en transmisión digital de datos, dispositivos inteligentes conectados,

tecnologías de computación, comunicación y conectividad, y su penetración se extiende por varios sectores manufactureros y en plataformas digitales.

En cuanto a los métodos utilizados para definir la relevancia de las patentes, y derivar así el liderazgo, en la literatura sobre innovación podemos encontrar métodos muy simples, como el mero recuento de patentes (Johnstone *et al*., 2012), así como otras técnicas más sofisticadas como el número de clases tecnológicas implicadas en cada patente, las citas recibidas (Innocenti *et al*., 2022), pero también las licencias otorgadas a entidades de la UE o fuera de ella. Ahora bien, como se ha insistido anteriormente, partiendo de la base de que las patentes son una rica fuente de información sobre el rendimiento tecnológico, el principal interés de investigación no es la medición en sí, sino cartografiar la ubicación de los inventores en todo el mundo para analizar tanto las fuentes como los flujos de conocimiento en tecnologías digitales en los que participan las empresas europeas.

A nivel agregado (países), ha sido utilizada la clasificación de Schmoch (2008) revisada en 2013, ya que es la que emplea la base de datos de la OEP. Esta clasificación no contiene un grupo de tecnologías TIC patentables, sino que las agrupa en 8 subgrupos principales, de los que fueron escogidas patentes relacionadas con "Telecomunicaciones", "Comunicaciones digitales", "Tecnología informática", "Métodos informáticos de gestión" y "Semiconductores" (para más detalles, véase el Apéndice 7.3). A nivel micro (empresas seleccionadas), la búsqueda manual se realizó a través del motor de búsqueda *espacenet* de la OEP sobre la base de Códigos Internacionales de Patentes (CIP) de 4 dígitos, filtrando por fecha de prioridad, idioma, oficina y familia, ya que este sistema se considera la "*lingua franca*" de la clasificación de patentes, pero también una aproximación a las competencias tecnológicas de empresas/países en sectores específicos (Confraria *et al*., 2021; Dibiaggio y Nesta, 2005; Jaffe, 1986).

A este respecto, el foco analítico ha sido la diferencia entre las patentes totalmente nacionales (tanto la empresa solicitante como los inventores son residentes en el país de origen) y las patentes que se generan a través de algunas formas de colaboración internacional. Mientras que en el caso de las patentes nacionales, tanto la empresa solicitante como el inventor o inventores son residentes nacionales, en el caso de las patentes internacionales existen varias

posibilidades: a) la empresa solicitante de la patente (lo que en el jerga de patentes se llama el cesionario) está situada en una nación de la UE pero el inventor es residente en otro país miembro de la UE; b) la empresa solicitante está situada en la UE pero el inventor es residente en otro país europeo (pero no miembro de la UE tales como Reino Unido y Suiza); c) la empresa solicitante está situada en la UE pero el inventor es residente en un país no perteneciente al continente europeo; y d) tanto el solicitante como el inventor son residentes en un país extranjero (no nacional, no europeo); éste es el caso de las EMN no comunitarias establecidas en la UE.

Tras procesar manualmente los datos sobre patentes, se ha trabajado con el número total de solicitudes de patentes realizadas por las principales empresas de la UE en los tres sectores. Esta cifra se aproximaba a las 25.900 solicitudes de patentes. El número total de empresas europeas fue de 40, ya que sólo dos tercios de las empresas del sector del software solicitaron patentes, y estas empresas fueron responsables de la mayoría de las inversiones en I+D en la UE en cada sector en cuestión.

Aunque la mayoría de las patentes de las empresas seleccionadas pertenecían a las clases elegidas, hay muchas empresas que tienen un número significativo de solicitudes en otros campos técnicos; sin embargo, sólo se tienen en cuenta las patentes clasificadas como tecnologías digitales y se descartaron las CIP que no correspondían a la clasificación de tecnología digital. El criterio utilizado de inclusión/exclusión fue que al menos el primer o segundo código debía pertenecer a una CIP correspondiente a la taxonomía adoptada (ver Apéndice 7.3).

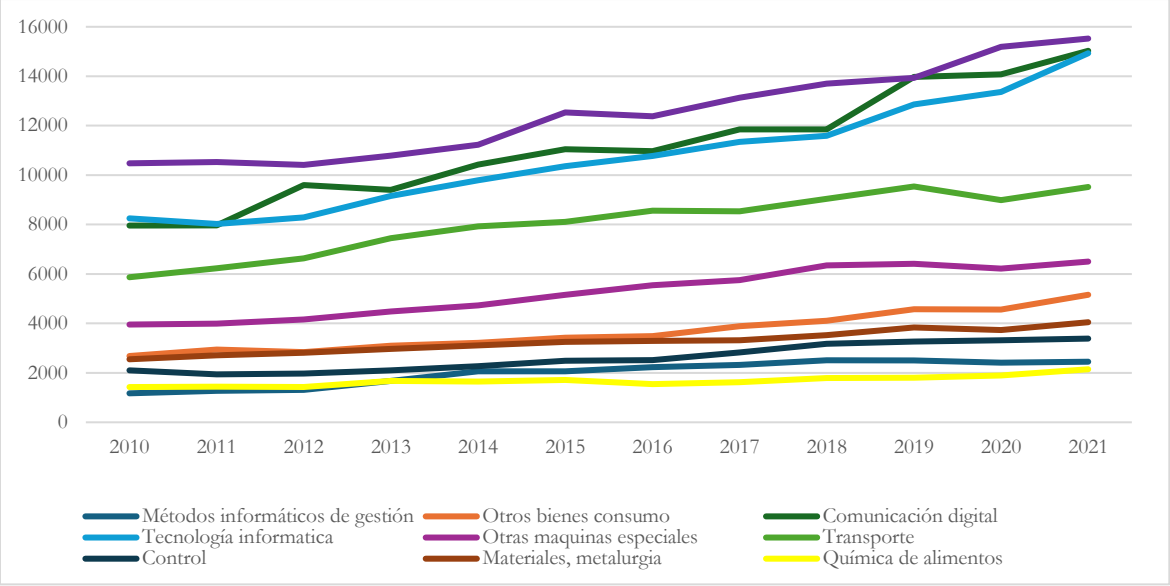
### 7.4 Una descripción de las principales tecnologías digitales

El número de solicitudes de patentes relacionadas con los campos tecnológicos digitales se han multiplicado por un factor cercano a 2 desde 2010 (17.389 solicitudes en 2010, y 34.272 solicitudes se registraron en 2022, una evolución espectacular en comparación con la tasa de crecimiento del número de todas las patentes de la OEP, que fue del 28%). Dentro del total de 2.146.991 solicitudes de patentes entre 2010-2022, 414.259 pertenecen a los campos de Telecomunicaciones, Comunicación Digital, Tecnología Informática, Métodos Informáticos de Gestión y Semiconductores.

La mayoría de las solicitudes de patentes en la OEP durante la última década tienen un código relacionado con los cuatro subcampos tecnológicos de elegidos por esta investigación y tres de ellos están directamente relacionados con las tecnologías digitales. El número de solicitudes de patentes en tecnología Informática creció un 96% entre 2010 y 2022, y la tasa de crecimiento en Comunicaciones Digitales fue del 99%. Este panorama general se presenta en los Gráficos 7.1 y 7.2.

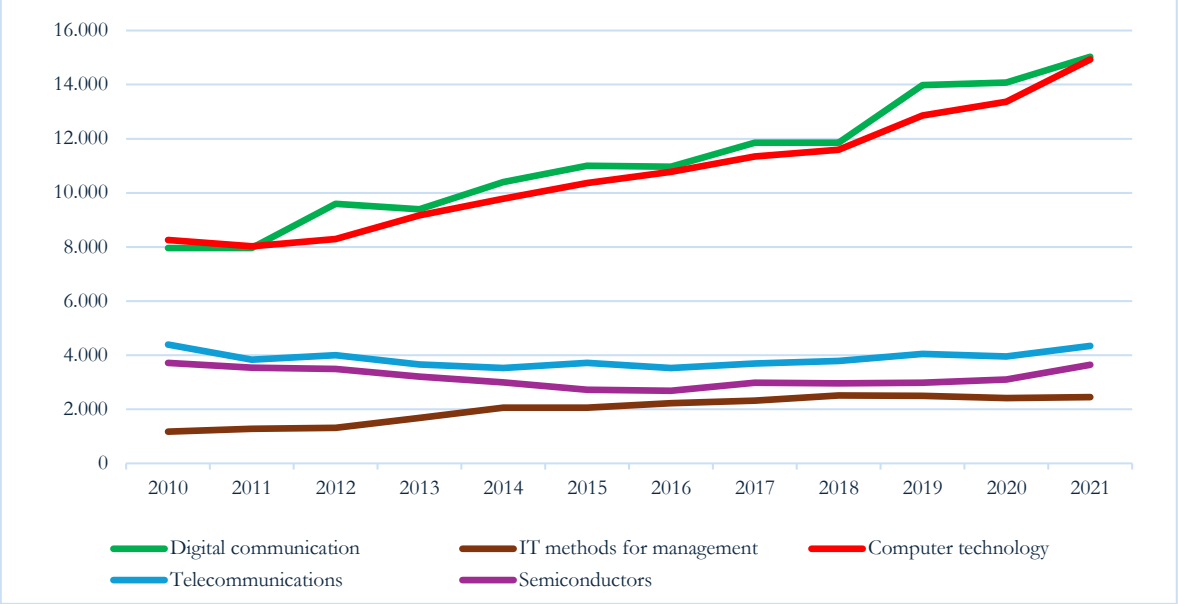
En sectores críticos como las comunicaciones digitales y las telecomunicaciones, los principales países de la UE ocupan una posición atrasada en la evolución de las patentes. De hecho, las patentes concedidas por empresas con sede en los 12 primeros países de la UE durante el periodo 2013-2022 en la OEP, representan menos del 27% del total de las principales clases relacionadas con las tecnologías digitales. Es el caso de las telecomunicaciones (28,3%), la comunicación digital (27,2%), el tratamiento informático (23,6%), los métodos informáticos de gestión (27,7%) y los semiconductores (30,4%). Los países con las cuotas más elevadas son Alemania, Francia, Suecia, Finlandia y los Países Bajos.

**Gráfico 7.1** Solicitudes de patentes para subcampos tecnológicos seleccionados, OEP (2010 - 2021)




Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la OEP
Nota: Los subcampos seleccionados son los de mayor crecimiento durante el periodo entre los 35 subcampos definidos por la OEP (todos los países)

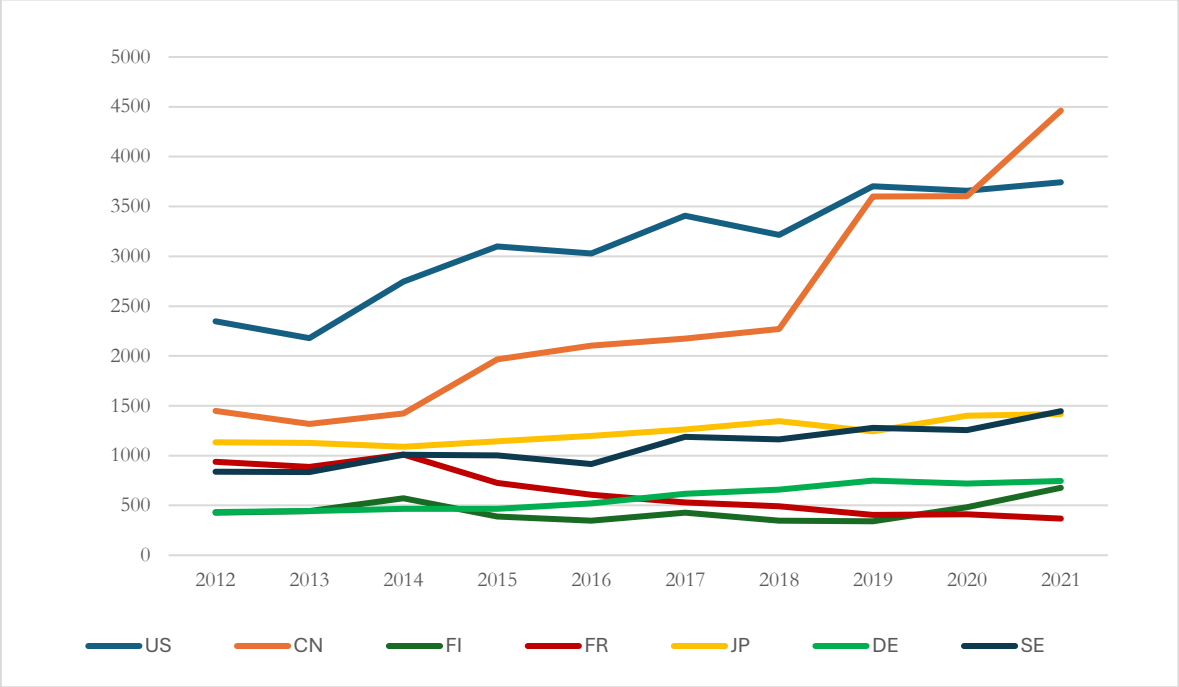
**Gráfico 7.2** Solicitudes de patentes por campos técnicos digitales (todos los países), OEP (2010-2021)




Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la OEP

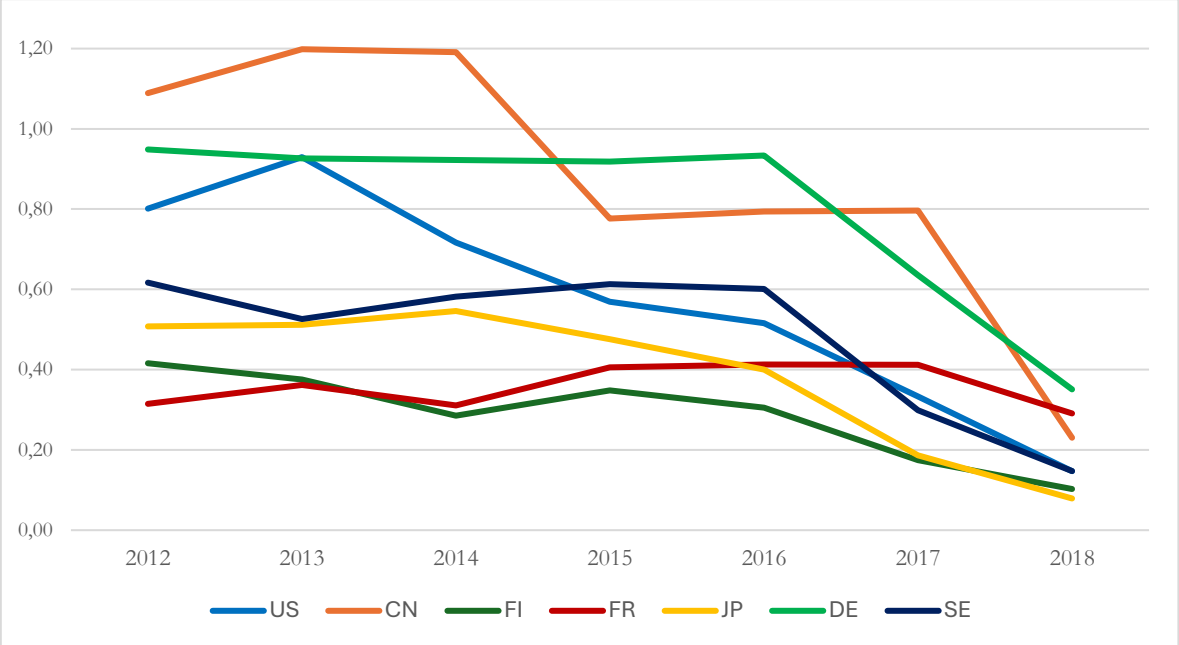
Por su parte, el proceso de convergencia de China es notable en las patentes clasificadas en clases tecnológicas relacionadas con lo digital, mientras que la creciente tendencia al retroceso de Japón es más notable en las tecnologías relacionadas con las telecomunicaciones. China también destaca por su evolución positiva en la ratio de patentes concedidas sobre solicitudes en comunicaciones digitales y telecomunicaciones durante la última década (Gráficos 7.3 a 7.6). El caso europeo presenta un comportamiento inferior tanto en valores absolutos como según la ratio de patentes concedidas por solicitudes. En este sentido, es ligeramente mejor la trayectoria europea en aquellas clases tecnológicas relacionadas con las telecomunicaciones que en el caso de las digitales. Por otro lado, si se atiende a las diferencias intraeuropeas, los valores absolutos correspondientes a los países europeos son inferiores mientras que es positiva la evolución seguida por Suecia en comunicación digital y por Finlandia en telecomunicaciones.

**Gráfico 7.3** Evolución de las solicitudes de patentes en Comunicaciones Digitales



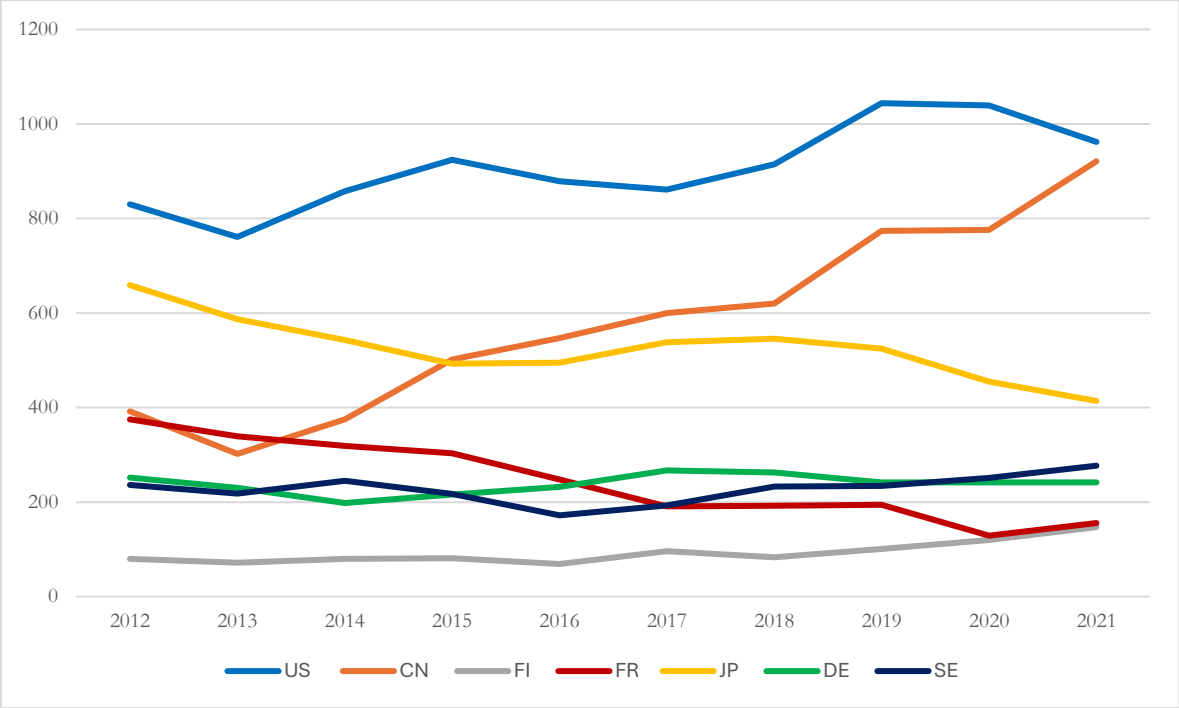

Fuente: OCDE (Dirección de Ciencia, Tecnología e Industria, 2022)

**Gráfico 7.4** Evolución de la relación concesiones/solicitudes en Comunicación Digital



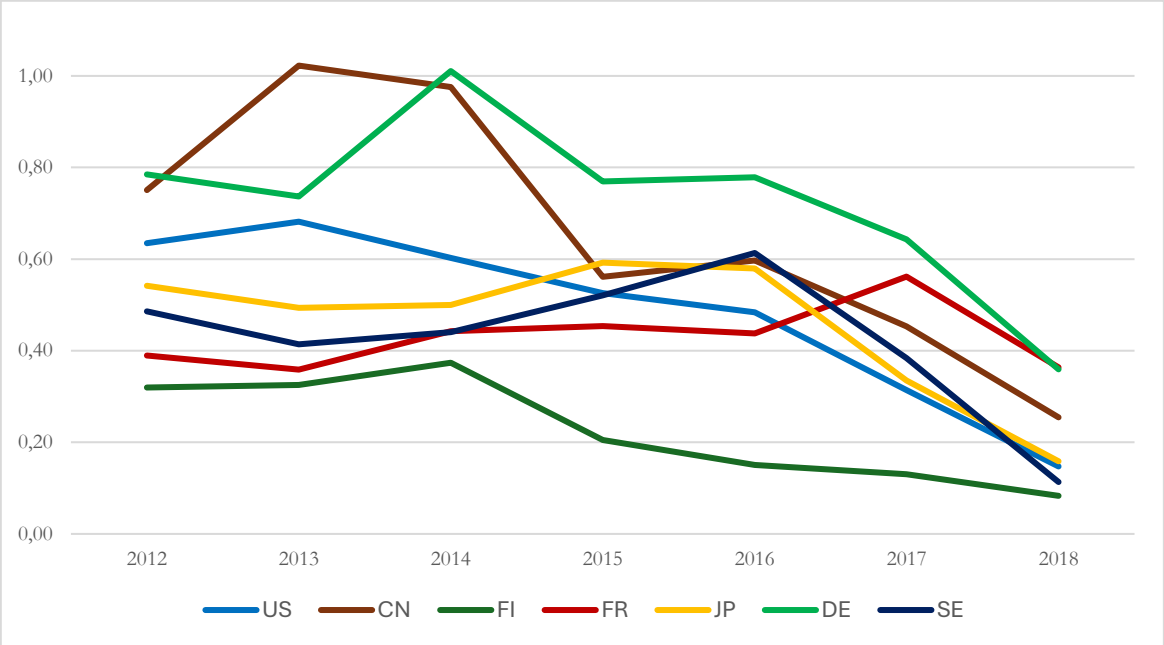

Fuente: Elaboración propia a partir de estadísticas de la OEP

**Gráfico 7.5** Evolución de las solicitudes de patentes en Telecomunicaciones




Fuente: OCDE (Dirección de Ciencia, Tecnología e Industria, 2022)

**Gráfico 7.6** Evolución de la ratio Concesiones/Solicitudes en Telecomunicaciones




Fuente: Elaboración propia a partir de estadísticas de la OEP

Una pregunta interesante se refiere a conocer dónde residen las capacidades tecnológicas dentro de Europa. De hecho, siguiendo la distribución de los datos de patentes en las principales economías de la UE clasificadas por el porcentaje del total de patentes de la OEP en estos campos, se observa que las tecnologías digitales desempeñan un papel más importante en Finlandia (32%) y Suecia (29%), a cierta distancia de los demás países de la UE. En Alemania y Francia, las patentes del sector informático representan alrededor del 5% del total de patentes de esos países. Más del 13% de las patentes de los Países Bajos corresponden a tecnologías médicas, mientras que los otros dos primeros puestos son para el transporte (por encima del 8% en Francia, Italia y Suecia) y la maquinaria eléctrica (en Alemania y España); en este último país, los productos farmacéuticos representan casi el 10% de las solicitudes de patentes (véase la tabla 7.1).

Detrás de estos datos agregados o por países, hay obviamente algunas empresas que invierten en I+D. Entre las empresas que más invierten en I+D recogidas en el Cuadro de Indicadores de Inversión Industrial en I+D de la UE[214], fueron escogidos los tres principales sectores relevantes para la transformación digital (CE, 2021).

La tabla 7.2 recoge la I+D realizada por las principales empresas supervisadas por el Cuadro de Indicadores de I+D Industrial de la UE. El número de empresas europeas está infrarrepresentado en los sectores tecnológicos más dinámicos. La UE tiene una menor relevancia en comparación con Estados Unidos y China según la distribución geográfica de las empresas que más invierten en I+D en los tres sectores objetivo (Hardware y Equipos Tecnológicos; Equipos Electrónicos y Eléctricos, y Software y Servicios Informáticos).

Esto no es una sorpresa: el bajo número de patentes europeas se corresponde con un bajo número de grandes empresas que operan en estos campos. También el tipo de actividad y el valor que la tecnología y la I+D tienen en sus modelos de negocio. Las empresas de estos tres sectores representan casi un tercio de las empresas que más invirtieron en I+D en todo el mundo en 2020 (782 empresas de 2500). El número de empresas europeas (72) no sólo es

[214] El principal objetivo del Cuadro de Indicadores de Inversión Industrial en I+D de la UE es comparar el rendimiento de las industrias impulsadas por la innovación de la UE con el de sus principales homólogas mundiales y proporcionar una base de datos de inversión en I+D que las empresas, los inversores y los responsables políticos puedan utilizar para comparar los resultados de cada empresa con los de los mejores competidores mundiales en sus sectores. La edición de 2021 del Cuadro de Indicadores analizó las 2.500 empresas que invirtieron las mayores sumas en I+D en todo el mundo en 2020 (CE, 2021).

inferior en términos absolutos al de Japón y el resto del mundo. También es desproporcionadamente bajo en hardware y software tecnológico y equipos electrónicos y eléctricos, con un peso inferior al 10% y al 12% respectivamente.

Los microdatos pueden revelar que el déficit de participación de las empresas europeas se debe a la escasa presencia de la UE en términos absolutos en comparación con los líderes (Estados Unidos, China) según el Cuadro de Indicadores (CE; 2024); también es desproporcionadamente baja si se considera un segundo nivel de empresas japonesas, coreanas y taiwanesas. Además, existe una alta concentración también dentro de los países de la UE, ya que sólo tres de ellos (Francia, Alemania y Países Bajos) tienen empresas en los tres sectores.

**Tabla 7.1** Distribución de solicitudes de patentes por campos tecnológicos Economías UE

| Finlandia | | Francia | | Alemania | | Italia | | Países Bajos | | España | | Suecia | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Com. Dig.** | **32.1%** | **Transporte** | **9.6%** | **Maquinaria eléctr.** | **8.1%** | **Transporte** | **8.1%** | **Tecnología médica** | **13.4%** | **Farmacia** | **9.7%** | **Com. Digital** | **29.2%** |
| **Telecom.** | **7.0%** | Tecnología médica | 6.8% | Transporte | 7.8% | **Manipulación** | **8.1%** | **Maquinaria eléctr.** | **8.6%** | **Maquinaria eléctr.** | **8.4%** | **Transporte** | **9.6%** |
| **Informática** | **6.8%** | **Informática** | **6.3%** | Medición | 6.0% | Tecnología médica | 6.9% | Quím. mat. básica | 6.2% | Tecnología médica | 7.5% | **Telecom.** | **5.6%** |
| Medición | 3.9% | Maquinaria eléctr. | 6.3% | Tecnología médica | 5.5% | Otras máquinas | 6.6% | **Informática** | **5.5%** | Biotecnología | 7.2% | Tecnología médica | 5.1% |
| Ing. civil | 3.7% | Medición | 5.2% | Otras máquinas | 4.7% | Ing. civil | 5.8% | Medición | 5.3% | Transporte | 6.0% | **Informática** | **4.5%** |
| Audiovisual | 3.6% | Otras máquinas | 4.6% | **Informática** | **4.7%** | Medición | 4.6% | Química Orgánica | 5.1% | Motores y bombas | 5.6% | Medición | 3.5% |
| Otras máquinas | 3.2% | Farmacia | 4.6% | Química Orgánica | 4.1% | Maquinaria eléctr. | 4.5% | Ingeniería alimentos | 4.8% | Química Orgánica | 4.4% | Ing. civil | 3.2% |
| Tecnología médica | 3.0% | Biotecnología | 4.6% | Elem. mecánicos | 4.0% | Máq. herramientas | 4.4% | **Optica** | **4.7%** | Otras máquinas | 3.7% | Elem. mecánicos | 3.0% |
| Ing. química | 3.0% | Química Orgánica | 3.9% | Manipulación | 3.8% | Muebles | 4.3% | Otras máquinas | 4.6% | Manipulación | 3.6% | Maquinaria eléctr. | 2.8% |
| Textos y máq. papel | 3.0% | Motores y bombas | 3.7% | Ing. civil | 3.8% | Bienes consumo | 4.2% | **Com. Digital** | **3.7%** | Ing. civil | 3.4% | Farmacia | 2.7% |
| Quím. mat. básica | 2.9% | **Com. Digital** | **3.5%** | Máq. herramientas | 3.6% | Farmacia | 3.9% | Polimeros | 3.7% | Medición | 3.2% | Ing. química | 2.3% |
| Manipulación | 2.6% | Ing. civil | 3.2% | Quím. mat. básica | 3.3% | Elem. mecánicos | 3.9% | Biotecnología | 3.6% | **Informática** | **3.1%** | Otras máquinas | 2.2% |
| Transporte | 2.5% | Elem. mecánicos | 3.2% | Ing. química | 3.0% | Ing. química | 3.0% | Farmacia | 3.6% | Quím. mat. básica | 3.0% | Control | 2.2% |
| Maquinaria eléctr. | 2.4% | Metalurgia | 2.8% | Polimeros | 2.9% | Química Orgánica | 2.5% | Transporte | 2.5% | Muebles | 3.0% | Motores y bombas | 2.1% |
| Proc. térm. | 1.7% | Bienes consumo | 2.5% | Biotecnología | 2.9% | Motores y bombas | 2.5% | Manipulación | 2.2% | Metalurgia | 2.2% | Audio-visual | 2.0% |
| Máq. herramientas | 1.5% | Ing. química | 2.4% | **Com. Digital** | **2.9%** | Proc. térm. | 2.5% | Muebles | 2.2% | Ing. química | 2.1% | Machine tools | 1.9% |
| Comunicaciones básicas | 1.5% | **Óptica** | **2.3%** | Motores y bombas | 2.8% | Biotecnología | 2.3% | **Telecom.** | **2.1%** | Bienes consumo | 2.0% | Proc. térm. | 1.8% |
| Medio ambiente | 1.4% | Audiovisual | 2.3% | Control | 2.7% | Textos y máq. papel | 2.3% | Ing. química | 2.1% | Proc. térm. | 1.9% | Textos y máq. papel | 1.7% |
| **Óptica** | **1.4%** | Manipulación | 2.2% | Metalurgia | 2.6% | Polimeros | 2.1% | Ing. civil | 1.9% | Analisis bio. mat. | 1.9% | Medio ambiente | 1.5% |
| Biotecnología | 1.4% | Quím. mat. básica | 2.2% | Farmacia | 2.4% | **Informática** | **2.0%** | **Semiconductores** | **1.5%** | Ing. alimentos | 1.7% | Biotecnología | 1.5% |
| Otras | 11.6% | Otras | 17.7% | Otras | 18.6% | Otras | 15.8% | Otras | 12.6% | Otras | 16.3% | Otras | 11.6% |

Mas que el 8%
Tecnologías digitales

Fuente: OCDE (Dirección de Ciencia, Tecnología e Industria, 2022)

Al comparar las empresas europeas con las asiáticas (Japón, Corea, Taiwán), se encuentra que, en el sector de Hardware y Equipos Tecnológicos, la inversión en I+D de la UE es ligeramente inferior a la de esos tres países juntos; sin embargo, la situación es la inversa en el caso del Software, donde la participación asiática es marginal en comparación con Europa.

El mayor contraste lo encontramos en la industria electrónica, donde las empresas de la UE invierten notablemente menos que las estadounidenses y asiáticas.

**Tabla 7.2** Número de empresas inversoras en I+D más importantes en sectores seleccionados, entre las 2500 primeras del mundo

| | Hardware & Equipamiento tecnológico | % | Electrónica & Equipamiento Eléctrico | % | Software & Servicios computación | % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Total (782) | 228 | 100 | 230 | 100 | 324 | 100 |
| EE. UU (303) | 78 | 34.21 | 42 | 18.26 | 183 | 56.48 |
| China (201) | 47 | 20.61 | 82 | 35.65 | 72 | 22.22 |
| UE (72) | 21 | 9.21 | 27 | 11.74 | 24 | 7.41 |
| Japón (62) | 20 | 8.77 | 33 | 14.35 | 9 | 2.78 |
| RdM (144) | 62 | 27.19 | 46 | 20.00 | 36 | 11.11 |
| Resto del mundo (RdM) | Taiwán Corea del Sur 4+ | | Taiwán Corea del Sur 4+ | | Taiwán Corea del Sur 4+ | |
| | UE: Países Bajos Alemania 7+ | | EU: Alemania Francia 7+ | | EU: Francia Alemania 6+ | |

Fuente: Elaboración propia con datos de *The 2023* EU *Industrial R&D Investment Scoreboard*. Comisión Europea. JRC/DG RTD.

Para ello, se han calculado las ventajas relativas en I+D en cada sector específico adoptando un indicador similar a las conocidas ventajas tecnológicas relativas calculadas tradicionalmente utilizando datos de patentes. La medida relativa de I+D (RRDIij) se construye para el Cuadro de Indicadores considerando el sector "i" y el país "j" de la siguiente manera:

$$RRDI\ ij = \frac{(I + D\ Invers\ ij\ /\ \sum j\ I + D\ Invers\ i)}{\sum i(I + D\ Invers\ j\ \ /\ \sum i \sum j\ I + D\ Invers\ ij)}$$

RRDI ij denota la fuerza relativa que un país "j" tiene en una tecnología digital concreta "i" en relación con la fuerza relativa en I+D global. Los valores RRDI se presentan en la Tabla 3 para la I+D de las principales empresas por país de origen. Revela que la UE tiene una desventaja relativa en I+D en los tres sectores digitales. Estados Unidos y China tienen ventajas en hardware tecnológico, pero el primero ocupa una posición dominante claramente favorable en software, ya que sus inversiones relativas en I+D son más del doble de su peso en la I+D global. Mientras tanto, en Electrónica y Equipos Eléctricos, las ventajas son claramente disfrutadas por diferentes países incluidos en el conjunto del resto del mundo

(RdM) mientras que Japón y China les siguen (esto muestra un mayor esfuerzo en I+D en el sector en comparación con su peso relativo en la I+D global).

La distribución geográfica de las 2500 mayores empresas inversoras en I+D del mundo, según el Cuadro de Indicadores (CE, 2023), revela que las cuatro primeras empresas en términos de volumen de inversión en I+D son responsables de casi el 8% de la I+D mundial; se trata de Alphabet y Microsoft de Estados Unidos, Huawei *Investments* de China y Samsung de Corea del Sur. Estas cuatro empresas pertenecen a nuestros sectores seleccionados (hardware y equipos tecnológicos; equipos electrónicos y eléctricos; y software y servicios informáticos), y representan casi el 40% de las inversiones globales en I+D de una distribución completa de 38 sectores (véase el Apéndice 7.1).

Si se consideran estos tres sectores, más del 50% de la inversión en I+D corresponde a empresas de Estados Unidos. China ocupa el segundo lugar; las empresas chinas invierten más en estos tres sectores que todas las empresas europeas y japonesas juntas, y 4 puntos porcentuales más que el resto del mundo[215]. La cuestión es que más allá de la tecno-globalización, los sectores del futuro están muy concentrados en unos pocos actores; esto es extraordinariamente notable en Software y Servicios Informáticos, donde sólo Estados Unidos representa más del 70% de las inversiones en I+D. También llama la atención la elevada concentración de la I+D en estos sectores en países no pertenecientes a la UE.

Los datos del Cuadro de Indicadores también confirman que la distribución de patentes según la ubicación de los inventores muestra los valores más bajos en cuanto a solicitantes e inventores ubicados en la UE (CE, 2023). La colaboración internacional es un aspecto más relevante para la generación de tecnología en Europa que en Estados Unidos o China, cuando se considera la localización tanto de los inventores como de los solicitantes de las patentes (Grassano *et al*., 2022).

[215] El surgimiento de los gigantes digitales, Baidu, Alibaba y Tencent fue un punto de inflexión para China. Estas empresas se unieron al gobierno para impulsar el desarrollo tecnológico en diversos sectores digitales. En la mayoría de los productos manufacturados, estas firmas han pasado de ensamblar componentes fabricados en el extranjero a producir sus propias tecnologías de vanguardia (Wang, 2023). Para dimensionar la actividad con datos de solicitudes a 2023, Tencent, que provee productos y servicios de internet, pasó de tener 711 familias de patentes de IA y aprendizaje automático activas en 2017, a 9.614 en 2021. Esta compañía y Baidu encabezan el listado, habiendo superado a IBM, Samsung, Microsoft, Alphabet, Intel o Appple.

**Tabla 7.3** Medida Relativa de Tecnologías digitales (valores del MRTD)

| | Hardware & Equipamiento tecnológico | Electrónica & Equipamiento Eléctrico | Software & Servicios computación |
|---|---|---|---|
| Estados Unidos | 1.525 | 0.339 | 2.003 |
| China | 1.223 | 1.140 | 0.992 |
| UE | 0.562 | 0.696 | 0.331 |
| Japón | 0.387 | 1.618 | 0.201 |
| RdM | 0.775 | 2.567 | 0.330 |

Fuente: Elaboración propia a partir de *The 2023 EU Industrial R&D Investment Scoreboard*. Comisión Europea. CCI/DG RTD.
Nota: Un índice superior a 1 indica que la nación o el área geográfica está especializada en los campos tecnológicos e inferior a 1 que está desespecializada.

La UE presenta los valores más bajos de invenciones puramente nacionales (cuando solicitantes e inventores comparten la misma ubicación en la UE). Esto es cierto para el conjunto de las patentes (todos los sectores), pero es especialmente notable en el caso de los productores de TIC (aquellos sectores relacionados con las tecnologías digitales). El perfil europeo se caracteriza además por el hecho de que las empresas con sede en Europa tienen, en general, más probabilidades de solicitar patentes con inventores de Estados Unidos para todos los sectores; y este patrón se mantiene en el caso de los sectores específicos digitales de productores y servicios de TIC.

Al considerar los datos de patentes, algunos autores señalan que la colaboración internacional en tecnologías digitales por parte de empresas con sede en países europeos parecería complementar sus capacidades con socios norteamericanos y asiáticos, pero menos con otros Estados miembros de la UE, lo que debilita aún más la posición de estos últimos (Grassano *et al.*, 2022).

En el ámbito de las tecnologías digitales, casi un tercio de las patentes de productores de TIC son el resultado de una colaboración internacional entre un solicitante o una sede europea (HQ) e inventores de Estados Unidos (19%) y del resto del mundo (10,1%). Este aspecto es muy ilustrativo de la importancia que tienen para la UE los flujos de entrada de conocimientos en tecnologías digitales procedentes de otras regiones, y es ciertamente indicativo de la dependencia que la UE tiene de la colaboración internacional. Ello justifica la relevancia de cartografiar los vínculos de la UE en este ámbito.

## 7.5 Cartografía de las fuentes internacionales de conocimiento en tecnologías digitales

### *7.5.1 Colaboración internacional de países y empresas de la Unión Europea*

Desde la perspectiva de los países de la UE, no existe un patrón de actividad innovadora internacional de propiedad extranjera que pueda aceptarse de forma generalizada como común para todas las economías de la UE. La Tabla 7.4 recoge las patentes por países (es decir, en las que el primer inventor pertenece al país), indicando cuando también hay al menos un inventor que es de otro país.

En general, la importancia relativa de la colaboración con socios extranjeros en las patentes es elevada (superior al 30%) en diez de los países analizados en la Tabla 7.4. El peso de las patentes internacionales es inferior al 20% sólo en seis países de la UE (Finlandia, Francia, Alemania, Países Bajos, Italia y Letonia -que tiene muy pocas patentes-). Es evidente el predominio de los socios de la UE, que son los más propensos en comparación con Estados Unidos y Japón. Sin embargo, en varios países (Dinamarca, Estonia, Francia, Alemania, Irlanda, Lituania, Países Bajos, Suecia, Croacia, Chipre) la proximidad no domina la geografía de sus conexiones internacionales.

Para cartografiar las fuentes internacionales de conocimiento desde una perspectiva microeconómica centrada en las empresas, examinamos las solicitudes de patentes a la OEP de las principales empresas de los tres sectores relacionados con la tecnología digital que abarca nuestro análisis. Para ello, observamos en primer lugar el número de inventores y su residencia en cada patente. Es bien sabido que las patentes pueden ser generadas por varios inventores. En segundo lugar, observamos la diferencia entre las patentes totalmente nacionales y aquellas patentes internacionales en las que la empresa es la solicitante, pero el inventor o inventores residen en el país de origen, en otro país de la UE, en otro país europeo (pero no de la UE) o en otro lugar, así como aquellas patentes en las que tanto el solicitante como el inventor o inventores residen en un país extranjero (no nacional, no europeo). El número revisado de solicitudes de patentes realizadas por las principales empresas de la UE en estos tres sectores se acerca a las 25.900.

Una visión general de las patentes internacionales revela la importancia relativa de las fuentes internacionales de conocimiento en los tres sectores analizados ya que se encuentran

inventores extranjeros en más del 45% del total de patentes analizadas. La mayor porción se encuentra en el sector de Hardware y Equipo Tecnológico (Tabla 7.5), donde más del 57% de las patentes incluyen participación de coinventores extranjeros y entonces; se puede decir que este es el sector más abierto al conocimiento internacional. En cuanto a la importancia de la proximidad o el peso de los inventores europeos, los colaboradores extracomunitarios alcanzan su valor más alto en este sector (cerca del 15%).

**Tabla 7.4** Patentes por país y con colaboración internacional en la UE

| Año 2019 | Total de patentes | Colaboración internacional | Importancia relativa colab. Internac. en patentes | Importancia relativa de los socios extranjeros (país x/coinvenciones extranjeras) % | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Japón | EEUU | UE |
| Alemania | 25,141 | 4,037 | 16.06 | 4.21 | 25.51 | 18.70 |
| Austria | 2,587 | 762 | 29.45 | 1.18 | 8.40 | 32.68 |
| Bélgica | 2,122 | 728 | 34.31 | 1.79 | 21.02 | 24.18 |
| Chequia | 303 | 107 | 35.31 | 5.61 | 14.02 | 38.32 |
| Chipre | 21 | 9 | 42.86 | 0.00 | 52.91 | 0.00 |
| Croacia | 50 | 23 | 46.00 | 0.00 | 34.78 | 13.04 |
| Dinamarca | 1,826 | 401 | 21.96 | 2.00 | 22.94 | 16.21 |
| Eslovenia | 150 | 40 | 26.67 | 2.50 | 7.50 | 35.00 |
| España | 2,194 | 499 | 22.74 | 1.60 | 23.65 | 23.65 |
| Estonia | 47 | 12 | 25.53 | 0.00 | 25.00 | 8.33 |
| Finlandia | 1,75 | 411 | 23.49 | 4.87 | 13.14 | 14.36 |
| Francia | 10,3 | 1,799 | 17.47 | 2.50 | 23.79 | 18.62 |
| Grecia | 181 | 54 | 29.83 | 0.00 | 5.56 | 20.37 |
| Hungría | 312 | 120 | 38.46 | 0.83 | 9.17 | 24.17 |
| Irlanda | 583 | 226 | 38.77 | 5.75 | 47.79 | 15.49 |
| Italia | 5,246 | 735 | 14.01 | 1.90 | 20.00 | 20.41 |
| Letonia | 23 | 4 | 17.39 | 0.00 | 0.00 | 25.00 |
| Lituania | 44 | 10 | 22.73 | 0.00 | 30.00 | 10.00 |
| Luxemburgo | 130 | 72 | 55.38 | 0.00 | 18.06 | 38.89 |
| Malta | 19 | 6 | 31.58 | 0.00 | 0.00 | 16.67 |
| Países Bajos | 4,491 | 723 | 16.10 | 2.63 | 29.05 | 23.10 |
| Polonia | 759 | 202 | 26.61 | 0.99 | 26.24 | 30.69 |
| Portugal | 326 | 79 | 24.23 | 1.27 | 12.66 | 31.65 |
| República Eslovaca | 97 | 43 | 44.33 | 0.00 | 4.65 | 41.86 |
| Rumania | 134 | 49 | 36.57 | 0.00 | 21.32 | 30.61 |
| Suecia | 3,983 | 926 | 23.25 | 1.30 | 23.54 | 13.07 |

Fuente: OCDE (Directorado para Ciencia, Tecnología e Industria, 2023)
Nota: en todas las clases (Patentes solicitadas vía OEP), 2019

Este patrón se confirma por la relevancia de aquellas patentes con solicitantes e inventores ubicados fuera de Europa; en el 7,7% de las patentes participaron solicitantes e inventores del resto del mundo. Además, cuando se distingue la colaboración internacional entre la intracomunitaria y la del resto del mundo, se observa una mayor presencia de inventores no europeos en el caso de la Electrónica y el Material Eléctrico (40%).

Atendiendo específicamente a la relación entre fuentes de conocimiento europeas e internacionales, medida por sectores a través de la cuota relativa de inventores procedentes de una nación extranjera, encontramos notables diferencias entre los sectores vinculados a las tecnologías digitales. Por un lado, Electrónica y Equipos Eléctricos muestra el mayor peso de las fuentes internacionales de conocimiento procedentes del resto del mundo.

La proporción de patentes con inventores extranjeros supera el 45%, mientras que los coinventores de la UE se sitúan por debajo de ese valor. Por otro lado, la posición de la tecnología de hardware y equipos es ligeramente mejor; en este caso, la generación de conocimiento dentro de la UE se sitúa en torno al 45%, mientras que las invenciones procedentes del resto del mundo suponen alrededor del 40%. Por último, el software y la informática, es el sector más favorable a una estrategia de ST abierta; esto se debe a la relevancia de la colaboración intra-UE en el mapa de co-invenciones que se eleva por encima del 60%, mientras que la cuota de co-inventores del resto del mundo se sitúa en torno al 35%. De forma más detallada, Estados Unidos y China son los principales proveedores de conocimientos para las patentes de tecnología digital en las que participan inventores no europeos según su lugar de residencia. En el sector de la electrónica, Estados Unidos es el mayor proveedor de conocimientos, representando incluso el 55% de los inventores de las principales empresas (como Siemens y Schneider). El porcentaje es mucho menor para China (14%), India (18%) y el resto del mundo (12%). Para las empresas de software, Estados Unidos es de nuevo el mayor proveedor de inventores.

Si se observan más detenidamente la geografía de los inventores, es interesante diferenciar las patentes con residentes europeos para medir la cuota de los Estados miembros de la UE, Suiza, Reino Unido y Noruega en cada uno de los tres sectores. A este respecto, encontramos que la distribución en el sector "Hardware y equipo" incluye un 58,1% de inventores residentes en las economías de la UE donde se concentran la mayoría de las patentes (Alemania, Francia, Finlandia, Suecia, Países Bajos).

Otro grupo está formado por patentes con al menos un inventor de un país de la UE fuera del conjunto de estas economías "centrales", como Croacia, República Checa, Hungría, Irlanda, Polonia, Portugal, Rumanía, Eslovenia y España; la cuota de estos países es del 18,5% de las

patentes. En el sector del software y los servicios informáticos, el 90% pertenecen al primer grupo, el 7% de los inventores son del segundo, mientras que el 3% son inventores de Suiza, Reino Unido o Noruega. Por último, en el sector de la electrónica, el 58% pertenece al primer grupo, el 20,65% al segundo y el 21,4% al tercero.

**Tabla 7.5** Patentes domesticas e inventores extranjeros, por industria y residencia del inventor

| **Núm. de patentes** | **(A)** Patentes domesticas | **(B)** Intra-Europa | **(C)** UE | **(D)** Europa No-UE | **(E)** RdM | **(F)** D+E | **Total Domest. & Internac.** | **Total Internac Co-invenciones** | **Aplic e inventor RdM** | **Gran Total** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Equipos electrónicos y eléctricos | 5970 | 352 | 1798 | 586 | 1954 | 174 | 10834 | 4864 | 505 | 11339 |
| Software y servicios informáticos | 612 | 15 | 296 | 9 | 167 | 23 | 1122 | 510 | 3 | 1125 |
| Hardware y equipos tecnológicos | 5259 | 789 | 2507 | 1047 | 2343 | 416 | 12361 | 7102 | 1042 | 13403 |
| **Importancia internac. relativa** | % | % | % | % | % | % | % | % | % | |
| Equipos electrónicos y eléctricos | 52.65 | 14.40 | 36.97 | 12.05 | 40.17 | 3.58 | 95.55 | 44.90 | 4.45 | |
| Software y servicios informáticos | 54.40 | 5.85 | 58.04 | 1.76 | 32.75 | 4.51 | 99.73 | 45.45 | 0.27 | |
| Hardware y equipos tecnológicos | 39.24 | 22.11 | 35.30 | 14.74 | 32.99 | 5.86 | 92.23 | 57.45 | 7.77 | |

Notas: Patentes domesticas (A); Intra-Europa (B); UE (C); No-UE Europa (D); RdM (E); Europa & Resto del Mundo RdM (F). Fuente: elaboración propia con información procedente de OEP

Los resultados deben interpretarse con cautela. Cabe suponer que los índices de participación reflejan la capacidad de generación de conocimiento disponible en estas economías, pero sólo hemos tenido en cuenta las principales empresas inversoras europeas, dejando fuera a otros agentes como los Organismos de Investigación Tecnológica y las start-ups. Sin embargo, su representatividad en términos de volumen de inversión europea en I+D es innegable.

A partir de la descripción de esta relación en el caso de las tecnologías digitales, es posible prever al menos cuatro combinaciones diferentes de resultados basados en la geografía de las conexiones internacionales y la proximidad a las fuentes internacionales de conocimiento.

Aunque podría generalizarse a otros bloques regionales bajo el prisma de las ST, el análisis ha sido conducido para replantearse actuaciones concretas en el ámbito de la política pública de innovación de la UE, y cómo se toma una u otra dirección.

En cuanto al patrón de creación tecnológica de la UE en determinadas tecnologías digitales, se advierten los siguientes cuatro posibles resultados:

- Se observa una situación de bajo nivel de colaboración entre los socios de la UE y una gran relevancia de los socios (inventores) ubicados en el resto del mundo. Esto puede definirse como una posición de ST Débil (celda I, Figura 7.1).
- Una posición de ST Fuerte se deriva de la situación opuesta: La UE ofrece un alto nivel de participación de inventores de la UE, y no existe una gran dependencia de la colaboración porque la conectividad o actividad con socios de fuera de Europa es baja (celda IV, Figura 7.1).
- En tecnologías con baja interacción entre socios dentro de la UE, acompañado de un bajo nivel de colaboración con inventores de terceros países, la combinación es de ST Potencialmente Abierta (celda II, Figura 7.1).
- En aquellos resultados tecnológicos en los que la colaboración entre socios de la UE es alta (gracias a iniciativas como los Programas Marco, Horizonte 2020 u Horizonte Europa), combinado con un alto nivel de colaboración con terceros países fuera de la UE, el resultado es de una ST Abierta (celda III, Figura 7.1).

Así pues, puede sugerirse desde un enfoque dinámico planificado en el tiempo que existen diversas opciones posibles para alcanzar mayores niveles relativos de soberanía tecnológica en la UE en relación con el conocimiento generado por las empresas y registrado a través de sus aplicaciones de patentes. El argumento apunta a contribuir a pensar la dimensión externa de la ST.

Aunque cabe prever una diversidad de acciones políticas, de la selección de los socios con los que colaborar en la generación y desarrollo de tecnologías clave dependería la importancia relativa y la combinación de las fuentes de conocimiento según su geografía y su propio nivel de especialización. Por otra parte, la propiedad de las tecnologías (si se

considera la combinación de solicitantes e inventores) es otro ángulo desde el que contemplar la misma cuestión.

**Figura 7.1.** Bases para desarrollar una estrategia geo-tecnológica para la generación de conocimientos en tecnologías digitales

| | | |
|---|---|---|
| **(+)** | **(I)** **ST débil** | **(III)** **ST abierta** |
| **Resto del mundo** | **(II)** **ST Abierta potencial** | **(IV)** **ST fuerte** |
| **(-)** | **(-)** **Intra-UE** | **(+)** |
| **(-)** | **I&D, patentes, innovación, apoyo público** | **(+)** |

Fuente: Elaboración propia

*7.5.2 Implicaciones políticas para la UE*

La información obtenida a partir de los datos sobre inventores de patentes es relevante porque permite comprender la presencia o ausencia a nivel local de las competencias científicas y tecnológicas necesarias para producir conocimiento con cierto grado de autonomía, al menos cuando se considera a las empresas como actor central del proceso de innovación teniendo en cuenta que no hay un parámetro que no sea arbitrario para establecer un nivel de colaboración adecuado en la generación de tecnología.

Aunque hay muchos otros elementos que pueden afectar las implicaciones políticas para la UE, en esta sección se reflexiona exclusivamente acerca de las observaciones puntuales que se extraen del análisis de la colaboración internacional en las patentes de tecnologías digitales que se realiza en este capítulo. A pesar de estar restringido a un único indicador, la propuesta es válida y extensible a otras dimensiones de análisis en las políticas de innovación. Valorar el porcentaje de participación internacional de países de la UE y externos a ella en sus patentes arroja luz sobre la composición concreta de las redes externas de cada uno de los Estados Miembros, tanto intracomunitarias como con terceros, lo cual permite evaluar el peso de las conexiones pero sobre todo alimentar con información decisiones que favorezcan la construcción de capacidades regionales así como la eventual elaboración de un estrategia geo-tecnológica del bloque en los nuevos escenarios.

Una posible dirección de las políticas para contribuir y potenciar la ST de la UE es la (re)definición de acciones encaminadas a reforzar las capacidades tecnológicas nacionales, la contrapartida sería aumentar la relevancia relativa de las conexiones intraeuropeas que permitan reducir la dependencia tecnológica internacional fuera de la UE. Los mecanismos de mediación en esta dirección se observan en la parte inferior de la Figura 5.1 (es decir, apoyo público a la I+D, fomento y financiación de patentes, etc.). Los posibles resultados de estos mecanismos serían, por un lado, una implicación aún mayor de los países de la UE que son líderes tecnológicos en la actualidad; este tipo de acciones reforzarían la ST Abierta al mantener vivas las fuerzas centrífugas.

La alternativa es adoptar una visión dinámica del problema capaz de proporcionar o ampliar las condiciones adecuadas a los países menos avanzados tecnológicamente en la UE mediante el desarrollo de mayores capacidades que permita ampliar el conjunto de países de la UE más allá de la situación actual en la que sólo siete países participan de forma relevante en la generación de tecnología digital, como se ha mencionado anteriormente extendiendo el concepto y criterios de la política de cohesión hacia la soberanía tecnológica digital. Esta acción iría en favor de una ST Fuerte, donde las fuerzas centrípetas serían dominantes en el contexto de la UE. Sin embargo, como sucede en el caso de los semiconductores, la atracción de fábricas se ha concentrado en Alemania y la UE no puede impedirlo. En todo caso, las tensiones entre las consideraciones de tipo prescriptivo, los intereses públicos y las dinámicas empresariales son insoslayables.

Además, considerando la dimensión “no convencional” en la elección de los socios y en la transferencia de tecnologías que ha sido propuesta en el capítulo III (ver Figura 3.2 Soberanía Tecnológica y redes externas de cooperación), el "*friend-shoring*" como una posible estrategia de reestructuración de las cadenas de valor para hacer frente a las nuevas turbulencias geopolíticas, aunque condicionada a los intereses de los aliados, estrategia que cabe hacer extensiva a la generación de tecnologías. Es por ello por lo que la política de innovación podría considerar este aspecto para potenciar la cooperación internacional en este sentido.

Un esfuerzo todavía más significativo y costoso, y difícil de articular desde la política de innovación, es avanzar en la generación de capacidades que conduzca a una menor subordinación a otras potencias, es el que se deriva de las estrategias de "*near-shoring*" o reestructuración de las cadenas y por ende de la generación de tecnologías a partir de la proximidad geográfica; no obstante, esta alternativa está restringida ante la elevada concentración de capacidades tecnológicas digitales en pocas regiones.

Teniendo en cuenta la dinámica, es plausible concebir cómo, por ejemplo, las empresas de la UE localizadas en el extranjero pueden adoptar un papel de "embajador" que permita la creación o el refuerzo de vínculos con científicos y centros de investigación que puedan contribuir a reforzar esquemas de innovación abierta. En esta línea, las fuerzas centrífugas y centrípetas pueden ser complementarias. Este resultado es posible si se asume que el desarrollo de la capacidad de un país o de un área política para actuar de acuerdo con sus intereses se basa en las distintas compensaciones posibles resultantes de un equilibrio entre las capacidades nacionales (activos y competencias) y la integración en redes y asociaciones internacionales de acuerdo con una estrategia de interdependencia coherente con dichos intereses (contexto de alianzas internacionales, ver capítulo III, Figura 3.3).

La colaboración con los actores fronterizos puede ser el camino por seguir cuando los mecanismos de responsabilidad y distribución del valor creado entre los socios están presentes y funcionen correctamente. Mientras que parte de los beneficios serán capitalizados por terceros como consecuencia de la lógica inherente a la autonomía estratégica abierta, es adecuado insistir con la importancia de garantizar que una parte significativa de la apropiación de los beneficios de las inversiones directas en I+D correspondan a la UE, lo cual puede requerir reforzar los mecanismos institucionales y políticos que lo permitan. En todo caso, es una cuestión mucho más relevante identificar dónde invertir que cuanto a la hora de debatir las implicaciones políticas.

Por otra parte, es pertinente advertir que el planteamiento puede ser cuestionado ya que analiza solo un aspecto específico de la ST, esto es, la generación (es decir, la invención) de conocimientos tecnológicos novedosos en base a patentes, pero no los otros incluidos en la definición de ST adoptada por la tesis (la absorción y la explotación). Esta cuestión debe

señalarse para advertir un dilema relacionado con el análisis o estimación de la ST en base a una de sus dimensiones.

En efecto, al centrarse en un solo componente se podría correr el riesgo de que se diluyan los límites entre la ST y la autonomía estratégica si se adopta la definición de Edler *et al*. (2023 y 2020) que admite que abastecerse de socios sin dependencia estructural unilateral es una opción viable que sigue permitiendo la existencia de ST. En el capítulo VI se comentó en detalle el caso de la firma ASML de Países Bajos. Complementando lo dicho, mientras que prácticamente todas las patentes analizadas en este capítulo poseen inventores domésticos, muchas de las tecnologías incorporadas en los equipos son norteamericanas. Consecuentemente, la libertad de acción de la empresa (pero también de Países Bajos) para decidir se ha visto limitada.

### 7.6 Conclusiones

La forma de acercarse al mundo (e interactuar con él) se ha visto completamente revolucionada por el avance de las tecnologías digitales, basado en la coevolución de los tres complejos sistemas constituidos por el hardware, el software y la red de conexión (ej. internet y redes sociales). La principal característica es la velocidad sin precedentes del cambio tecnológico y su creciente impacto en todos los aspectos de la vida socioeconómica y militar[216].

En este capítulo se ha abordado la actuación europea en el ámbito de las tecnologías digitales, aquellas que probablemente estarán en el centro de la evolución futura y que pueden permitir mejorar o poner en peligro la soberanía tecnológica del viejo continente. El análisis de la geografía de los inventores permite comprender ciertos flujos de conocimiento que a su vez forman parte de las brechas tecnológicas en la Unión Europea, así como su dinámica,

[216] Al analizar los planes y estrategias de gobiernos y empresas multinacionales (EMN), así como el volumen de recursos públicos y privados que se invierten en I+D se advierte la relevancia que nuevas tecnologías como la robótica, la fabricación aditiva, los nuevos materiales como el grafeno, la biotecnología y la biología sintética, la nanotecnología, la computación, los sensores y la comunicación cuántica, el internet de las cosas y los denominados sistemas ciber físicos ocupan en la construcción de la sociedad digital y en la mayoría de los sistemas de armas más sofisticados. La magnitud y la velocidad de las transformaciones crean oportunidades para la enseñanza y el aprendizaje, pero también plantean retos para los sistemas de educación y formación existentes. Tal como advierte la Comisión Europea (2023), la alfabetización y las competencias digitales serán clave no sólo para encontrar empleos de calidad, sino también para participar activamente en la vida cívica o distinguir los hechos de la información errónea y la desinformación.

vinculada a las importantes diferencias intracomunitarias en la calidad y solidez de los sistemas de producción y de los sistemas científicos y tecnológicos.

El análisis empírico sugiere que la relación entre una macroestrategia de ST y una microperspectiva de colaboración internacional es compatible cuando la capacidad relativa de tomar y aplicar decisiones y las capacidades tecnológicas de las partes implicadas son relativamente simétricas en relación con la apropiabilidad de los resultados. Sin embargo, la colaboración internacional puede considerarse un aspecto limitador de la ST que puede agravarse cuando las capacidades tecnológicas de los actores implicados son asimétricas. Se pueden prever dos resultados mixtos adicionales a través de la relación definida por las fuentes internacionales de conocimientos y capacidades en CTI.

Un interés central de este trabajo se centra en la relación entre las fuentes de conocimiento nacionales y externas medida a través de la colaboración internacional que tiene lugar en la solicitud de patentes; este es un indicador adecuado para observar si las empresas europeas en sectores críticos como las tecnologías digitales tienen sus propias capacidades o dependen en mayor medida de inventores de naciones extranjeras tanto dentro como fuera de la UE. Considerando que la colaboración internacional implica también solicitantes extranjeros, se ha trazado un mapa de la compleja geografía de las fuentes de conocimiento en tecnologías digitales que revela el refuerzo potencial de un enfoque de ST contribuyente a una autonomía estratégica abierta.

A la luz del análisis realizado en este capítulo, cabe subrayar varios puntos significativos para el enfoque de la política de innovación orientada a la ST:

- Primero, las capacidades de un Sistema Nacional de Innovación vinculadas a tecnologías habilitadoras clave o de propósito general son relevantes tanto en la etapa de I+D como en la etapa productiva. Esto se refuerza a la luz de la crisis del sistema global de innovación y la revalorización de las alianzas internacionales.

- Segundo, el carácter tridimensional de la definición propuesta por esta tesis (generación, absorción y explotación en el capítulo III), ofrece una perspectiva integral que comienza a validarse a nivel empírico, aunque requiera seguir trabajando en su desarrollo teórico. En línea con lo que sugieren Andreoni *et al*. (2021b), incluso si una parte mayoritaria o

considerable de la tecnología digital avanzada es inventada en países extranjeros, su aplicación -especialmente en un entorno de fabricación- suele requerir un nivel no trivial de adaptación e integración, y proporciona una base sólida para el desarrollo de capacidades locales. Por cierto, ello siempre que ese conecte bien en sectores industriales en los que se posea cierto liderazgo. En la UE eso puede ocurre en el aeroespacial, defensa, robótica y salud.

- Tercero, el nivel de ST de un país o bloque regional es compatible con la colaboración en la innovación con socios fuertes, pero los beneficios para las partes difícilmente puedan prestablecerse a priori sino como resultado de las contribuciones de cada una a esa colaboración.

Por consiguiente, la aportación del capítulo apunta a cuáles son las posibles combinaciones posibles de fuerzas centrífugas y centrípetas que pueden ser consideras por la política de innovación a la hora de tratar de contribuir a ampliar el nivel de soberanía tecnológica. En particular, los hallazgos sugieren que existen diversas alternativas para enfocar una estrategia europea de innovación en tecnologías digitales que sea compatible con la agenda más general de la ST. En cualquier caso, los objetivos político-económicos de los actores y las consecuencias para los mercados tecnológicos constituyen factores que deben ser evaluados para la elaboración de políticas. Este punto es importante aun aceptando las diferencias entre las lógicas de países y de empresas que predomina en muchas economías del mundo.

El desarrollo de la industria digital europea podría encontrar en las comunicaciones avanzadas 5G/6G, la IA y muchos otros sectores catalizadores para su crecimiento. Durante la última década no se observó un patrón común de colaboración internacional para la generación de conocimientos que fuera común a nivel de países ni tampoco a nivel de empresas. Al mismo tiempo, la fragmentación del marco regulatorio digital (en particular entre el nivel comunitario y los procesos nacionales de transposición de directivas) obstaculiza la integración y coherencia en las políticas digitales. Hacia el futuro esto es problemático por los riesgos geopolíticos y vulnerabilidades que conlleva.

El objetivo de ST de la UE en relación con las tecnologías digitales enfrenta desafíos para volverse real y sostenible. Lograr este propósito significaría mejorar su situación actual, pero

también exponer a otras regiones que un modelo de gobernanza alternativo es posible. La formulación de una PIST que articule los intereses y necesidades de la mayoría de los Estados Miembros, incluso si no se logra una adhesión de todos, es clave.

Dado que la cartera potencial de tecnologías relevantes para el crecimiento en las próximas décadas es profunda y amplia, la cooperación bilateral y multilateral en investigación a largo plazo requiere, bajo el prisma de la soberanía tecnológica, una reflexión que incorpore los cambios y complejidades contemporáneos. Por esta razón, el análisis de la elección de socios con competencias complementarias relevantes en tecnologías críticas podría garantizar un acceso conjunto a estas tecnologías reduciendo al mismo tiempo las dependencias unilaterales.

Aunque aquí se ha realizado una primera aproximación al asunto, el interés reside en que merece ser explorado en mayor profundidad en futuras investigaciones. No obstante, puede conjeturarse que quien ostente mayor nivel de soberanía respecto a la generación, a la absorción y explotación relativa (y las múltiples combinaciones posibles) tendrá mayor agencia para incidir en las características de la dinámica de la innovación e inclusive liderarla en su beneficio. Se abre así una vía para profundizar en esta línea de investigación.

# **CAPÍTULO VIII.** CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

## 8.1 Conclusiones

La tesis ha formulado un interrogante principal a responder como guía del proceso de investigación: ¿Por qué la soberanía tecnológica constituye una nueva racionalidad que debe incorporarse a las políticas de innovación? Para dar respuesta, su objetivo general ha sido Desarrollar conceptual y empíricamente la noción de soberanía tecnológica (ST) así como los fundamentos que la justifican como nueva racionalidad de la política de innovación. El logro de este objetivo ha estado sujeto a alcanzar siete objetivos específicos. El desarrollo del argumento, las contribuciones y principales hallazgos se agrupan en tres partes que se resumen a continuación. Luego, se identifican aquellas cuestiones que no han sido suficientemente resueltas como introducción a las futuras líneas de investigación que merecen mayor profundización (ver sección 8.4).

La presente tesis ha abordado la noción de soberanía tecnológica (ST) desde una perspectiva integral, proponiendo un abordaje sustentado en fundamentos teóricos, pero con una clara impronta práctica. El proceso de investigación ha permitido responder a preguntas clave que guían la comprensión y operacionalización de la ST en el marco de las políticas de innovación, particularmente desde la perspectiva de la Unión Europea. En este sentido, se ha explorado no solo la conceptualización de la ST, sino también sus dimensiones constitutivas y la manera en que puede ser traducida al análisis empírico.

En primer lugar, la tesis se analiza la emergencia del concepto de soberanía tecnológica y su incorporación en el discurso político de la Unión Europea (UE), en relación con la búsqueda de una autonomía estratégica abierta en un mundo interdependiente pero geopolíticamente complejo. La gobernanza global de la economía *vis a vis* de la innovación no son ajenas a la evolución de la situación internacional. El punto de quiebre se sitúa en los facilitadores políticos que posibilitaron la globalización. Ello se expresa en la disputa entre Estados Unidos (también con la UE) y China y sus derivaciones.

La progresiva consideración de la tecnología como un activo para ejercer presión y/o coerción sobre otros actores así como la relevancia del acceso e intercambio digital de la

información ha provocado fuertes disputas sobre el acceso a infraestructuras digitales críticas (como el 5G, constelaciones de satélites y cables submarinos, entre otras), a materias primas (como las tierras raras o el litio) y a capacidades industriales (en ámbitos como la inteligencia artificial o los semiconductores), así como el control de los flujos y el almacenamiento de datos (como servicios y plataformas digitales en la nube o la ubicación de los centros de datos), y la definición de estándares técnicos en tecnologías emergentes.

La fragmentación de la producción y la consiguiente expansión de las CVM en las últimas cuatro décadas ha generado impactos no siempre simétricos para las partes implicadas, empresas y gobiernos. En muchos casos ha ido acompañada de la generación de importantes beneficios, pero en muchos otros ha provocado la pérdida de capacidades tecnológicas y productivas junto con la emigración de capital humano. Con una mirada retrospectiva ello explica que se asumiera la dependencia y aparentemente incontestable interdependencia en el seno de las CVM como posibles efectos adversos de la integración en éstas. Sin embargo, hacia el futuro el desarrollo de la dinámica económica y los flujos comerciales de acuerdo con una lógica estrictamente económica y a espaldas de la geopolítica y la seguridad parece muy arriesgado y difícil de sostener. En ese marco, la problemática de la soberanía tecnológica surge de la creciente demanda de algunos actores estatales y empresariales de preservar su capacidad de actuar estratégicamente en un entorno menos previsible.

En segundo lugar, se fundamentan las razones por las cuales la ST constituye una racionalidad que la política de innovación debe tener en cuenta en función de las condiciones contextuales identificadas y analizadas. El elemento principal que constituye el concepto es el poder de agencia que remite a tres cuestiones sin las cuales ese poder carece de fundamentos: capacidades propias o domésticas (Activos y competencias), estrategia geo-tecnológica (asociaciones estratégicas simétricas) y resiliencia (reservas y capacidades tecno-productivas que puedan recombinarse).

Un nivel bajo de ST se traduce en una mayor dependencia tecnológica, que se refiere a una situación en la que un país o bloque regional (y sus empresas) depende en gran medida de fuentes externas para acceder a tecnologías esenciales, disponer de ellas o controlarlas. Esta situación genera vulnerabilidades derivadas, por ejemplo, de interrupciones en la cadena de

suministro, de cambios en los estándares tecnológicos, disputas comerciales, sanciones o cambios en la dinámica geopolítica que condicionen o dificulten el acceso a tecnologías críticas.

El nivel de ST tiene implicaciones económicas que pueden impactar en el equilibrio comercial, la pérdida de competitividad y menor resiliencia frente a eventos disruptivos, pero también plantear riesgos para la seguridad nacional y los intereses estratégicos, especialmente en sectores como el de Defensa y Seguridad, las telecomunicaciones y la energía. La cuestión de la ST suele abordarse desde un punto de vista cualitativo. En cambio, la aproximación planteada por esta tesis adopta la formulación de un enfoque mixto -cualitativo-cuantitativo- para darle mayor robustez al análisis. Este enfoque podría ayudar a los responsables políticos y a las instituciones a formular e implementar estrategias basadas evidencias consistentes. De ahí la elaboración de una herramienta concebida para proveer información relevante eventualmente aprovechable por los decisores políticos que procuren anticiparse a eventuales escenarios hostiles. El IST se basa en la integración de indicadores aislados sobre una base teórica sólida para proporcionar una serie de opciones para la toma de decisiones.

En tercer lugar, se abordan tres aspectos empíricos derivados del concepto de ST que se propone. La ST es una noción relativa que representa un continuo en el que el nivel de un país (o grupo de países) en un momento dado se revela por sus activos y competencias netas, derivadas de la relación entre sus capacidades de I+D e innovación y sus dependencias tecnológicas críticas, pero que, además, la existencia y solidez de los mecanismos de resiliencia pueden influir positiva o negativamente en el análisis dinámico. El caso de las comunicaciones móviles avanzadas 5G tiene claras implicaciones geopolíticas relevantes para la evaluación y aplicabilidad del IST. Este caso expone con claridad que el despliegue de 5G, es decir, la forma de hacerlo y con quién, es una elección estratégica y no meramente tecnológica.

En cuanto a la dimensión interna, se examinó el caso de la tecnología de semiconductores y su relación con la inteligencia artificial, evaluando los puntos fuertes y débiles de la UE dentro de la cadena de valor mundial. La industria de los semiconductores, componentes

básicos de la economía y la seguridad modernas, se ha convertido en un escenario central de la rivalidad entre Estados Unidos y China. En función de su naturaleza, es considerada una tecnología crítica que define en parte las dinámicas de poder en las relaciones internacionales.

El fortalecimiento de los segmentos de diseño o fabricación dentro de la UE enlazado con una estrategia de atracción y retención de talento solo puede ser movilizado a partir de asumir como premisa que la ST desempeña un papel habilitador para el objetivo de la Autonomía estratégica Abierta. Por lo tanto, la articulación público-privada será decisiva para colocar en el centro a la tecnología y desde allí se ponderen las variables geopolíticas, económicas, comerciales en un horizonte temporal hasta 2030.

La construcción de capacidades regionales como base para mejorar la posición del bloque en segmentos tecnológicos clave y desarrollar capacidades si se carece de ellas alineada con una estrategia de cooperación internacional contribuyente son factores estratégicos de la Política de Innovación orientada a la ST. Por cierto, estos objetivos no siempre coinciden con los modelos empresariales y las estructuras de costes que han caracterizado a la economía mundial en las últimas décadas.

En lo concerniente a la dimensión externa de la ST, se presentó un estudio de la colaboración internacional en países y empresas de la UE. Este análisis se basa en patentes relacionadas con tecnologías digitales, determinando dinámicas de producción de conocimiento, especialización tecnológica y patrones de colaboración geográfica. El propósito ha sido observar si las empresas europeas en sectores críticos como las tecnologías digitales tienen sus propias capacidades o dependen en mayor medida de inventores de naciones extranjeras tanto dentro como fuera de la UE. La colaboración internacional puede ser compatible con una estrategia de soberanía tecnológica si las capacidades de las partes son simétricas o, al menos, complementarias. Sin embargo, cuando las capacidades tecnológicas de los actores involucrados son asimétricas, la colaboración puede limitarla. La tesis resalta la necesidad de un equilibrio entre fuerzas centrífugas y centrípetas en la política de innovación europea.

Mientras que los párrafos precedentes dan cuenta de aquellos puntos sobre los cuales este trabajo ha aportado soluciones que buscan contribuir a un debate en curso, hay tres asuntos pendientes de solución que tienen una singular importancia.

En primer lugar, resulta necesario continuar refinando los fundamentos teóricos y empíricos de la ST como racionalidad de la política de innovación. En particular, reforzar la línea de trabajo teórica que articule de forma más estilizada los enfoques de la Economía de la Innovación, las Relaciones Internacionales y la Geopolítica. La tesis procura contribuir en este aspecto, pero falta mucho trabajo. Por otra parte, la que he denominado "dimensión externa", es decir aquella directamente relacionada con la colaboración internacional, también merece ser explorada.

En segundo lugar, profundizar en la elaboración de herramientas y acciones específicas que consoliden la idea de Política de Innovación orientada a la Soberanía Tecnológica (PIST), refinando su diferenciación con las políticas de innovación preexistentes. Dicho de otra manera, desarrollar una narrativa más estilizada que, sustentada por estudios teóricos y empíricos, refleje mejor los contrastes de la PIST. En especial la dimensión productiva y la relevancia del tejido industrial doméstico (o regional en el caso de la UE) dentro del diseño de nuevas estrategias. Asimismo, la elaboración de estudios sobre los efectos marginales que ofrezca evidencias respecto a las áreas más adecuadas para que tanto las inversiones como las políticas deberían apuntar para mejorar el posicionamiento europeo.

En relación con el IST, la propuesta de la tesis es un punto de partida. En este sentido, los aportes que metodologías más sofisticadas de estimación puede darle mayor solidez instrumental. Uno de los aspectos que requiere más análisis teórico y testeo empírico se refiere al tercer pilar denominado "impulsores de soberanía tecnológica" porque introduce cierta novedad respecto a otros índices compuestos que han sido elaborados para medir las capacidades tecnológicas de los países. Además, falta trabajar la articulación del índice con el proceso de toma de decisiones.

## 8.2 Implicaciones

La tecnología no sólo ha transformado las economías y las sociedades, sino que también ha sido un importante redistribuidor de poder y una fuerza significativa que ha configurado y remodelado las relaciones internacionales. Las capacidades científico-tecnológicas repercuten en la economía, las fuerzas armadas y el posicionamiento mundial de países y grandes empresas. Atribuir soberanía a la tecnología significa actuar y decidir autónomamente con respecto a ésta y, sobre todo, tener el poder de decisión final. Mientras que el asunto de fondo no responde a una lógica binaria o dicotómica sino relativa y específica, implica decisiones estratégicas y políticas de carácter general respecto a los grados de ST a los que se aspira, en qué campos tecnológicos, en qué segmentos de una cadena de valor (generación de conocimiento, comercio de materias primas, producción u operación), o qué funciones se pretenden desempeñar y, por último, en función de los objetivos pretendidos (solo macro-políticos, solo micro-empresariales o un equilibrio entre ambos). En suma, no se trata de dominar las tecnologías como un fin en sí mismo, sino para ser capaz de hacer un uso soberano de las tecnologías con relevancia económica, social y política.

El primer paso es identificar los sectores y tecnologías que contienen las claves del crecimiento económico en áreas tecnológicas estratégicas consideradas críticas para la seguridad nacional, la competitividad económica y el bienestar social en las próximas décadas. Estos factores son la base para priorizar políticas e inversiones orientadas a fomentar la innovación. Complementariamente, la ST debería incidir en las decisiones sobre futuras asociaciones con terceros actores y las condiciones en las cuales surgen o evolucionan dichas asociaciones. Preservar los puntos fuertes tecnológicos europeos suena más sencillo de lo que es realmente, ya que una política de este tipo requiere un cambio de perspectiva. No son sólo las vulnerabilidades en el centro de las consideraciones, sino también la preservación a lo largo del tiempo de las fortalezas que permiten mantener márgenes de liderazgo tecnológico.

Disponer de un nivel suficiente de soberanía tecnológica (ST) o implementar acciones que permitan su obtención es una problemática que ocupa un lugar creciente en la agenda política de muchos países por lo cual no está ligada en exclusiva a la UE. No obstante, el bloque

regional europeo ha sido el principal impulsor del concepto tanto en los ámbitos políticos como académicos. El caso es interesante porque el recorrido del debate expone discusiones entre las diferentes visiones de los Estados Miembros, así como al interior de las instituciones comunitarias, sobre todo la Comisión Europea en su relación con el Consejo y el Parlamento Europeo; pero también porque refleja en cierta manera la reacción europea a los cambios del tablero geoestratégico.

Los argumentos presentados ofrecen coordenadas que contribuyen a comprender por qué no solo la aspiración a la autonomía estratégica abierta forma parte de los objetivos expresados por las autoridades de la UE, sino que nociones como la seguridad económica son revalorizadas en un escenario donde la militarización de los vínculos económicos amenaza el acceso y disponibilidad de tecnologías críticas bajo los esquemas de funcionamiento de las CVM configuradas en las últimas décadas. La autonomía estratégica abierta de la UE está indisolublemente asociada a su nivel de ST.

Un enfoque proactivo es crucial para que la UE mantenga su relevancia en el ámbito económico y político mundial sin verse obligada a tomar partido en la confrontación entre Estados Unidos y China. Por eso, es esencial que la UE coordine sus esfuerzos entre los Estados miembros, evitando la duplicación de recursos y asegurando una respuesta unificada frente a los desafíos globales. Entre otras acciones, debe enfocarse en fortalecer su capacidad tecnológica y productiva, especialmente en tecnologías habilitadoras clave y emergentes con gran potencial como la inteligencia artificial para no depender de potencias externas. De no adoptar ese camino, la prosperidad económica y la soberanía de Europa a largo plazo podría verse gravemente afectada.

Asimismo, desarrollar el capital humano a través de la inversión en programas educativos y de capacitación que doten a los individuos de habilidades STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) es crítico para construir una economía de innovación sostenible. La UE viene enfrentando un desafío en el caso de las tecnologías TIC y la electrónica (especialmente la nanoelectrónica e IA) configurado una escasa oferta relativa de cualificaciones de forma entrelazada con las características estructurales de la economía productiva. En otras palabras, la deslocalización de firmas en el extranjero afectó la

formación de especialistas en estos sectores, lo cual ha generado una tendencia gradual de reducción de empresas en el bloque o de limitar su crecimiento.

En un contexto de multipolaridad, el poder blando de la UE para promover normas y regulaciones requiere una acción activa en los foros pertinentes, pero un tipo de proactividad basada en capacidades tecnológicas soberanas. Asimismo, es inevitable la necesidad de que la UE redefina los límites geográficos de sus redes de producción y realice inversiones estratégicas a nivel nacional y regional para garantizar su acceso a tecnologías críticas.
Frente al proteccionismo que promueven de manera creciente muchos países, solo una UE que desarrolle capacidades propias en función de una PIST puede ofrecer las condiciones para reformular esquemas cooperativos basados en reglas y comercio justo. En la PIST convergen la inteligencia estratégica y el IST como insumos que agregan valor a su diseño al proveer un conocimiento detallado y respaldado por los datos, los cuales son elementos críticos para implementar iniciativas medibles, evaluables y eventualmente adaptables a diferentes situaciones. Dicho de otra manera, solo desde una posición de poder puede participar de la configuración de un nuevo sistema global de gobernanza de la innovación que emerja de este periodo de transición.

### 8.3 Limitaciones de la investigación

El abordaje propuesto por la investigación ha resultado adecuado para dar respuesta a una problemática que ha sido incorporada a la agenda académica de los estudios de innovación recientemente. Sin embargo, una serie de limitaciones pueden observarse que merece la pena explicitar ya que pueden ser recogidas incluso como punto de partida para nuevas investigaciones.

Primero, el análisis de las tecnologías digitales desarrollado en el capítulo VII se puede ampliar a entidades públicas y privadas, sobre todo porque otros actores son relevantes desde el punto de vista de la UE. Aunque han sido consideradas las empresas con mayores inversiones en I+D, éstas representan sólo una parte del ecosistema europeo -las mayores empresas o los mayores inversores en I+D-, lo que deja fuera a importantes jugadores tales como las pymes y *start-ups*, pero también Organizaciones de Investigación Tecnológica y universidades, lo cual podría dar lugar a una representación desigual de países/regiones en la

muestra. Por ejemplo, no incluir la parte de la inversión relacionada con la universidad, mientras un país/región dependa significativamente de la colaboración universidad-empresa en la generación de tecnología, frente a la innovación producida exclusivamente en el sector privado, puede subestimar el nivel de ST de este país/región.

Además, las patentes analizadas a nivel micro pertenecen a empresas de tres sectores industriales, clasificadas según su actividad principal. Aunque estos son los más relevantes en términos de tecnologías digitales, muchas empresas clasificadas en otros sectores no han sido consideradas, pero pueden haber solicitado patentes digitales relevantes. La participación de inventores europeos situados en Estados miembros fuera del grupo central de países (Croacia, República Checa, Hungría, Irlanda, Polonia, Portugal, Rumanía, Eslovenia y España) es un grupo heterogéneo. Por eso un estudio más profundo de las especificidades que cada enfoque sectorial puede promover a la hora de diseñar estrategias de CTI destinadas a reforzar los flujos de conocimiento entre los socios de la UE sería apropiado.

En cuanto a las limitaciones del análisis de la dimensión interna, una de ellas es que sólo se aborda la dimensión tecnológica de los semiconductores de silicio, sin considerar otras alternativas como la optoelectrónica o nuevos materiales como el nitruro de galio, cuestiones que agregan otras consideraciones. Otra cuestión ha sido el nivel de detalle con el cual se aplicó el IST a 5G y a semiconductores. Como justificante puede esgrimirse que el primero se trata de un sistema, mientras que en el caso de semiconductores es una tecnología habilitadora y trazarla es más complejo al aparecer en todos los sectores.

Por último, el instrumento de medición propuesto por la investigación, el IST, ha sido aplicado a dos casos de tecnologías altamente relacionadas y en un periodo determinado de tiempo. Por lo tanto, necesita ser extendido al análisis de otros actores y otras tecnologías para comprobar su versatilidad, y validar su uso para conocer las variaciones del nivel de ST de un país a lo largo del tiempo. Asimismo, incluir indicadores adicionales relacionados con la importación de tecnología tales como la entrada de Inversión Extranjera Directa (IED), pagos por licencias tecnológicas e importación de bienes de capital, podrían brindarle nuevos elementos que mejoren su capacidad para capturar los efectos empíricos del fenómeno de la

soberanía tecnológica. También, se debería explorar la metodología de uso del IST en mayor profundidad para verificar su sensibilidad para captar la solidez y proporcionar información adicional basada en la disponibilidad de datos.

### 8.4 Futuras líneas de investigación

La tesis realiza una contribución al análisis de la soberanía tecnológica entendiéndola como racionalidad de la política de innovación y colocando el foco en la Unión Europea. Simplificando la complejidad inherente a la constitución del bloque, puede señalarse que se trata de un espacio multinacional integrado por un conjunto de países desarrollados que explican en gran medida las capacidades tecnológicas y productivas disponibles como actor colectivo.

No obstante, las heterogeneidades en términos de capacidades de innovación dentro de la UE es un aspecto que, en función de la importancia estratégica de la ST a partir de los cambios en el tablero geoestratégico, es un asunto clave para emprender investigaciones futuras que profundicen en las formas de construcción de Políticas de Innovación orientadas a la ST y que amplíen el estudio a otros casos empíricos, contribuyendo de este modo a robustecer el enfoque mixto de carácter cualitativo y cuantitativo propuesto en esta investigación. El interés por la Inteligencia Artificial y las potencialidades que se le asignan sirve de ejemplo al igual que el mencionado del Anteproyecto de Ley de Industria y Autonomía Estratégica de España relacionado con la PIST.

La ST como problemática apenas ha comenzado a incorporarse a la agenda académica del campo de la innovación en los últimos años. Por ello, refinar las bases conceptuales y desarrollar análisis empíricos desde la perspectiva de otros actores, en particular economías emergentes (asiáticas y latinoamericanas) permitiría evaluar el desempeño de las dimensiones que conforman la definición de la tesis (generación, absorción y explotación de la tecnología) y estilizar las narrativas.

A lo anterior cabe agregar que no resulta apropiado restringir el análisis a una lógica estatal en la cual se asuma que las compañías tecnológicas son “soldados de infantería en un conflicto entre países hostiles” (Bremmer, 2021). Las denominadas gigantes tecnológicos

como Amazon, Apple, Meta, Google, Microsoft, Nvidia, X (ex Twitter) por parte de Estados Unidos; o Alibaba, ByteDance y Tencent por parte de China, tienen sus propios intereses cuyo alineamiento no necesariamente coincide con los del gobierno donde se ubica la matriz. Su influencia sobre las tecnologías y servicios que continúan extendiéndose en la economía internacional incide sobre la proyección económica, militar y social. En la medida en que las tecnologías digitales amplíen su omnipresencia a lo largo de las próximas décadas, el poder de estos actores aumentará. Por eso, cuando se trata de multinacionales, para condicionar el comportamiento empresarial de estos jugadores, los gobiernos deberán desplegar una acción gubernamental mucho más consistente que una mera instrucción o sugerencia que probablemente tenga efectos poco prácticos. Reflexionar sobre la ST a la luz de la relevancia de estos actores *stakeholders* también constituye un asunto que es apropiado explorar.

En lo concerniente al IST propuesto, la importancia de su validación con otras tecnologías y sistemas tecnológicos es una línea de trabajo relevante a realizar en futuras investigaciones. Uno de los aspectos que requiere más análisis teórico y testeo empírico se refiere al tercer pilar de "impulsores de soberanía tecnológica" porque introduce cierta novedad respecto a otros índices compuestos que han sido elaborados para medir las capacidades tecnológicas de los países. Esto permitiría sofisticar su metodología e incluso evaluar su complementariedad con la prospectiva y técnicas de análisis de escenarios. Por ejemplo, mientras que las patentes relacionadas con la denominada IA generativa han aumentado el 800% entre 2014-2023, las publicaciones pasaron de 116 a más de 34.000 en el mismo período. Dentro de este contexto, identificar a los países y las empresas detrás de esos datos, analizar sus objetivos geopolíticos y las potenciales consecuencias para los mercados tecnológicos, son asuntos que merece la pena indagar.

El análisis relacionado con la dimensión externa puede motivar investigaciones futuras. En primer lugar, porque aquí se analizan las empresas con mayores inversiones en I+D, lo que constituye una parte del ecosistema europeo -las mayores empresas o los mayores inversores en I+D-, invitando a analizar importantes actores tales como las Organizaciones de Investigación Tecnológica, las universidades, las pymes y las *start-ups* de base tecnológica en nuevos trabajos de investigación.

También se abren nuevas líneas de trabajo atendiendo al modo de generación de nuevos conocimientos. Por ejemplo, ¿la UE produce pocos conocimientos nuevos (a pesar de contar con algunas de las mejores universidades del mundo) o una pequeña fracción de los nuevos conocimientos llega al mercado? Según sea a la respuesta, la mejora de la transferencia de conocimientos de las universidades al sector privado puede ser el objetivo de la política.

En segundo lugar, las patentes analizadas a nivel micro pertenecen a empresas de tres sectores industriales, clasificadas según su actividad principal. Aunque estos son los más notables en términos de tecnologías digitales, cabe proponer el estudio de empresas clasificadas en otros sectores pero que pueden haber solicitado patentes digitales de gran valor tanto económico como tecnológico. Evidentemente debe insistirse en que sectores de alta tecnología como el aeroespacial también incluyen tecnologías digitales en un porcentaje elevado de sus patentes. En todo caso, estos aspectos indican que queda por delante un camino de investigación muy amplio.

En tercer lugar, la participación de inventores europeos en otros Estados miembros fuera del grupo central de países es un grupo heterogéneo que requiere un estudio más profundo de las especificidades que cada enfoque sectorial puede promover a la hora de diseñar estrategias de CTI destinadas a reforzar los flujos de conocimiento entre los socios de la UE.

Por último, el argumento desarrollado sugiere que el nivel de ST va a ser crecientemente decisivo en la reconfiguración de la globalización y, por consiguiente, en el rediseño de las CVM (u otras arquitecturas de organización de la producción y la innovación). Por ello, la agenda de investigación debería incluir nuevos estudios empíricos que arrojen luz sobre las características de este proceso. Esto es importante para refinar los modelos analíticos que puedan ofrecer coordenadas para una mejor comprensión de los posibles escenarios resultantes.

## Referencias

Abraham, B.P. and Moitra, S.D. (2001). Innovation Assessment through Patent Analysis. Technovation, 21, 245-252. DOI:10.1016/S0166-4972(00)00040-7.

Abraham, B.P. and Moitra, S.D. (2001). Innovation Assessment through Patent Analysis. Technovation, 21, 245-252. DOI:10.1016/S0166-4972(00)00040-7.

Alonso-Martinez, D.; González-Alvarez, N. and Nieto, M. (2021). Does international patent collaboration have an effect on entrepreneurship? Journal of International Entrepreneurship 19(4): 539-559. DOI: 10.1007/s10843-021-00302-x.

Ambos, T. y Ambos, B. (2009). The impact of distance on knowledge transfer effectiveness in multinational corporations. Journal of International Management, Elsevier, vol. 15(1), pp. 1-14.

Álvarez, I. Natera, J.M., Marín, R. (2019) Indicadores de tecnología para medir la presencia global de un país. Análisis del Real Instituto Elcano (ARI), 115(2019). Madrid

Álvarez. I. y Martin, V. (2020). Cadenas de valor en Europa y autonomía estratégica. Información Comercial Española Revista de Economía, 916, 185-205

Álvarez, I. Biurrun, A., Martín, V (2021): The impact of COVID-19 on European global value chains: Some concerns about diversification and resilience, African Journal of Science, Technology, Innovation and Development, DOI: 10.1080/20421338.2021.1983928

Andreoni, A., Chang, H.-J., & Labrunie, M. (2021a). Natura non facit saltus: Challenges and opportunities for digital industrialisation across developing countries. The European Journal of Development Research, 33(2), 330–370. https://doi.org/10.1057/s41287-020-00355-z

Andreoni, Antonio; Barnes, Justin; Black, Anthony and Sturgeon, Timothy (2021b). Digitalization, Industrialization, and Skills Development: Opportunities and Challenges for Middle-Income Countries. In: Antonio Andreoni, Pamela Mondliwa, Simon Roberts, and Fiona Tregenna (Eds.) Structural Transformation in South Africa: The Challenges of Inclusive Industrial Development in a Middle-Income Country. Oxford University Press.

Andreoni, A. & Chang, H. J. (2019). The political economy of industrial policy: structural interdependencies, policy alignment and conflict management, special issue: frontiers of industrial policy: structures, institutions, and policies. In: Andreoni, A.; Chang, H.-J.; Scazzieri, R. Structural change and economic dynamics, 48, p. 136-150.

Andreoni, A. & Gregory, M. (2013). Why and how does manufacturing still matter: old rationales, new realities. Revue d'économie industrielle, v. 144, n. 4, p. 21-57.

Aqlan, F. and Lam, S. (2015): Supply chain risk modelling and mitigation, International Journal of Production Research, DOI: 10.1080/00207543.2015.1047975

Archibugi, D. and Filipetti, A. (2014). The Globalization of Intellectual Property Rights: Much Ado About Nothing? pp. 161-181. In: M. Mayer *et al*. (eds.), The Global Politics of Science and Technology - Vol. 1, Global Power Shift, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. DOI 10.1007/978-3-642-55007-2_8

Archibugi, D. and Filippetti, A. (2014). The Globalization of Intellectual Property Rights: Much Ado About Nothing? pp. 161-181. In: M. Mayer *et al*. (eds.), The Global Politics of Science and Technology - Vol. 1, Global Power Shift, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. DOI 10.1007/978-3-642-55007-2_8

Archibugi, D. and Michie, J. (1997). Technological globalisation or national systems of innovation? Futures, Vol. 29, Issue 2: 121-137. DOI: https://doi.org/10.1016/S0016-3287(96)00072-9

Archibugi, D. and V. Mariella (2021), Is a European recovery possible without high-tech public corporations? Intereconomics, 56(3), 160-166.

Archibugi, D.; Denni, M. & Filippetti, A. (2009). The technological capabilities of nations: The state of the art of synthetic indicators, Technological Forecasting & Social Change 76: 917–931.

Archibugi, D.; Filippetti, A and Frenz, M. (2019) 'Investment in innovation for European recovery: A public policy priority', Science and Public Policy 47/1: 1–11. doi: 10.1093/scipol/scz049.

Archibugi, D.; Filippetti, A. and Frenz, M. (2020). Investment in innovation for European recovery: A public policy priority, Science and Public Policy, Volume 47, Issue 1, pages 92–102. DOI: 10.1093/scipol/scz049

Arnal, Judith; García, Emilio and Jorge, Raquel (2023). Policies and tools for strengthening the European semiconductor ecosystem. Elcano Policy Paper, Real Instituto Elcano, Madrid, Spain.

Arundel, A., S. Athreye and S. Wunsch-Vincent (2021). Harnessing Public Research for Innovation in the 21st Century: An International Assessment of Knowledge Transfer Policies. Intellectual Property, Innovation and Economic Development series. Geneva and Cambridge: World Intellectual Property Organization and Cambridge University Press.

Ash, T. China, and the US: trade war or cold war? Financial Times, 06/12/2018. Disponible en línea: https://www.ft.com/content/fe6f63ea-f964-11e8-af46-2022a0b02a6c [consultado 30/03/2020]

ASML (2022). EU Chips Act Position paper. Available online at:

Ayrapetyan, D.; Befort, N.; Hermans, F. (2025). From local markets to global legitimacy: A materialization perspective on technological innovation system's dynamics. Research Policy 54. DOI: 10.1016/j.respol.2024.105130

Baldwin, R. & Freeman, R. (2019). Trade conflict in the age of Covid-19, 2205/2020, VoxEU & CEPR. Disponible en línea: https://voxeu.org/article/trade-conflict-age-covid-19 [Consultado 23/07/2020].

Baldwin, R. (2013). Global supply chains: why they emerged, why they matter, and where they are going. En Elms, Deborah K. and Low, Patrick (Ed.) Global value chains in a changing world, Fung Global Institute (FGI), Nanyang Technological University (NTU), and World Trade Organization (WTO).

Baldwin, R., & Lopez-Gonzalez, J. (2015). Supply-chain trade: A portrait of global patterns and several testable hypotheses. The World Economy, 38(11), 1682–1721.

Baldwin, R (2022), "The peak globalisation myth: Part 1", VoxEU.org (31 Ago 2022). Disponible en línea: https://cepr.org/voxeu/columns/peak-globalisation-myth-part-1

Bergek, Anna, Staffan Jacobsson, Bo Carlsson, Sven Lindmark, and Annika Rickne. 2008. "Analyzing the Functional Dynamics of Technological Innovation Systems: A Scheme of Analysis." Research Policy 37 (3): 407–29.

Basberg, Bjørn L. (1987). Patents and the measurement of technological change: A survey of the literature. Research Policy, 16(2–4), 131–141. DOI: 10.1016/0048-7333(87)90027-8

Basberg, Bjørn L. (1987). Patents and the measurement of technological change: A survey of the literature. Research Policy, 16(2–4), 131–141. DOI: 10.1016/0048-7333(87)90027-8

Beaucillon, C. y Poli, S. (2023). Special Focus on EU Strategic Autonomy and Technological Sovereignty: An Introduction. European Papers Vol. 8, No 2, pp. 411-416. DOI: 10.15166/2499-8249/663

Bekar, C.; Carlaw, K. and Lipsey, R. General purpose technologies in theory, application and controversy: a review. J Evol Econ (2018) 28:1005–1033. https://doi.org/10.1007/s00191-017-0546-0

Bekkers, R., Henkel, J., Tur, E., van der Vorst, T., Driesse, M., Kang, B., … Teubner, L. (2020). Pilot Study for Essentiality Assessment of Standard Essential Patents. In Nikolaus Thumm (Ed.). Luxemburg: Publications Office of the European Union, Article JRC119894. In this issue.

Belderbos, R.; Carree, M.; Lokshin, B.; Fernández Sastre, J. (2014). Inter-temporal patterns of R&D Collaboration andInnovative Performance. The Journal of Technology Transfer 40(1):123-137. DOI: 10.1007/s10961-014-9332-4

Belderbos, R.; Carree, M.; Lokshin, B.; Fernández Sastre, J. (2014). Inter-temporal patterns of R&D Collaboration andInnovative Performance. The Journal of Technology Transfer 40(1):123-137. DOI: 10.1007/s10961-014-9332-4

Belenzon, S. and Patacconi, A. (2013). Innovation and firm value: An investigation of the changing role of patents, 1985–2007, Research Policy, Volume 42, Issue 8: 1496-1510, DOI: 10.1016/j.respol.2013.05.001

Berger, S. (ed.) (2013), Making in America, From Innovation to Market, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Beaumier, G. and Cartwright, M. (2024). Cross-Network Weaponization in the Semiconductor Supply Chain, International Studies Quarterly, Volume 68, Issue 1. DOI: https://doi.org/10.1093/isq/sqae003

Blomqvist, Kirsimarja, Pia Hurmelinna-Laukkanen, and Anne-Laure Mention (2024). Toward Integrating Trust in Open Innovation. In Henry Chesbrough, and others (eds), *The Oxford Handbook of Open Innovation*, Oxford Handbooks: Oxford Academic. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780192899798.013.13

Bômont, C. y Cattaruzza, A. (2020). "Le cloud computing: de l'objet technique à l'enjeu géopolitique. Le cas de la France". Hérodote, vol. 177-178, no. 2-3: 149-163. Disponible en: https://www.cairn.info/revue-herodote-2020-2-page-149.htm

Borrell, J. (2020a). Why European strategic autonomy matters, A window on the world - blog by HR/VP, dic 2020. https://eeas.europa.eu accessed 23 Jul 2021.

Borrell, J. (2020b). European strategic complacency is not an option. A Window on the World - Blog by HR/VP Josep Borrell. https://eeas.europa.eu/headquarters/headquarters-homepage/88782/european-strategic-complacency-not-option_en.

Bown, C., 2020. How the United States marched the semiconductor industry into its trade war with China. PIIE Working Paper 20-16.

Brandon-Jones, E., Squire, B., Autry, C. W., & Petersen, K. J. (2014). A contingent resource-based perspective of supply chain resilience and robustness. Journal of Supply Chain Management, 50/3, 55–73.

Bresnahan, T., & Trajtenberg, M. (1995). General purpose technologies: 'Engines of growth. Journal of Economics, 65, 83–108.

Bradford, A. (2023). Digital Empires: The Global Battle to Regulate Technology, Oxford Academic, New York.

Brown, P. and Lauder, H. (1997). 'Education, globalization, and economic development', in Halsey, A.H. *et al*. (eds.). Education: culture, economy, society, Oxford University Press, Oxford, pp. 172–92.

Buggenhagen, M. and Blind, K. (2022). Development of 5G – Identifying organizations active in publishing, patenting, and standardization. Telecommunications Policy 46/4. https://doi.org/10.1016/j.telpol.2022.102326

Buggenhagen, M., & Blind, K. (2022). Development of 5G – identifying organizations active in publishing, patenting, and standardization. Telecommunications Policy 46/4. https://doi.org/10.1016/j.telpol.2022.102326

Calderaro, Andrea and Blumfelde, Stella (2022). Artificial intelligence and EU security: the false promise of digital sovereignty. European Security 31 (3), pp. 414-434. DOI: https://doi.org/10.1080/09662839.2022.2101885

Cantwell, J. and Santangelo, G. (1999), "The frontier of international technology networks: sourcing abroad the most highly tacit capabilities", Information Economics and Policy, Vol. 11 No. 1, pp. 101-123.

Cantwell, J. and Santangelo, G. (1999), "The frontier of international technology networks: sourcing abroad the most highly tacit capabilities", Information Economics and Policy, Vol. 11 No. 1, pp. 101-123.

Cantwell, J. and Santangelo, G. (2000). Capitalism, profits and innovation in the new techno-economic paradigm. Journal of Evolutionary Economics, 10, 131±157.

Cantwell, B. and Grimm, A. (2018). The geopolitics of academic science. En: B. Cantwell, H. Coates, R. King (Eds.). Handbook on Politics of Higher Education, Edward Elgar Press, London, pp. 130-148.

Cappelli, R.; Corsino, M.; Laursen, K. (2023). Technological competition and patent strategy: Protecting innovation, preempting rivals and defending the freedom to operate. Research Policy 52. DOI: 10.1016/j.respol.2023.104785

Capozza, C. and Divella, M. (2018). Human capital and firms' innovation: Evidence from emerging economies. Economics of Innovation and New Technology, 28(7), 741–757. https://doi.org/10.1080/10438599.2018.1557426

Capozza, C., & Divella, M. (2018). Human capital and firms' innovation: Evidence from emerging economies. Economics of Innovation and New Technology, 28(7), 741–757. https://doi.org/10.1080/10438599.2018.1557426

Capri, Alex (2020). "Semiconductors at the Heart of the US-China Tech War". Hinrich Foundation. https://hinrichfoundation.com/trade-research/global-trade-research/thought-leadership/semiconductors-at-the-heart-of-the-us- china-tech-war/

Caravella, S.; Costantini, V. and Crespi, F. (2021). Mission-Oriented Policies and Technological Sovereignty: The case of Climate Mitigation Tecchnologies, Energies 14, 6854. DOI: 10.3390/en14206854

Cartwright, M. (2020). Internationalising state power through the internet: Google, Huawei and geopolitical struggle. Internet Policy Review, 9(3). https://doi.org/ 10.14763/2020.3.1494

CEPII. (2020). Chaînes de valeur mondiales et d´ ependances de la production française, La lettre du CEPII. Centre d'Etudes Prospectives et d'Informations Internationales, 22 Jul 2021 https://www.cepii.fr/LaLettreDuCEPII.

Cernat, L. (2022a). Between deglobalisation and slowbalisation: Where Europe stands, VoxEU.org (28 Nov 2022). Disponible en línea: https://cepr.org/voxeu/columns/between-deglobalisation-and-slowbalisation-where-europe-stands

Cernat, L. (2022b), "Has Globalisation Really Peaked for Europe?", ECIPE Policy Brief 08/2022.

Chesbrough, H.; Radziwon, A; Vanhaverbeke, W.; W.; West, J. (Eds.). (2024). The Oxford Handbook of Open Innovation. Oxford University Press. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780192899798.001.0001

Ciarli, T., Kenney, M., Massini, S., & Piscitello, L. (2021). Digital technologies, innovation, and skills: Emerging trajectories and challenges. Research Policy, 50(7), 104289. https://doi.org/10.1016/j.respol.2021.104289

Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1989). Innovation and learning: The two faces of R&D. Economic Journal, 99(379), 569–596.

Cohen, W., Goto, A., Nagata, A., Nelson, R. R., & Walsh, J. P. (2002). R&D spillovers, patents and the incentives to innovate in Japan and the United States. Research Policy, 31, 1349–1367.

Confraria, H., Ferreira, V. H., and Godinho, M. M. (2021). Emerging 21st century technologies: Is europe still falling behind?'. REM Working Papers, Working. Lisboa: ISEG.

Consejo de la Unión Europea (2022). Una Brújula Estratégica para reforzar la seguridad y la defensa de la UE en el próximo decenio. Comunicado de prensa. Disponible en línea: https://www.consilium.europa.eu/es/press/press-releases/2022/03/21/a-strategic-compass-for-a-stronger-eu-security-and-defence-in-the-next-decade/

Cooke, Philip (2013) Global Production Networks and Global Innovation Networks: Stability versus Growth, European Planning Studies, 21:7, 1081-1094.

Corenect. (2020). European Core Technologies for future connectivity systems and components, Report WP2 (Strategy, vision, and requirements) (p. H2020). ICT-42-2020. Cornell University. (2021).

Corsi, S., Di Minin, A., & Piccaluga, A. (2015). Reverse innovation at speres: A case study in China. Research-Technology Management, 57(4), 28–34. Crossan, M. M., & Apaydin, M. (2010). A multi-dimensional framework of organizational innovation: A systematic review of the literature. Journal of Management Studies, 47, 1154–1191.

Council of the European Union (EU 2022). The semiconductor ecosystem. Global features and Europe's position. General Secretariat.

Cozzens, S.; Gatchair, S.; Kang, J.; Kim, K.; Lee, H., Ordóñez, G. & Porter, A. (2010). Emerging technologies: quantitative identification and measurement, Technology Analysis & Strategic Management, 22: 3, 361 — 376.

Crafts, N. (2021). Artificial intelligence as a general-purpose technology: An historical perspective. Oxford Review of Economic Policy, 37(3), 521–536. DOI: 10.1093/oxrep/grab012

Crespi, F.; Caravella, S.; Menghini, M. and Salvatori, C. (2021). European Technological Sovereignty: An Emerging Framework for Policy Strategy. Intereconomics Volume 56(6): 348–354

CSIS (2022). Opportunities and Pitfalls for U.S.-EU Collaboration on Semiconductor Value Chain Resilience. Available online at:

https://www.csis.org/analysis/opportunities-and-pitfalls-us-eu-collaboration-semiconductor-value-chain-resilience

Coveri, A. y Zanfei, A. (2023). The virtues and limits of specialization in global value chains: analysis and policy implications. Journal of Industrial and Business Economics. DOI: 10.1007/s40812-022-00247-9

Coveri, A., & Zanfei, A. (2022). Functional division of labour and value capture in global value chains: a new empirical assessment based on FDI data. Review of International Political Economy. https://doi.org/10.1080/09692290.2022.2152074.

Dachs, B.; Amoroso, S.; Castellani, D.; Papanastassiou, M.; von Zedtwitz, M. (2024). The internationalisation of R&D: Past, present and future, International Business Review, Volume 33, Issue. DOI: 10.1016/j.ibusrev.2023.102191.

da Ponte, A. Leon, G. and Alvarez, I. (2022). Technological sovereignty of the EU in advanced 5G mobile communications an empirical approach. Telecommunication Policy (2022). DOI: https://doi.org/10.1016/j.telpol.2022.102459

da Ponte, A. Leon, G. and Alvarez, I. (2022). Technological sovereignty of the EU in advanced 5G mobile communications an empirical approach. Telecommunication Policy (2022). DOI: https://doi.org/10.1016/j.telpol.2022.102459

Dachs, Bernhard (2023). The European Chips Act, FIW-Kurzbericht, No. 58, FIW - Research Centre International Economics, Vienna.

Damásio, B.; Mendonça, S. and Silva, E. (2023). Developing science and technology – the role of Big Tech, h, 32nd European Conference of the International Telecommunications Society (ITS), Madrid, Spain, 19th - 20th June.

De Backer, K. & Miroudot, S. (2014) Mapping Global Value Chains. Frankfurt: European Central Bank Working Paper Series.

De Marchi, V.; Di Maria, E. & Ponte, S. (2013). Multinational Firms and the Management of Global Networks: Insights from Global Value Chain Studies, pp. 463-486. En: Pedersen, T.; Venzin, M.; Devinney, T. M. & Tihanyi, L. (2013). Orchestration of the Global Network Organization, Series Advances in International Management, Vol. 27, Bingley: Emerald Group Publishing.

De Rassenfosse, G., Dernis, H., Guellec, D., Picci, L., Van Pottelsberghe De La Potterie, B., 2013. The worldwide count of priority patents: A new indicator of inventive activity. Res. Policy 42, 720–737. DOI: 10.1016/j.respol.2012.11.002

De Rassenfosse, G., Dernis, H., Guellec, D., Picci, L., Van Pottelsberghe De La Potterie, B., 2013. The worldwide count of priority patents: A new indicator of inventive activity. Res. Policy 42, 720–737. DOI: 10.1016/j.respol.2012.11.002

De Rassenfosse, G., Schoen, A., Wastyn, A., 2014. Selection bias in innovation studies: A simple test. Technol. Forecast. Soc. Change 81, 287–299. DOI:10.1016/j.techfore.2013.02.012

DEC-EC. (2020). Decision etudes & conseil 'study on the electronics ecosystem. Overview, developments and Europe's position in the world', DG communications networks. European Commission: Content and Technology.

Decision Etudes & Conseil (2020). Study on the Electronics Ecosystem. Overview, developments and Europe's position in the world, DG Communications Networks, Content & Technology, European Commission.

Decision Etudes & Conseil (DEC-EC) (2020). Study on the Electronics Ecosystem. Overview, developments and Europe's position in the world, DG Communications Networks, Content & Technology, European Commission.

Deloitte Insights (2022). A new dawn for European chips. Available at: https://www2.deloitte.com/xe/en/insights/industry/technology/semiconductor-chip-shortage-supply-chain.html

Dernis H., Gkotsis P., Grassano N., Nakazato S., Squicciarini M., van Beuzekom B., Vezzani, A. (2019). World Corporate Top R&D investors: Shaping the Future of Technologies and of AI. A joint JRC and OECD report. EUR 29831 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

D'Hooghe, I. y Lammertink, J. (2023). How National Governments and Research Institutions Safeguard Knowledge Development in Science and Technology, Leiden Asia Centre

Dibiaggio, L., Nesta, L., 2005. Patents Statistics, Knowledge Specialisation and the Organisation of Competencies. Rev. d'économie Ind. 110, 103–126. DOI:10.3406/rei.2005.3074

Dosi, G., Llerena, P., & Labini, M. S. (2006). The relationships between science, technologies and their industrial exploitation: An illustration through the myths and realities of the so-called 'European paradox'. Research Policy, 35, 1450–1464.

Erkkilä, T., 2020. Using indexes in comparative policy analysis: global com- parisons. Handbook of Research Methods and Applications in Compara- tive Policy Analysis https://www.elgaronline.com/view/edcoll/9781788111188/ 9781788111188.0 0 018.xml

European Reshoring Monitor., (2018) https://reshoring.eurofound.europa.eu/.

EC (2021) "The 2021 EU Industrial R&D Investment Scoreboard". European Commission. JRC/DG RTD

EC European Commission. (2019a). EU-China – a strategic outlook, Strasbourg.

EC European Commission. (2020a). Critical materials for strategic technologies and sectors in the EU - a foresight study. Luxembourg: Publications Office of the European Union. DOI:10.2873/58081. https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42881

EC European Commission. (2020b). Critical raw materials resilience: Charting a path towards greater security and sustainability. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

EC European Commission. (2021). Strategic dependencies and capacities. Brussels.

European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Horizon Europe strategic plan 2021-2024, Publications Office of the European Union, 2021, DOI: https://data.europa.eu/doi/10.2777/083753.

EC European Commission. (2022a). A chips act for Europe, COM(2022) 45 final. Brussels.

European Commission (2022b). Communication from the commission to the European parliament, the Council, the European economic and social committee and the committee of the regions, "an EU strategy on standardisation: Setting global standards in support of a resilient, green and digital EU single market", Vol. 31, COM (2022).

European Commission (2023c). Aplicación del conjunto de instrumentos de la UE para la seguridad de las redes 5G. Comunicación de la Comisión C(2023) 4049 final. Bruselas, 15.6.2023. Disponible en línea: https://digital-

strategy.ec.europa.eu/en/library/communication-commission-implementation-5g-cybersecurity-toolbox

European Parliamentary Research Service (2023). A preparedness plan for Europe: Addressing food, energy and technological security. Disponible en línea: https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/740232/EPRS_STU(2023)740232_EN.pdf

EPRS (2021a). Post Covid-19 value chains: options for reshoring production back to Europe in a globalised economy. Disponible en línea: https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EXPO_STU(2021)653626

European Parliamentary Research Service (2021b). Key enabling technologies for Europe's technological sovereignty. Disponible en línea: https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/697184/EPRS_STU(2021)697184_EN.pdf

ECS-SRIA (2023). ECS Strategic Research and Innovation Agenda, AENEAS, Inside Industry Association (formerly ARTEMIS-IA) and EPOSS. Available at: https://ecssria.eu/

Edler, J., Blind, K., Frietsch, R., Kimpeler, S., Kroll, H., Lerch, C., Reiss, T., Roth, F., Schubert, T., Schuler, J., & Walz, R. (2020). Technology sovereignty. From demand to concept. Karlsruhe, Germany: Fraunhofer Institute for systems and innovation Research (ISI).

Edler, J., Blind, K., Kroll, H., & Schubert, T. (2021). Technology sovereignty as an emerging frame for innovation policy- defining rationales, ends and means. In Fraunhofer ISI discussion papers innovation systems and policy analysis n (Vol. 70). Karlsruhe July 2021.

Edler, J.; Blind, K.; Kroll, H. and Schubert, T. (2023). Technology sovereignty as an emerging frame for innovation policy. Defining rationales, ends and means. Research Policy 52/6. DOI: 10.1016/j.respol.2023.104765.

Edler, J.; Blind, K.; Kroll, H. and Schubert, T. (2023). Technology sovereignty as an emerging frame for innovation policy. Defining rationales, ends and means. Research Policy 52/6. DOI: 10.1016/j.respol.2023.104765.

Ejermo, O. and Karlsson, C. (2006). Interregional inventor networks as studied by patent co-inventorships, Research Policy, Vol. 35 No. 3, pp. 412-430.

Electronic Components and Systems (ECS). (2021). Strategic research agenda (SRA) berlin, Germany.

Ellram L. M.; Tate, W.L.; Petersen, K. J. (2013). Offshoring and reshoring: an update on the manufacturing location decision. J Supply Chain Manag 49:14–22.

EPRS - European Parliamentary Research Service. (2020). Strategic sovereignty for Europe, EPRS ideas paper, towards a more resilient EU. European Parliament. (2019). 5G in the EU and Chinese telecoms suppliers. EPRS European Parliamentary Research Service.

ERNST & YOUNG (2019). The economic contribution of the European tower sector. A report for the European Wireless Infrastructure Association.

Ernst, D. & Kim, L. (2002). Global production networks, knowledge diffusion, and local capability formation, Research Policy 31 (2002) 1417–1429.

Ernst, D. (2009) A new geography of knowledge in the electronics industry? Asia's role in global innovation networks, in: Policy Studies, Vol. 54, pp. 1–84 (Honolulu: East-West Center).

Espacenet, 2023, Espacenet patent database. Assessed at: http:// www. epo. org/ searc hing/ free/ espac enet.html

ESPAS (2022). Global Semiconductor Trends and the Future of EU Chip Capabilities, European Parliamentary Research Service (EPRS). Available online at: Global-Semiconductor-Trends-and-the-Future-of-EU-Chip-Capabilities-2022.pdf (espas.eu)

European Commission (2021). Strategic dependencies and capacities. Staff Working Document accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Updating the 2020 New Industrial Strategy: Building a stronger Single Market for Europe's recovery. Brussels: SWD(2021) 351 final. https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021SC0352 &from=EN

European Commission (2022a). A Chips Act for Europe. Commission Staff Working Document. Brussels: {SWD(2022) 147 final. https://ec.europa.eu/newsroom/dae/redirection/document/866 90

European Commission, Joint Research Centre, Cerutti, I., Nardo, M. (2023). Semiconductors in the EU – State of play future trends and vulnerabilites of the semiconductor supply chain, Publications Office of the European Union, https://data.europa.eu/doi/10.2760/038299

European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, European Innovation Scoreboard 2023 – Executive summary, Publications Office of the European Union, 2023, https://data.europa.eu/doi/10.2777/572275

European Economic and Social Committee (2022). Europe's semiconductor ecosystem. Brussels: https://www.eesc.europa.eu/en/our-work/opinions-informationreports/opinions/europes-semiconductor-ecosystem

European Strategy and Policy Analysis System (ESPAS) (2022). Global Semiconductor Trends and the Future of EU Chip Capabilities. European Parliamentary Research Service (EPRS). Available at: Global-Semiconductor-Trends-and-the-Future-of-EU-Chip-Capabilities-2022.pdf (espas.eu)

Eurostat. (2013). Economy-wide material flow accounts (EW-MFA), compilation guide. Eurostat.

Fägersten, B., & Rühlig, T. (2019). 'China's standard power and its geopolitical implications for Europe'. Stockholm: Swedish Institute of International Affairs.

Farrand, Benjamin and Farrand Carrapico, Helena (2022) Digital Sovereignty and Taking Back Control: From Regulatory Capitalism to Regulatory Mercantilism in EU Cybersecurity. European Security, 31 (3). pp. 435-453. DOI: doi.org/10.1080/09662839.2022.2102896

Farrell, H. y Newman, A. L. (2019). Weaponized Interdependence: How Global Economic Networks Shape State Coercion. International Security (2019) 44 (1): 42–79. Doi: 10.1162/isec_a_00351

Feijoo González, C. y Atienza Riera, J. M. (2023). Diplomacia tecnológica y geopolítica multipolar: Una revisión de cuestiones clave. Economía industrial Número 427. Dedicado a: Soberanía Tecnológica e Industrial.

FJäder, C. O. (2016). National Security in a Hyper-connected World. Global Interdependence and National Security.

Foray, D. & Freeman, C. (1993) Technology and the Wealth of Nations: The Dynamics of Constructed Advantage (London: Frances Pinter).

Foxon,T.J. (2013). Technological Lock-In, pp. 123-127. In: Jason F. Shogren (Ed.) Encyclopedia of Energy, Natural Resource, and Environmental Economics, Elsevier. Disponible en línea: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375067-9.00067-X.

Fratocchi L.; Ancarani, A.; Barbieri, P. Di Mauro, C.; Nassimbeni, G; Sartor, M.; Vignoli, M. & Zanoni, A. (2016) Motivations of manufacturing reshoring: an interpretative framework. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 46:98–127.

Frías, Z., & Pérez Martínez, J. (2017). 5G networks: Will technology and policy collide? Telecommunications Policy, 42/8, 612–621.

Frietsch, R. and Grupp, H. (2006). There is a new man in town: The paradigm shift in optical technology. Technovation, 26: 463-472.

Fuller, D. (2002). Globalization for Nation Building: Industrial Policy for High-Technology products in Taiwan. Working Paper 02.02, Boston: MIT Japan Program.

Fuller, D. B. (2010). Networks and nations: the interplay of transnational networks and domestic institutions in China's chip design industry, Int. J. Technology Management, Vol. 51, Nos. 2/3/4: 239-257.

Fuller, D.; Akinwande, A.; Sodini, C. (2017). The globalization of R&D's implications for technological capabilities in MNC home countries: Semiconductor design offshoring to China and India, Technological Forecasting and Social Change 120:14-23.

Gartner. (2021). Gartner magic quadrant for 5G network infrastructure for communications service providers.

Gilles, F., & Toth, J. (2021). Accelerating the 5G transition in Europe: How to boost investments in transformative 5G solutions. Luxemburg: European Investment Bank.

Gilpin, R. (1975). US power and the multinational corporation: the political economy of foreign direct investment, New York: Basic Books.

Gilpin, R. (1981) War and change in world politics, Cambridge: Cambridge University Press.

Glänzel, W. y Meyer, M. (2003). Patents cited in the scientific literature: an exploratory study of "reverse" citation relations, Scientometrics, 58 (2), pp. 415-428, DOI: 10.1023/A:1026248929668.

Global innovation index 2021: Innovation investments resilient despite COVID-19 pandemic. Cornell University, INSEAD & World Intellectual Property Organization (WIPO).

Globerman, S. (1978), Canadian science policy and technological sovereignty, Canadian Public Policy/Analyse De Politiques, 4(1), 34-45.

Godinho, M. M. and Simoes, V. C. (2023). The Tech Cold War: What can we learn from the most dynamic patent classes? International Business Review. DOI: 10.1016/j.ibusrev.2023.102140

Goel R.K. y Nelson, M.A. (2022). Employment effects of R&D and process innovation: Evidence from small and medium-sized firms in emerging markets. Eurasian Bus. Rev. 12 pp. 97-123. Doi: 10.1007/s40821-022-00203-6

Graham A.; Klyman, K.; Barbesino, K. y Yen, H. (2021). The Great Tech Rivalry: China vs the US, Cambridge, MA.

Grant, P. (1983), Technological sovereignty: forgotten factor in the 'hitech' razzamatazz, Prometheus, 1(2), 239-270.

Grassano, N., Hernández Guevara, H., Fako, P., European Commission, Joint Research Centre (2022). The 2022 EU industrial R&D investment scoreboard: extended summary of key findings and policy implications, Publications Office of the European Union. https://data.europa.eu/doi/10.2760/08410

Griliches, Z. (1979). Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth. Bell Journal of Economics, The RAND Corporation, 10(1), 92–116.

Griliches, Z. (1990). Patent statistics as economic indicators: A survey Part I. NBER WP series. WP no. 3301.

Griliches, Z., 1990. Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey. J. Econ. Lit. 28, 1661–1707.

Grindley, P. and Teece, D. (1997). Managing Intellectual Capital: Licensing and Cross-Licensing in Semiconductors and Electronics. California Management Review, 39(2), 8–41. DOI: 10.2307/41165885

Grupp, H. & Mogee, M.E. (2004). Indicators for national science and technology policy: how robust are composite indicators? Res. Policy 33 (9): 1373–1384.

Grupp, H. & Schubert, T. (2010): "Review and New Evidence on Composite Innovation Indicators for Evaluating National Performance", Research Policy, 39, 67-78.

Grupp, H., & Schubert, T. (2010). Review and new evidence on composite innovation indicators for evaluating national performance. Research Policy, 39(1), 67–78.

Guellec, D. and van Pottelsberghe de la Potterie, B. (2001). The internationalisation of technology analysed with patent data. Research Policy 30 (2001) 1253–1266

Guellec, D. and van Pottelsberghe de la Potterie, B. (2001). The internationalisation of technology analysed with patent data. Research Policy 30 (2001) 1253–1266.

Haakonsson, Stine J., Kirkegaard Julia K. (2016). Configuration of Technology Networks in the Wind Turbine Industry: A Comparative Study of Technology Management Models in European and Chinese Lead Firms, International Journal of Technology Management, 70(4), 281–299.

Harrington, T. S., & Srai, J. S. (2012). "Defining Product-service Network Configurations and Location Roles: A Current and Future State Analysis Framework for International Engineering Operations." International Journal of Product Development 17 (3/4): 228–253.

Harrington, T. S., & Srai, J. S. (2016). Understanding Stages of Supply Network Emergence in Technology Commercialization, International Journal of Manufacturing Technology and Management.

Harrington, T. S., Phillips, M. A., & Srai, J. S. (2016). Reconfiguring global pharmaceutical value networks through targeted technology interventions. International Journal of Production Research, 55(5), 1471–1487.

Haroche, P. (2022). A 'Geopolitical Commission': Supranationalism Meets Global Power Competition, Journal of Common Market Studies, 61/4: 970-987 DOI: 10.1111/jcms.13440

Hekkert, Marko P., Roald A.A. Suurs, Simona O. Negro, Stefan Kuhlmann, and Ruud E.H.M. Smits. 2007. "Functions of Innovation Systems: A New Approach for Analysing Technological Change." Technological Forecasting & Social Change 74 (4): 413–23.

Hinz, J. & Leromain, E. (2016). Politics of Global Value Chains, Working Paper 1026, The Economic Research Forum (ERF).

Ho, M., Ghauri, P. y Kafouros, M. (2019). Knowledge acquisition in international strategic alliances: The role of knowledge ambiguity. Management International Review, 59 (3), pp. 439-463.

Humphrey, J., & Schmitz, H. (2000) Governance and upgrading: Linking industrial cluster and global value chain research. IDS Working Paper, No. 120, Institute of Development Studies, University of Sussex, Brighton.

Humphrey, J., & Schmitz, H. (2002). How does insertion in global value chains affect upgrading industrial clusters? Regional Studies, 36(9), 1017–1027.

ICE, Revista de Economía, 916 (2020), pp. 185-205, 10.32796/ice.2020.916.7097

Im, T., Choi, Y. (2018). Rethinking national competitiveness: a critical assessment of governmental capacity measures. Soc. Indic. Res. 135 (2), 515–532. doi: 10.1007/ s11205- 016- 1494- z

IRDS (2022). International roadmap for devices and Systems (2022). IEEE. Available at: https://irds.ieee.org/editions/2022

Jaffe, A.B., 1986. Technological Opportunity and Spillovers of R & D: Evidence from Firms' Patents, Profits, and Market Value. Am. Econ. Rev. 76, 984–1001. DOI:10.2307/1816464

Jaffe, A.B.; Trajtenberg M. y Henderson, R. (1993). Geographic localization of knowledge spillovers as evidenced by patent citations Q. J. Econ., 108 (3), pp. 577-598, DOI: 10.2307/2118401.

Jeeeun K. and Lee, S. (2015). Patent databases for innovation studies: A comparative analysis of USPTO, EPO, JPO and KIPO, Technological Forecasting and Social Change, Volume 92: 332-345. DOI: 10.1016/j.techfore.2015.01.009.

Jeeeun K. and Lee, S. (2015). Patent databases for innovation studies: A comparative analysis of USPTO, EPO, JPO and KIPO, Technological Forecasting and Social Change, Volume 92: 332-345. DOI: 10.1016/j.techfore.2015.01.009.

Jensen, P. H., & Webster, E. (2009). Another look at the relationship between innovation proxies. Australian Economic Papers, 48(3), 252–269.

Jones, L.; Krulikowski, S.; Lotze, N. y Schreiber, S. (2023). U.S. Exposure to the Taiwanese Semiconductor Industry. Economics Working Paper 2023–11–A. U.S. International Trade Commission. Disponible en línea: www.usitc.gov/publications/332/working_papers/us_exposure_to_the_taiwanese_semiconductor_industry_11-21-2023_508.pdf

Jorge Ricart, R. y Álvarez-Aragonés, P. (2024). La geopolítica de la IA generativa: implicaciones internacionales y el papel de la Unión Europea, Policy paper, Real Instituto Elcano. Disponible en línea: https://www.realinstitutoelcano.org/policy-paper/la-geopolitica-de-la-ia-generativa-implicaciones-internacionales-y-el-papel-de-la-union-europea/

Joung, J., Kim, K., 2017. Monitoring emerging technologies for technology planning using technical keyword-based analysis from patent data. Technol. Forecast. Soc. Chang. 114, 281–292.

Kearney. (2020). The tipping point for European high-tech: Catch up or lose out. Kearney.

Kearny (2022). Europe's urgent need to invest in a leading-edge semiconductor ecosystem.

Keller, W. (2010). International trade, foreign direct investment, and technology spillovers. In B. H. Hall & N. Rosenberg (Eds.) Handbook of the economics of innovation (Vol. 2) (pp.793–829). Elsevier North-Holland.

Kennedy, A. y Lim, D. (2018). The innovation imperative: technology and US–China rivalry in the twenty-first century. International Affairs 94/3: 553–572; Oxford University Press. DOI: 10.1093/ia/iiy044

Khan, K., Su, C.-W., Umar, M., & Zhang, W. (2022). Geopolitics of technology: A new battleground? Technological and Economic Development of Economy, 28(2), 442–462. https://doi.org/10.3846/tede.2022.16028

Kleinhans, Jan-Peter and Baisakova, Nurzat (2020). "The Global Semiconductor Value Chain: A Technology Primer for Policy Makers". Stiftung Neue Verantwortung. https://www.stiftung-nv.de/sites/default/!les/the_global_semiconductor_value_chain.pdf

Kleinknecht, A., Van Montfort, K., & Brouwer, E. (2002). The non-trivial choice among innovation indicators. Economics of Innovation and New Technology, 11(2), 109–121, 2002.

Klomp, L., Van Leeuwen, & George. (2001). Linking innovation and firm performance: A new approach. International Journal of the Economics of Business, 8(3), 343–364.

Kroll, H. and Frietsch, R. (2022). China's Changing Role in Global Science and Innovation, Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis No. 73.

Laperche, B. (2017). Enterprise SWD (ledge Capital. ISTE Ltd, London and John Wiley & Sons, New York.

Lee, J. y Haupt, J. P. (2020). Winners and losers in US-China scientific research collaborations High. Educ., 80/1, pp. 57-74.

Lema, R., Pietrobelli, C., Rabellotti, R., Vezzani, A. (2021). Deepening or delinking? Innovative capacity and global value chain participation in the IT industry. Industrial and Corporate Change, 30(4), 1065-1083

León, G. (2020). Repercusiones estratégicas del desarrollo tecnológico. Impacto de las tecnologías emergentes en el posicionamiento estratégico de los países. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid-CESEDEN.

León, G. (2023). Soberanía tecnológica: visión geopolítica desde la Unión Europea, Revista ICE Núm. 930. DOI https://doi.org/10.32796/ice.2023.930.7570

León, G. (2024). Análisis de la autonomía estratégica abierta digital de la UE. Retos tecnológicos y geopolíticos en un mundo convulso, Monografías RADE, Número 1, Real Academia de Doctores, Madrid.

Lippert, B.; von Ondarza, N. & Perthes, V. (eds.) (2019). European Strategic Autonomy. Actors, Issues, Conflicts of Interests. SWP Research Paper 4, Berlin: German Institute for International and Security Affairs.

Liu, W.; Tao, Y.; Bi, K. (2022). Capturing information on global knowledge flows from patent transfers: An empirical study using USPTO patents. Research Policy 51/5. DOI: https://doi.org/10.1016/j.respol.2022.104509

Livesey, F. (2018). Unpacking the possibilities of deglobalization, Cambridge Journal of Regions, Economy and Society 2018, 11, 177–187

López Cobo M., Rohman I.K., De Prato G., Cardona M., Righi R., Samoili S., Vázquez-Prada Baillet M. (2020). ICT specialists in employment. Methodological note, Seville: European Commission, JRC119846.

Mansouri, S. A. (2022). A Brief Review of the Evolution of International Trade Theories. International Journal of Business and Development Studies, 14 (2), 93-108. DOI: 10.22111/ijbds.2022.7518.

March, C., & Schieferdecker, I. (2021). Technological sovereignty as ability, not autarky, CESifo working papers, 9139. Munic: CESifo. Online: https://www.ce-sifo. org/en/publikationen/2021/working-paper/technological-sovereignty-ability-not-autarky.

March, C.; Schieferdecker, I. (2023): Technological Sovereignty as Ability, Not Autarky. International Studies Review. DOI: 10.1093/isr/viad012.

Marginson, S. (2022). "All things are in flux": China in global science, High. Educ., 83 (4), pp. 881-910.

Mariotti, Sergio (2022). A warning from the Russian–Ukrainian war: avoiding a future that rhymes with the past. Journal of Industrial and Business Economics (2022) 49:761–782 https://doi.org/10.1007/s40812-022-00219-z

Markard, J.; Hekkert, M.; Jacobsson, S. (2015). The technological innovation systems framework: Response to six criticisms, Environmental Innovation and Societal Transitions, Volume 16: 76-86. DOI: 10.1016/j.eist.2015.07.006

Medina, L; Cano-Kollmann, M. and Alvarez, I. (2019). International connectivity in the generation of information and communication technology (ICT) in Spain. Competitiveness Review: An International Business Journal 30/3: 355-371. DOI: 10.1108/CR-08-2019-0072.

Mendonça, S., Damásio, B., Charlita de Freitas, L., Oliveira, L., Cichy, M., & Nicita, A. (2022). The rise of 5G technologies and systems: A quantitative analysis of knowledge production. Telecommunications Policy, 46.

Mendonça, S.; Cardoso, G. and Caraça, J. (2012). The strategic strength of weak signal analysis, Futures, Volume 44, Issue 3: 218-228. https://doi.org/10.1016/j.futures.2011.10.004.

Menéndez, M., Nomaler, Ö., Verspagen, B. (2023). Identification of Fourth Industrial Revolution technologies using PATSTAT data. UNU-Merit Working Paper Series 2023-023.

Milanov, H. and Fernhaber, S. (2014). When do domestic alliances help ventures abroad? Direct and moderating effects from a learning perspective, Journal of Business Venturing Volume 29, Issue 3: 377-391. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2013.05.004

Milanov, H. and Fernhaber, S. (2014). When do domestic alliances help ventures abroad? Direct and moderating effects from a learning perspective, Journal of Business Venturing Volume 29, Issue 3: 377-391. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2013.05.004

Millard, J.; Bjørn Larsen, P.; Pedersen, K.; Kidmose Rytz, B.; de VET, J. M.; Vodovar, M.; Wymenga, P. HAY, G. & Stenning, J. (2012) Internationalization and fragmentation of value chains and security of supply. Published by the European Commission, DG Enterprise, and Industry.

Ming-Chin Monique Chu (06 Feb 2023): China's defence semiconductor industrial base in an age of globalisation: Cross-strait dynamics and regional security implications, Journal of Strategic Studies, DOI: 10.1080/01402390.2023.2164852

Miroudot, S. (2020). Resilience versus robustness in global value chains: Some policy implications. Vox EU. Jun 2020 https://voxeu.org/ accessed 23 Jul 2021.

Mohnen, P., & Hall, B. (2013). Innovation and productivity: An update. Eurasian Business Review, 3(Issue 1), 47–65.

Møller Larsen, M., Seppälä, T., & Ali-Yrkkö, J. (2018). The Changing Geography and Ownership of Value Creation: Evidence from Mobile Telecommunications. Industry and Innovation, 25(7), 675-698.

Moncada-Paternò-Castello, P. and Hernandez, H. (2018). Ten-year evolution of EU industrial R&D in the global context. JRC Policy Insights, European Commission. JRC112352; # 6. July.

Moncada-Paternò-Castello, P. (2022). Top R&D investors, structural change and the R&D growth performance of young and old firms. Eurasian Bus. Rev., 12, pp. 1-33. Doi: 10.1007/s40821-022-00206-3

Montobbio, F. y Sterzi, V. (2013). The Globalization of Technology in Emerging Markets: A Gravity Model on the Determinants of International Patent Collaborations,

World Development, Volume 44, pp. 281-299. DOI: 10.1016/j.worlddev.2012.11.017

Mönch, L.; Chien, C.; Dauzère-Pérès, S.; Ehm, H. & Fowler, J.W. (2018): Modelling and analysis of semiconductor supply chains, International Journal of Production Research, Editorial.

Mönch, L.; Uzsoy, R. & Fowler, J.W. (2017): A survey of semiconductor supply chain models part I: semiconductor supply chains, strategic network design, and supply chain simulation, International Journal of Production Research.

Mori, S. (2019). US Technological Competition with China: The Military, Industrial and Digital Network Dimensions, Asia-Pacific Review, 26:1, 77-120.

Moser, H. (2019). Reshoring was at record levels in 2018. Is it enough? Industry Week.

Motohashi, K. y Tomozawa, T. (2016). Differences in science-based innovation by technology life cycles: the case of solar cell technology, Int. J. Technol. Manag., 72 (1–3) (2016), pp. 5-18. DOI: 10.1504/IJTM.2016.080539.

Muscella, S., Zazzeri, N., Domenici, D., Burchill, A., Fetisova, V., Micheletti, G., Freitas, L., & Fernandes, L. (2024). Blueprint Report: Bridging the Skills Gap in the Semiconductor Sector. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.12166779

Nasiri, M.; Ukko, J.; Saunila, M. & Rantala, T. (2020). Managing the digital supply chain: The role of smart technologies, Technovation Volumes 96–97, August–September.

Nepelski, D. & Sobolewski, M. (2020). Estimating investments in General Purpose Technologies. The case of AI Investments in Europe, EUR 30072 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Nindl, E., Confraria, H., Rentocchini, F., Napolitano, L., Georgakaki, A., Ince, E., Fako, P., Tuebke, A., Gavigan, J., Hernandez Guevara, H., Pinero Mira, P., Rueda Cantuche, J., Banacloche Sanchez, S., De Prato, G. and Calza, E., The 2023 EU Industrial RandD Investment Scoreboard, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/73822, JRC135576.

Nocetti, J. (2022). Europe and the Geopolitics of 5G: Walking a Technological Tightrope, Geopolitics of Technology Program. Études de l'Ifri. Institut Francais des relations

Intenationales. Disponible en línea: https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/nocetti_5g_europe_2022_us.pdf

OECD (2019a). Measuring distortions in international markets: The semiconductor value chain, OECD Trade Policy Papers, No. 234, OECD Publishing, Paris.

OECD (2019b). The road to 5G networks. Experience to date and future developments, OECD Digital Economy papers No. 284, OECD Publishing, Paris.

OECD (2023). OECD Science, Technology, and Innovation Outlook 2023: Enabling Transitions in Times of Disruption, OECD Publishing, Paris. DOI: 10.1787/0b55736e-en.

(OECD 2023b). Haramboure, Antton; Lalanne, Guy; Schwellnus, Cyrille and Guilhoto, Joaquim (2023). Vulnerabilities in the semiconductor supply chain, OECD Science, Technology and Industry Working Papers 2023/05. DOI: https://dx.doi.org/10.1787/6bed616f-en

(OECD, 2023 a). OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2023: Enabling Transitions in Times of Disruption, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/0b55736e-en. Available at: https://www.oecd.org/sti/oecd-science-technology-and-innovation-outlook-25186167.htm

OECD and Eurostat (2018). Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation (4th ed.). Paris and Luxembourg: Organisation for Economic Co-operation and Development and Eurostat. Disponible en línea: https://doi.org/10.1787/9789264304604-en.

OECD (2009). OECD Patent Statistics Manual. DOI: 10.1787/9789264056442-en

OECD (2008). Handbook on constructing composite indicators. Methodology and user guide. Paris: OECD. OECD. (2019). The road to 5G networks. Experience to date and future developments. In OECD digital economy papers No. 284. Paris: OECD.

Olivié, I. y Gracia Santos, M. (2023). Índice Elcano de Presencia Global. Metodología. Documento de trabajo 4/2023, Real Instituto Elcano. Disponible en línea: https://www.globalpresence.realinstitutoelcano.org/es/whatIsPage

Parcu, P. L., Innocenti, N., & Carrozza, C. (2021). Ubiquitous technologies and 5G development. Who is leading the race? Telecommunications policy, 46/4. https://doi.org/ 10.1016/j.telpol.2021.102277

Patel, P., & Pavitt, K. (1995). Patterns of technological activity: Their measurement and interpretation. In P. Stoneman (Ed.), Handbook of the economics of innovation and technological change (pp. 14–51). Oxford: Blackwell.

Patel, P., Pavitt, K. (1997). The technological competencies of the world's largest firms: Complex and path-dependent, but not much variety. Res. Policy 26/2, 59–85. DOI: https://doi.org/10.1016/S0048-7333(97)00005-X

Patel, P., Pavitt, K., 1987. Is Western Europe losing the technological race? Res. Policy 16, 59–85. DOI:10.1016/0048-7333(87)90024-2

Pavitt, K. (1985). Patent statistics as indicators of innovative activities: Possibilities and problems. Scientometrics 7, 77–99. DOI:10.1007/BF02020142

Pavitt, K., 1985. Patent statistics as indicators of innovative activities: Possibilities and problems. Scientometrics 7, 77–99. DOI:10.1007/BF02020142

Pedroletti, D. y Ciabuschi, F. (2023). Reshoring: A review and research agenda. Journal of Business Research 164. DOI: 10.1016/j.jbusres.2023.114005.

Petricevic, O. & Teece, D. J. (2019). The structural reshaping of globalization: Implications for strategic sectors, profiting from innovation, and the multinational enterprise. Journal of International Business Studies.

Petricevic, O., & Teece, D. J. (2019). The structural reshaping of globalization: Implications for strategic sectors, profiting from innovation, and the multinational enterprise. Journal of International Business Studies, 50/9, 1487–1512.

Pietrobelli, C. & Rabellotti, R. (2011) 'Global value chains meet innovation systems: are there learning opportunities for developing countries? World Development, 39 (7), 1261-1269.

Pisano, G. P., y Shih, W. (2012). Producing Prosperity: Why America Needs a Manufacturing Renaissance. Boston, MA: Harvard Business Review Press.

Pisano, G. P., y Shih, W. C. (2009). Restoring American Competitiveness. Harvard business review, 87(7-8), 114-125.

Pohle, J. (2020). "Digital Sovereignty: A new key concept of digital policy in Germany and Europe". Konrad Adenauer Stiftung. Disponible en: https://www.kas.de/en/single-title/-/content/digitalsovereignty

Pohlmann, T., y Buggenhagen, M. (2021). Who leads the 5G patent race. https://www.iplytics.com/wp-content/uploads/2021/11/IPlytics-November-2021-Who- leads-the-5G-patent-race.pdf.

Pohlmann, T., Blind, K., y HeB, P. (2020). Fact finding study on patents declared to the 5G standard. In Report on behalf of the federal ministry for economic affairs and energy.

Ponte, S., y Sturgeon, T. (2014). Explaining Governance in Global Value Chains: A Modular Theory-Building Effort. Review of International Political Economy, 21(1), 195-223.

Potrafke, Niklas (2015). The Evidence on Globalization, The World Economy, Wiley Blackwell, vol. 38(3), 509-552.

Puccetti, G.; Giordano, V.; Spada, I.; Chiarello, F.; Fantoni, G. (2023). Technology identification from patent texts: A novel named entity recognition method. Technological Forecasting & Social Change 186 (2023) 122160. DOI: 10.1016/j.techfore.2022.122160

Qiang, Christine, Liu, Y. and Steenbergen, V. (2021). Foreign Direct Investment and Global Value Chains. World Bank. DOI: https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1683-3

Ragonnaud, G. (2022). The EU chips act: Securing Europe's supply of semiconductors. Brussels: European Parliamentary Research Service. https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2022)733596

Rehnberg, M., y Ponte, S. (2018). From Smiling to Smirking? 3D Printing, Upgrading and the Restructuring of Global Value Chains. Global Networks: A Journal of Transnational Affairs, 18(1), 57-80.

Renda, A. (2021) The EU Industrial Strategy: Towards a Post-Growth Agenda? Intereconomics, 56(3), 133-138.

Rikap, Cecilia. 2019. "Asymmetric Power of the Core: Technological Cooperation and Technological Competition in the Transnational Innovation Networks of Big Pharma." Review of International Political Economy 26 (5): 987–1021.

Robles-Carrillo, M. (2021). European Union policy on 5G: Context, scope and limits. Telecommunications Policy, 45. https://doi.org/10.1016/j.telpol.2021.102216

Rotolo, D.; Rafols, I.; Hopkins, M.; Leydesdorff, L. (2016). Strategic intelligence on emerging technologies: Scientometric overlay mapping. Journal of the Association for Information Science and Technology, Vol. 68 (1), pp. 214-233. DOI: https://doi.org/10.1002/asi.23631.

Rühlig, Tim (ed.) (2024). Reverse dependency: making Europe's digital technological strengths indispensable to China. Digital Power China. Disponible en línea: https://china-in-europe.net/reverse-dependency-making-europes-digital-technological-strengths-indispensable-to-china-new-publication/

Rühlig, Tim (ed.) (2022). China's Digital Power: Assessing the Implications for the EU, Berlin, Digital Power China. Disponible en línea: https://dgap.org/en/research/publications/chinas-digital-power

Rühlig, T., Seaman, J., y Voelsen, D. (2019). 5G and the U.S.-China tech rivalry-a test for Europe's future in the digital age: How can Europe shift back from back foot to front foot? External Publications.

Schaefer, K. J. (2020). Catching up by hiring: The case of Huawei. Journal of International Business Studies, 51, 1500–1515.

Schmidt, E., y Graversen, E. (2017). Persistent factors facilitate excellence in research environments. Higher Education. https://doi.org/10.1007/s10734-017-0142-0

Schmoch, U. (2008). Concept of a Technology Classification for Coun- World Intellectual Property Organisation (WIPO). Innovation 1–15.

Schmoch, U., y Khan, M. (2019). In W. Gl¨anzel, H. F. Moed, U. Schmoch, y M. Thelwall (Eds.), Methodological Challenges for creating accurate patent indicators BT - Springer Handbook of science and technology indicators. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02511-3_37

Schot, Johan y Steinmueller, W.E. (2018). Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change, Research Policy 47: 1554–1567.

Semiconductor Industry Association (2022). 2022 State of the U.S. Semiconductor Industry. Available at: https://www.semiconductors.org/resources/2022-state-of-the-u-s-semiconductor-industry/

Semiconductor Industry Association (2023) State of the U.S. Semiconductor Industry 2023.

Shapiro, C. (2006). Prior user rights. The American Economic Review, 96(2), 92–96.

Shih, T. (2023). Research funders play an important role in fostering research integrity and responsible internationalization in a multipolar world. Accountability in Research: Policies and Quality Assurance. DOI: 10.1080/08989621.2023.2165917

Shih, T. (2024). The role of research funders in providing directions for managing responsible internationalization and research security, Technological Forecasting and Social Change, Volume 201. DOI: 10.1016/j.techfore.2024.123253.

Stöttinger, B. (24/10/2022). BANI vs. VUCA: How Leadership Works in the World of Tomorrow. WU Executive Academy. Disponible en línea: https://executiveacademy.at/en/news/detail/bani-vs-vuca-how-leadership-works-in-the-world-of-tomorrow

Strange, S. (2016). States and Markets, Brantford, Ontario: W. Ross MacDonald School Resource Services Library).

Strange, S (1999). The Westfailure system. Review of International Studies 25(3):345-354. Doi:10.1017/S0260210599003459

Stöllinger, R. (2021). Testing the Smile Curve: Functional Specialisation and Value Creation in GVCs, Structural Change and Economic Dynamics, Volume 56: 93-116. Doi: 10.1016/j.strueco.2020.10.002.

Taga, K., Uferer, C., y McInroy, C. (2021). 5G supply market trends: Baseline scenario report.

Teece, D. J. (2018). Profiting from innovation in the digital economy: Enabling technologies, standards, and licensing models in the wireless world. Research Policy, 47/8, 1367–1387.

Teece, D. J. (2021). Technological leadership and 5 g patent portfolios: Guiding strategic policy and licensing decisions. California Management Review, 63(3), 5–34.

Teece, D. J. (2021). Technological leadership and 5G patent portfolios: Guiding strategic policy and licensing decisions. California Management Review, 63, 5–34.

The Economist (2022). The tricky restructuring of global supply chains. Disponible en línea: https://www.economist.com/leaders/2022/06/16/the-tricky-restructuring-of-global-supply-chains

Teubner, L., Henkel, J., y Bekkers, R. (2021). Industry consortia in mobile telecommunications standards setting: Purpose, organization and diversity. Telecommunications Policy, 45. https://doi.org/10.1016/j.telpol.2020.102059

Tijssen, R. J. W., y Winnink, J. J. (2018). Capturing 'R&D excellence': Indicators, international statistics, and innovative universities. Scientometrics, 114(2), 687–699. https://doi.org/10.1007/s11192-017-2602-9

Timmers, Paul (2019). Strategic autonomy and Cybersecurity, Policy in focus. Disponible en línea: https://eucyberdirect.eu/wp-content/uploads/2019/05/paul-timmers-strategic-autonomy-may-2019-eucyberdirect.pdf

Timmer, M. P., Miroudot, S., y de Vries, G. J. (2019). Functional specialisation in trade. Journal of Economic Geography, 19(1), 1–30.

Trajtenberg, M. (1987). Patents, citations and innovations: Tracing the links. NBER Working Paper. https://doi.org/10.3386/w2457

Trajtenberg, M. (1987). Patents, citations and innovations: Tracing the links. NBER Working Paper. https://doi.org/10.3386/w2457

UNCTAD (2023). Issue Paper on Global Cooperation in Science, Technology and Innovation for Development. United Nations Commission on Science and Technology for Development Inter-sessional Panel 2023-2024 6-7 November 2023 Lisbon, Portugal.

USPTO (2022). Patenting Activity by companies developing 5G. U.S. Patent and Trademark Office of Policy and International Affairs.

Utterback, J. (2001). Dinámica de la Innovación Tecnológica, Madrid: Clásico COTEC.

van Zeebroeck, N. and B. van Pottelsberghe de la Potterie (2011). Filing Strategies and Patent Value. Economics of Innovation and New Technology 20 (6): 539–561.

van Zeebroeck, N. and B. van Pottelsberghe de la Potterie (2011). Filing Strategies and Patent Value. Economics of Innovation and New Technology 20 (6): 539–561.

VDE. (2021). Technological sovereignty: Methodology and recommendations. In Klaus illgner. Germany: VDE Association for Electrical Electronic and Information Technologies.

von Laer, M., Blind, K., y Ramel, F. (2021). Standard essential patents and global ICT value chains with a focus on the catching-up of China. https://doi.org/10.1016/j. telpol.2021.102110. Telecommunications Policy 46/2.

Williamson, John, ed. (1990). Latin American Adjustment: How Much Has It Happened? Washington, D.C.: Institute for International Economics.

Williamson, John (2000). "What Should the World Bank Think about the Washington Consensus?" World Bank Research Observer, 15(2): 251–64.

World Trade Organization (2023). Global Value Chain Development Report 2023, joint publication by the Asian Development Bank (ADB), the Institute of Developing Economies — Japan External Trade Organization (IDE-JETRO), the Research Institute for Global Value Chains at the University of International Business and Economics (UIBE) Beijing, and the World Trade Organization. Available online at: https://www.wto.org/english/res_e/publications_e/gvc_dev_rep23_e.htm

Xi, J. Hold high the great banner of socialism with Chinese characteristics and strive in unity to build a modern socialist country in all respects, Report to the 20th National Congress of the Communist Party of China October 16, 2022 (2022). Disponible en:www.fmprc.gov.cn/eng/wjdt_665385/zyjh_665391/202210/t20221025_10791908.html

Xiang, Xi-Yao; Cai, Hong; Cai, Shuig and Pei, Yun-Long (2013). International knowledge spillover through co-inventors: An empirical study using Chinese assignees' patent data, Technological Forecasting and Social Change, Volume 80, Issue 1: 161-174. DOI: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.07.003

Yan, Y., Dong, J. Q., y Faems, D. (2020). Not Every Coopetitor Is the Same: The Impact of Technological, Market and Geographical Overlap with Coopetitors on Firms' Breakthrough Inventions. Long Range Planning, 53(1).

Yang, F. W. (2019). Asymmetrical Interdependence and Sanction: China's Economic Retaliation over South Korea's THAAD Deployment. Issues & Studies.

Zhang, M. (2023). China's new anti-espionage law is sending a chill through foreign corporations and citizens alike. The Conversation. Disponible en línea: https://theconversation.com/chinas-new-anti-espionage-law-is-sending-a-chill-through-foreign-corporations-and-citizens-alike-212010

Zhou, Y.; Fang, D.; Dejing, K. y Yufei, L. (2019). Unfolding the convergence process of scientific knowledge for the early identification of emerging technologies, Technological Forecasting & Social Change 144: 205–220.

Zirpoli, F. y Becker, M. (2011). What happens when you outsource too much? MIT Sloan Management Review, 52 (2). Disponible en línea: https://sloanreview.mit.edu/article/what-happens-when-you-outsource-too-much/

## Apéndices

## Listado de Acrónimos

- Cadenas de Valor Mundial (CVM)
- Cadenas mundiales de productos básicos (CGM)
- Centro de Investigación Conjunta (CIC-Comisión Europea o JRC-EC).
- Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI)
- Códigos Internacionales de Patentes (CIP)
- Economía Política Internacional (EPI)
- Fondo Europeo para el Desarrollo Regional (FEDER)
- Fondo Monetario Internacional (FMI)
- Fondo Monetario Internacional (FMI)
- Fondo Social Europeo Plus (FSE+)
- Fotolitografía ultravioleta extrema (EUV en inglés)
- Índice de Soberanía Tecnológica (IST)
- Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI en inglés)
- Inteligencia Artificial (IA)
- Internet de las Cosas (IoT)
- Investigación y Desarrollo (I+D)
- Ley de Reducción de la Inflación (IRA)
- Materias primas críticas (MPC o CRM en inglés)
- Ofician Mundial de Propiedad Intelectual (OMPI)
- Oficina Europea de Patentes (OEP o EPO en inglés)
- Oficina Europea de Patentes (OEP)
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO en inglés)
- Organización Mundial de Comercio (OMC)
- Organización Mundial del Comercio (OMC)
- Política de Innovación orientada a la ST (PIST)
- Redes mundiales de producción (RGP)
- Reserva Estratégica basada en las Capacidades Nacionales de Producción Industrial (RECAPI).
- Soberanía Tecnológica (ST)
- Valor Añadido (VA)

**Apéndice 5.1** Definición detallada indicadores individuales (pilar Activos y competencias)

| Subpilar | Indicador individual | Descripción |
|---|---|---|
| **Capital Humano** | Tx Especialista empleado en sector TIC promedio (2012-2019) | Especialistas TIC como "trabajadores que tienen la capacidad de desarrollar, operar y mantener sistemas TIC, y para los que las TIC constituyen la parte principal de su trabajo" |
| | Especialista tecnológico empleado en industrias manufactureras de TIC (1000 PE) | Se ha seleccionado el promedio (2012-2019) de trabajadores especializados en industrias manufactureras de TIC. |
| | Especialista tecnológico empleado en industrias de servicios TIC (1000 PE) | Se ha seleccionado el promedio (2012-2019) de trabajadores especializados en industrias manufactureras de TIC |
| | Investigadores de I+D empresarial (RERD) Tiempo completo equivalentes en industrias manufactureras TIC | Promedio (2012-2019) de profesionales del sector empresarial dedicados a la concepción o creación de nuevos conocimientos, productos, procesos, métodos y sistemas, así como a la gestión de los correspondientes proyectos dentro del segmento de las industrias manufactureras de TIC. |
| | Investigadores de I+D empresarial (RERD) Tiempo completo equivalentes en industrias de servicios TIC | Promedio (2012-2019) de profesionales del sector empresarial dedicados a la concepción o creación de nuevos conocimientos, productos, procesos, métodos y sistemas, así como a la gestión de los correspondientes proyectos dentro del segmento de las industrias de servicios de TIC. |
| **Esfuerzo C&T** | Gasto Bruto en I+D (GERD (precios constantes y PPA US$ 2015) | Gasto interno total en investigación y desarrollo realizado en el territorio nacional durante un período determinado |
| | Promedio de las empresas 5G líderes en I+D (millones de euros) (2012-2019) | Inversión en I+D de los principales actores de la industria de la UE |
| | Gasto empresarial en I+D industrias manufactureras TIC (Millones de euros corrientes PPA) (Definición operativa) | Promedio (2012-2019) de los gastos internos en I+D realizados en el sector de las empresas durante un periodo específico, independientemente de la fuente de los fondos. TIC Definición operativa: Sólo se consideran valores para las industrias manufactureras de TIC |
| | Gasto empresarial en I+D industrias de servicios TIC (Millones de euros corrientes PPA) (Definición operativa) | Promedio (2012-2019) de los gastos internos en I+D realizados en el sector de las empresas durante un periodo específico, independientemente de la fuente de los fondos. TIC Definición operativa: Sólo se consideran valores para las industrias servicios de TIC |
| | Top 100 publicaciones más citadas | Publicaciones más citadas sobre 5G en formato artículo, así como actas de congresos entre 2010 y 2020 |
| | Principales organizaciones que publican sobre 5G | Organizaciones (total agregado por país) que publicaron más artículos y actas en conferencias relacionadas con 5G entre 2010 y 2020 |
| | Publicaciones científicas (2010-2020) | Número total de artículos y actas de congresos publicados por país entre 2010 y 2020 |
| | Organización de investigación tecnológica | Organizaciones de desarrollo tecnológico implicadas en proyectos y/o iniciativas vinculadas a la tecnología 5G |
| | Universidades (top 20 STEM) | Promedio de las 20 mejores universidades en todos los campos: Ciencias de la Computación y Sistemas de Información, Ingeniería Eléctrica y Electrónica, |

| | | |
|---|---|---|
| **Capacidades nacionales** (I+D, prod. e innov.) | | Matemáticas, Ciencia de los Materiales, Ingeniería Mecánica |
| | Universidades (relacionadas con Tx) | Número de universidades clasificadas entre las 250 primeras que ofrecen titulaciones de grado y posgrado en disciplinas afines (ingeniería, Telecomunicaciones, informática) que cuentan con al menos una publicación relacionada con 5G entre 2012 y 2020 |
| | Instalaciones locales de I+D +Prod/Total (empresas líderes) | Medida indirecta para estimar la capacidad de ofrecer soluciones tecnológicas locales de diseño y/o fabricación cuando la empresa tiene una presencia global. Se calcula como el cociente entre los centros de I+D +plantas de fabricación en un territorio determinado/total de instalaciones de la empresa |
| | Empresas relacionadas con el 5G en industrias afines | Número de empresas en industrias relacionadas (hardware y equipos tecnológicos; software y servicios informáticos) |
| | Cuota de mercado de tecnologías críticas asociadas | Cuota de mercado de las empresas de la UE en electrónica de comunicaciones, - núcleo de paquetes evolucionado (EPC), circuitos integrados 5G, bandas base de red de acceso de radio 5G (CU/ DU), software (sistema operativo/Kubernetes - pila de software de código abierto) |
| **Capitalización efectiva de la I+D** | Familias de patentes 5G | Familias de patentes 5G por país de origen del titular (2010-03/2020). Se armonizaron los nombres de las empresas y se combinaron en estructuras de grupo en las que las filiales se atribuyeron a los grupos matrices |
| | Ventaja tecnológica revelada | Cuota relativa de las patentes de un país en un campo tecnológico en relación con la cuota del país en todos los campos tecnológicos |
| | % de contribuciones técnicas 3GPP aprobadas para 5G | Número de contribuciones estándar aprobadas por el consorcio 3GPP |
| | 5G contribuciones ponderadas aceptadas | Número ponderado de contribuciones a normas técnicas aceptadas y aprobadas en función del número de colaboradores. Una contribución estándar en solitario se ponderaría como uno, mientras que una contribución con otro socio sólo se calcularía como 0,5 |
| | Cuota de mercado mundial de 5G | Empresas que ofrecen soluciones integrales y una gama completa de componentes de infraestructura |
| | Exportación de componentes y subsistemas | Componentes y subsistemas de electrónica de comunicaciones relacionados con los segmentos: Antena 5G (AAU/RRH/células pequeñas), bandas base 5G y equipos core 5G. Las estimaciones se basan en las importaciones de cada actor analizadas con sus principales socios para los componentes y subsistemas de interés |

**Apéndice 5.2** Resultados indicadores individuales

| Indicador individual | UE | China | EE.UU. | Unidades |
|---|---|---|---|---|
| Especialista empleado en sector TIC (a) (promedio 2012–2020) | 5051,26 | 15719,05 | 4328,22 | 1000 personas |
| Especialistas empleados en industrias manufactureras de TIC (1000 personas empleadas) (b) (Promedio 2012-2020) | 582,32 | 5960,5 | 648,73 | 1000 personas |
| Equivalentes a tiempo completo en I+D de las industrias manufactureras de TIC (d) (Promedio 2012-2020) | 4509 | 9758,55 | 3679,5 | 1000 personas |
| GERD en porcentaje del PIB (Promedio 2014-2020) | 51279 | 153248 | 156642 | FTE |
| Porcentaje del GERD financiado por el gobierno (Promedio 2014-2020) | 131395 | 38283 | 207862 | FTE |
| BERD sector TIC/Total BERD (d) (Promedio 2013-2020) | 2,06 | 2,15 | 2,99 | Porcentaje |
| Media Inversión en I+D empresas líderes 5G/BERD TIC (industrias manufactureras +industrias de servicios) (2013-2020) | 13,71 | 26,69 | 5,49 | Porcentaje |
| BERD Industrias manufactureras de TIC/BERD Sector TIC (d) (Promedio 2013-2020) | 36,42 | 81,99 | 51,37 | Porcentaje |
| BERD industrias de servicios TIC/BERD sector TIC (d) (Promedio 2013-2020) | 63,58 | 18,01 | 48,63 | Porcentaje |
| Porcentaje de la inversión en I+D en 5G sobre el total de la inversión en I+D en los sectores S&CS, TH&E, E&EE dentro de las 2500 principales empresas del mundo (Promedio 2017-2021) (e) | 1,96 | 1,31 | 0,59 | Porcentaje |
| Publicaciones científicas 5G atribuidas a un país sobre el número total de publicaciones científicas 5G (2010-2020) | 28,35 | 19,68 | 16,48 | Porcentaje |
| Top 5G publishing organizations (total aggregates by country) (f) | 10,48 | 13,42 | 2,81 | Porcentaje |
| Publicaciones científicas 5G del país / Total de publicaciones científicas 5G (2010-2020) | 30,91 | 25,44 | 15,54 | Porcentaje |
| Organización de investigación tecnológica relacionada con la 5G perteneciente a una parte interesada del total de organizaciones relacionadas con la 5G de las tres partes interesadas analizadas (g) | 32,65 | 51,02 | 16,33 | Porcentaje |
| Número medio de universidades en campos STEM entre las 20 primeras | 1 | 0,35 | 1,40 | Porcentaje |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Porcentaje de universidades (relacionadas con Tx) clasificadas entre las 250 primeras que ofrecen titulaciones de grado y posgrado en disciplinas relacionadas (Ing., Telecom., informática) que tienen al menos una publicación relacionada con 5G entre 2012 y 2021 (h) | 20 | 22 | 28 | Porcentaje |
| Instalaciones locales de I+D +Prod/Total (empresas líderes) (i) | 40 | 70 | 44 | Porcentaje |
| Porcentaje de empresas relacionadas con la 5G sobre el total de empresas de los sectores S&CS, TH&E, E&EE dentro de las 2.500 principales empresas del mundo (Media 2017-2020) (j) | 50,7 | 53,8 | 43 | Porcentaje |
| Cuota de mercado de las tecnologías críticas asociadas (2020) | 5,00 | 51,00 | 6,30 | Porcentaje |
| Familias de patentes 5G (k) | 11,00 | 41,00 | 16,00 | Porcentaje |
| Ventajas Tecnológicas Reveladas (l) | 0,58 | 1,53 | 0,94 | Ratio |
| Porcentaje de contribuciones técnicas 3GPP aprobadas para 5G (m) | 25,46 | 42,40 | 16,84 | Porcentaje |
| Contribuciones ponderadas aceptadas 5G (n) | 24,00 | 38,00 | 18,00 | Porcentaje |
| Prom. Exportaciones componentes y subsistemas electrónicos (2017-2021) /exportaciones totales medias (2017-2021) | 2,72 | 8,15 | 8,11 | Porcentaje |
| Exportaciones medias Materias primas críticas utilizadas en electrónica (2017-2021) / Exportaciones medias totales (2017-2021) | 0,06 | 0,08 | 0,10 | Porcentaje |
| Exportaciones medias de productos químicos utilizados en electrónica/exportaciones medias totales (2017-2021) | 0,01 | 0,02 | 0,03 | Porcentaje |
| Importaciones medias de materias primas críticas utilizadas en electrónica/Importaciones medias totales (2017-2021) | 0,07 | 0,25 | 0,05 | Porcentaje |
| Importaciones medias de productos químicos utilizados en electrónica/Importaciones medias totales (2017-2021) | 0,06 | 0,02 | 0,05 | Porcentaje |
| Balanza comercial media Materias primas no críticas utilizadas en electrónica/Balanza comercial media total productos (2017-2021) | (-) 13,71 | (-) 17,10 | 0,20 | Porcentaje |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Importaciones medias de componentes y subsistemas/Importaciones medias totales (2017-2021) | 3,53 | 18,61 | 5,16 | Porcentaje |
| Balanza de pagos tecnológica | (-) 0,82 | (-) 10,46 | 2,95 | Porcentaje |
| Tasa de resiliencia del capital humano: CH cualificado (competencias transferibles); formación STEM (1.000 titulados) Especialista técnico empleado en el total de las TIC (industrias manufactureras de TIC + industrias de servicios de TIC) (1.000 personas) | 6% | 25% | 15% | Porcentaje |
| Tasa de dependencia de las materias primas críticas: dependencia importaciones/EOL-RIR | 35% | 50% | 35% | Porcentaje |
| Tasa de resiliencia de la producción: proveedores nacionales alternativos/Potenciales proveedores nacionales otras industrias/Total proveedores empresas líderes | 50% | 50% | 60% | Porcentaje |
| Tasa de resiliencia logística: Distancia a Europa (km)/Cercanía geopolítica/Proveedores alternativos (otras regiones) /Coste/eficacia del transporte (terrestre, marítimo, aéreo) | 20% | 45% | 30% | Porcentaje |
| **Capital humano** | (a) Sólo se consideran industrias de fabricación de TIC + industrias de servicios TIC. (b) Fabricación de componentes y placas electrónicas, fabricación de ordenadores y equipos periféricos, fabricación de equipos de comunicación, fabricación de electrónica de consumo. *CN: Datos 2012-2018, en 2019 se imputaron los datos del año anterior. (c) Telecomunicaciones, Informática y actividades relacionadas (Edición de software; Programación informática, consultoría y actividades relacionadas; Proceso de datos, hosting y actividades relacionadas; Portales web; Reparación de ordenadores y equipos de comunicación). (d) Datos de China 2012-2018. | | | |
| **Esfuerzo C&T** | (e) S&SC: Software & Computer Services, TH&E: Technology Hardware & Equipment, E&EE: Electronic & Electrical Equipment. (f) Mendonça *et al*. (2022). EU =Nokia, Ericsson, Universidad de Oulu, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Universidad de Aalborg, Universidad de Aalto, Royal Institute of Technology *CN=Universidad de Telecomunicaciones de Pekín (866), Huawei (755), Academia China de Ciencias (483), Universidad del Sureste de China (458), Universidad de Tecnología de Ciencia Electrónica de China (410), Universidad de Tsinghua (403), Universidad de Xidian (391); *US=University System of Georgia (255), University of California System (250) | | | |
| **Capacidades domésticas** | (g) Sólo se tienen en cuenta las OTRI con publicaciones (artículos o ponencias en congresos). (h) Sólo se consideran las universidades con publicaciones (artículos o ponencias en conferencias). (i) EU =Nokia y Ericsson; *CN=Huawei, *US =Qualcomm. (j) EU =No se consideran | | | |

| | |
|---|---|
| | Nokia, Ericsson y Alcatel-Lucent. *CN=Huawei y ZTE no se tienen en cuenta. *US =Qualcomm no se tiene en cuenta. |
| **Capitalización efectiva I+D** | (k) UE =Nokia y Ericsson. Datos contrastados con Buggenhagen y Blind (2022) y Pohlmann y Buggenhagen (2021). (l) Las estimaciones corresponden a Álvarez y Martín (2020). (m) UE: Ericsson +Nokia +Deutsche Telekom; Ch: Huawei +ZTE + CATT Datang Mobile +Vivo +OPPO +China Mobile +Lenovo; US: Qualcomm +Intel +InterDigital +AT&T +Motorola + Apple. Datos de Pohlmann y Buggenhagen (2021). (n) UE =Suecia (17%) y Finlandia (7%). Las estimaciones corresponden a Buggenhagen y Blind (2022). |
| **Recursos externos y procesos externalizados** | Promedio 2017-2021 (código HS): Procesadores y controladores (854231), Memorias de circuitos electrónicos integrados (854232), Amplificadores (854233), Otros circuitos electrónicos integrados (854239), Partes de circuitos electrónicos integrados (854290), Estaciones base (851761), Máquinas para la recepción, conversión y transmisión o regeneración de voz, imágenes u otros datos (851762), Soportes semiconductores (852351), Diodos, excepto los fotosensibles o diodos emisores de luz (LED) (854110), Transistores, excepto los fotosensibles (854121), Cristales piezoeléctricos montados (854160), Dispositivos semiconductores (transductores a base de semiconductores) (8541, pero con exclusión de 854110, 854121, 854160), Cuadros, paneles, consolas, armarios y demás soportes (853710), Los demás conductores eléctricos para una tensión inferior o igual a 1000 V, equipados con conectores de los tipos utilizados para telecomunicaciones (85444210), Los demás condensadores fijos (853224); Aparatos para corte, seccionamiento, protección, derivación, empalme o conexión de circuitos eléctricos (por ejemplo: interruptores, conmutadores, relés, cortacircuitos, supresores de sobretensión, clavijas y tomas de corriente, portalámparas y demás conectores, cajas de empalme), para una tensión inferior o igual a 1000 V; conectores de fibras ópticas, haces o cables de fibras ópticas (8536) |
| **Resiliencia tecnológica** | Capital humano cualificado, formación STEM, especialistas en tecnología empleados en el total de las TIC (industrias de fabricación de TIC + industrias de servicios TIC), personal de empresas relacionadas con la 5G. Antimonio, Fluorita, Magnesio, Silicio, Cobalto, LREEs. Promedio (2017-2021) empresas relacionadas con 5G otras industrias dentro de las 1000 principales empresas europeas. Proveedores: EEUU, China, SK, Vietnam, JP, Malasia, Singapur, Taiwán, Tailandia (+85%) de las importaciones Circuitos electrónicos integrados, Circuitos impresos (multicapa), Placas, paneles, consolas, escritorios, armarios y otras bases, Cerámica dieléctrica, multicapa. Distancia media: 8941 km |

## **Apéndice 6.1** Resultados indicadores individuales

| | **Indicador Individual** | UE | EEUU | China | Corea |
|---|---|---|---|---|---|
| **Human Capital** | Esp. industrias manufactureras TICs Promedio 2015-2022 (1000 personas empleadas) | 563,77 | 638,32 | 9.712,48 | 454,74 |
| | Esp. industrias servicios TICs Promedio 2015-2022 (1000 personas empleadas) | 4.897,70 | 3.969,60 | 6.638,46 | 621,04 |
| | Personal equivalente a tiempo completo en I+D TIC / total PERD (promedio 2015-2022) | 19,50% | 30,95% | 19% | 35,91% |
| | Personal Equivalente a Tiempo Completo en I+D industrias manufactureras TIC/Total PERD (Promedio 2015-2022) | 4,48% | 11,96% | 14,10% | 24,83% |
| | Investigador equivalente a tiempo completo en I+D TIC / total RERD (promedio 2015-2022) | 21,73% | 34,69% | 21,08% | 36,95% |
| | Investigador Equivalente a Tiempo Completo en I+D industrias manufactureras TIC/Total RERD (Promedio 2015-2022) | 5,35% | 14,23% | 15,32% | 26,36% |
| **Esfuerzo CyT** | Gasto empresarial en I+D (Millones de euros corrientes PPA) sector TIC / Total Gasto empresarial en I+D (media 2015-2022) | 21,90% | 29,65% | 14,20% | 54,40% |
| | Gasto empresarial en I+D (Millones de euros corrientes PPA) industrias manufactureras TIC/Total Gasto empresarial en I+D sector TIC (media 2015-2022) | 31,85% | 50,70% | 79,20% | 91,77% |
| | Media Inversión en I+D de las principales empresas de semiconductores (2018-2022) (millones de euros) | 1700 | 4615 | 6000 | 6300 |
| | Gasto en I+D como porcentaje de las ventas | 14,0% | 19,5% | 7,6% | 9,5% |
| | Publicaciones científicas - Recuentos fraccionados de publicaciones científicas relacionadas a semiconductores atribuidas a un área geográfica o país/ total publicaciones científicas relacionadas de los países comparados en el IST (2018-2022) | 28,91% | 19,20% | 18,00% | 47,60% |
| | Publicaciones científicas del país relacionadas con los semiconductores/ total Publicaciones científicas (2018-2022) | 16,41% | 14,27% | 20,25% | 24,02% |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Principales RTO/Centros de I+D de Universidades | 35 | 90 | 85 | 25 |
| | Numero promedio de universidades en campos STEM dentro del top 20 | 3 | 8 | 3 | 3 |
| | Universidades clasificadas entre las 250 primeras que ofrecen titulaciones de grado y posgrado en disciplinas relacionadas (ciencias de la computación, física y física aplicada, ingeniería eléctrica, electrónica, ingeniería de materiales, ingeniería química) | 50 | 56 | 70 | 7 |
| | Capacidad de fabricación de semiconductores por países | 8,3% | 12,4% | 23,3% | 17,9% |
| | Cuota de capacidad de fundiciones avanzadas <10nm | 0% | 10% | 9% | 11% |
| **capacidades domésticas (I+D, producción e innovación)** | Familia de patentes IP5 por dominios tecnológicos de la OMPI (Fecha de prioridad, Inventor) (2010-2020) | 13515 | 17892 | 17293 | 29.745 |
| | Ventaja tecnológica revelada | 0,58 | 1,53 | 0,94 | 1,49 |
| | Volumen de negocios por propiedad de las empresas Fabless, fundicion e IDM (promedio), ubicación del propietario final global | 6,70% | 32,67% | 10,74% | 16,09% |
| | Prom. exportaciones CI y componentes electrónicos/promedio total exportaciones (2018-2022) | 1,56 | 3,07 | 5,71 | 17,39 |
| | Promedio exportaciones materias primas críticas utilizadas fabricación semiconductores/promedio total exportaciones (2018-2022) | 0,06 | 0,07 | 0,01 | 0,06 |
| | Promedio exportaciones químicas utilizados en utilizadas fabricaciones semiconductores/promedio total exportaciones (2018-2022) | 0,06 | 0,08 | 0,13 | 0,19 |
| **Recursos externos** | Promedio importaciones materias primas críticas utilizadas fabricación semiconductores/promedio total exportaciones (2018-2022) | 0,02 | 0,02 | 0,08 | 0,06 |
| | Promedio importaciones químicas utilizadas fabricación semiconductores/promedio total exportaciones (2018-2022) | 0,06 | 0,06 | 0,09 | 0,41 |
| **Procesos externalizados** | Promedio importaciones CI y componentes electrónicos/promedio total exportaciones (2018-2022) | 1,42 | 1,80 | 14,16 | 8,77 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Balanza de pagos tecnológica | 0,14 | 1,27 | -8,45 | 8,62 |
| **Resiliencia tecnológica** | Tasa de resiliencia del capital humano: CH cualificado (competencias transferibles); formación STEM (1.000 titulados) Especialista técnico empleado en el total de las TIC (industrias manufactureras de TIC + industrias de servicios de TIC) (1.000 personas) | 0 | 55 | 50 | 36 |
| | Tasa de dependencia de las materias primas críticas: dependencia import. /EOL-RIR | 12 | 10 | 20 | 7 |
| | Tasa de resiliencia de la producción: proveedores nacionales altern. /Potenciales proveedores nacionales | 25 | 30 | 38 | 28 |
| | Tasa de resiliencia logística: rutas a Europa/Cercanía geopolítica/Proveedores | 10 | 10 | 15 | 10 |

## **Apéndice 7.1** Desglose sectorial

| **Nombre del sector Industria-ICB3** | |
|---|---|
| Aeroespacial y defensa | Ingeniería industrial |
| Energía alternativa | Metalurgia y Minería Industrial |
| Automóviles y repuestos | Transporte industrial |
| Banco | Bienes de ocio |
| Bebidas | Seguros de vida |
| Productos químicos | Medios de comunicación |
| Construcción y materiales | Minería |
| Electricidad | Telecomunicaciones móviles |
| Equipos eléctricos y electrónicos | Seguros No Vida |
| Servicios financieros | Productores de petróleo y gas |
| Telecomunicaciones fijas | Equipos, servicios y distribución de petróleo |
| Minoristas de alimentación y droguería | Bienes Personales |
| Productores de alimentos | Farmacéutica y Biotecnología |
| Silvicultura y papel | Inversión y servicios inmobiliarios |
| Gas, agua y servicios públicos | Software y servicios informáticos |
| Industria en general | Servicios de apoyo |
| Minoristas generales | Hardware y equipos tecnológicos |
| Equipamiento y servicios sanitarios | Tabaco |
| Artículos para el hogar y construcción de viviendas | Viajes y ocio |

**Apéndice 7.2.** Empresas de la UE, por sectores.

a) Hardware y equipos tecnológicos

| Company | Country | R&D 2011-2021 (€million) | Patents EP (2010-2021) | Employees | Market cap (€million) | Net sales (€million) | Capex (€million) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NOKIA | Finland | 44.065,4 | 3827 | 87.927 | 28.831,3 | 22.202,0 | 560,0 |
| ERICSSON | Sweden | 40.275,6 | 5554 | 101.322 | 30.704,3 | 22.694,5 | 357,8 |
| ASML HOLDING | Netherlands | 14.689,9 | 336 | 32.016 | 291.190,4 | 18.611,0 | 900,7 |
| NXP SEMICONDUCTORS | Netherlands | 11.135,7 | 1879 | 31.078 | 50.360,6 | 9.767,8 | 677,2 |
| INFINEON TECHNOLOGIES | Germany | 10.508,9 | 653 | 50.288 | 47.150,3 | 11.060,0 | 1.268,0 |
| STMICROELECTRONICS | Netherlands | 13.317,5 | 636 | 48.254 | 34.341,8 | 11.238,7 | 1.615,8 |
| KONTRON | Austria | 985,8 | 36 | 6.206 | 1.274,88 | 1.341,95 | 47,0 |
| AMS-OSRAM | Austria | 1.915,8 | 329 | 24.499 | 4.943,3 | 5.038,00 | 310,0 |
| GN STORE NORD | Denmark | 1.156,8 | 18 | 7.228 | 8.811,7 | 2.122,80 | 98,0 |
| QUADIENT | France | 174,5 | 16 | 4.979 | 830,20 | 1.024,30 | 36,5 |
| ADVA | Germany | 1.004,4 | 119 | 1.973 | 708,0 | 603,3 | 15,9 |

b) Software y servicios informáticos

| Company | Country | R&D 2011-2021 (€million) | Patents EP (2010-2021) | Employees | Market cap (€million) | Net sales (€million) | Capex (€million) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SAP | Germany | 35.349,0 | 467 | 107.415 | 156.634,3 | 27.842,0 | 800,0 |
| UBISOFT ENTERTAINMENT | France | 7.944,1 | 0 | 20.665 | 6.675,2 | 2.125,2 | 67,0 |
| DASSAULT SYSTEMES | France | 6.345,9 | 120 | 20.496 | 64.294,0 | 4.860,1 | 84,5 |
| SPOTIFY | Luxembourg | 3.569,7 | 91 | 6.617 | 37.087,0 | 9.668,0 | 85,0 |
| AMADEUS | Spain | 7.517,4 | 174 | 15.936 | 23.299,8 | 2.670,0 | 44,0 |
| YANDEX | Netherlands | 2.721,1 | 51 | 18.004 | 21.625,3 | 3.849,7 | 530,3 |
| INDRA SISTEMAS | Spain | 2.283,5 | 3 | 52.083 | 1.613,7 | 3.390,4 | 14,1 |
| ELASTIC | Netherlands | 634,0 | 0 | 2.978 | 12.931,3 | 761,4 | 2,2 |
| SOFTWARE | Germany | 1.295,4 | 48 | 4.819 | 3.171,6 | 833,8 | 11,2 |
| NEMETSCHEK | Germany | 960,9 | 0 | 3.180 | 9.605,0 | 681,5 | 9,9 |
| SOPRA STERIA | France | 960,3 | 0 | 47.437 | 3.542,4 | 4.682,8 | 54,6 |
| TIETOEVRY | Finland | 806,2 | 5 | 24.389 | 3.571,7 | 2.823,4 | 80,8 |
| SUSE | Luxembourg | 89,3 | 0 | 2.045 | 5.019,8 | 494,0 | 4,2 |
| SIMCORP | Denmark | 681,1 | 0 | 1.998 | 4.680,4 | 496,3 | 1,3 |
| COMPUGROUP MEDICAL | Germany | 492,4 | 8 | 8.598 | No data | 1.025,3 | 27,0 |
| PARADOX INTERACTIVE | Sweden | 146,0 | 0 | 721 | 1.650,6 | 141,4 | 0,2 |
| ZENUITY | Sweden | 360,7 | 58 | 221 | No data | 1,6 | 3,4 |
| NEW WORK | Germany | 204,9 | 0 | 1.869 | 1.357,3 | 290,9 | 20,1 |
| TEAMVIEWER AG | Germany | 103,6 | 5 | 1.477 | 5.708,4 | 501,1 | 15,2 |
| TALEND | France | 248,8 | 0 | 1.397 | 1.146,7 | 253,8 | 6,0 |
| FOCUS HOME | France | 122,2 | 0 | 146 | 178,5 | 171,0 | 40,5 |
| ATOS | France | 450,9 | 95 | 109.135 | 4.835,3 | 10.839,0 | 272,0 |
| AXWAY SOFTWARE | France | 448,3 | 0 | 1.712 | 619,2 | 285,5 | 2,8 |
| CEGEDIM | France | 502,1 | 2 | 5.643 | 389,1 | 524,7 | 14,0 |

c) Equipos electrónicos y eléctricos

| Company | Country | R&D 2011-2021 (€million) | Patents EP (2010-2021) | Employees | Market cap (€million) | Net sales (€million) | Capex (€million) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SIEMENS | Germany | 55.348,0 | 8.258 | 303.000 | 119.119,0 | 62.265,0 | 1.730,0 |
| SCHNEIDER | France | 11.088,0 | 961 | 147.468 | 86.094,8 | 28.905,0 | 543,0 |
| VITESCO TECHNOLOGIES | Germany | 721,2 | 310 | 37.488 | 1.724,9 | 8.348,5 | 441,3 |
| EATON CORPORATION | Ireland | 4.994,8 | 415 | 86.000 | 59.251,5 | 17.330,0 | 507,7 |
| LEGRAND | France | 2.836,3 | 73 | 34.244 | 25.921,0 | 6.994,2 | 139,9 |
| TOMTOM | Netherlands | 2.535,3 | 71 | 4.424 | 898,1 | 506,9 | 13,3 |
| SICK | Germany | 1.630,6 | 575 | 9.916 | No data | 1.963,7 | 70,6 |
| SARTORIUS | Germany | 992,8 | 165 | 13.832 | 20.936,4 | 3.449,2 | 407,2 |
| AT&S AUSTRIA TECH. & SYST. | Austria | 825,1 | 113 | 14.269 | 1.427,7 | 1.589,9 | 605,6 |
| PHOENIX CONTACT | Germany | 1.311,8 | 213 | 16.710 | No data | 2.356,7 | 123,0 |
| LEONI | Germany | 1.338,2 | 62 | 101.372 | 545,2 | 5.118,9 | 162,6 |
| SOMFY | France | 847,5 | 80 | 6.878 | 6.097,6 | 1.477,8 | 55,0 |
| BARCO | Belgium | 1.184,8 | 43 | 3.133 | 1.915,3 | 804,3 | No data |

**Apéndice 7.3.** Clasificación de las tecnologías y principales grupos de la CIP

| Area | CIP grupos principales | Definición |
|---|---|---|
| **Comunicaciones digitales** | **H04L** | Transmisión de información digital |
| | **H04W** | Redes de comunicación inalámbricas |
| **Tecnología informática** | **G06F** | Tratamiento digital de datos eléctricos (sistemas informáticos basados en un modelo computacional específico) |
| | **G10L** | Análisis o síntesis de voz, reconocimiento, procesamiento de voz; codificación o descodificación de audio |
| | **G06K9** | Métodos o dispositivos para reconocer patrones |
| | **G06N** | Disposiciones informáticas basadas en modelos computacionales específicos |
| | **G11C** | Almacenamiento de información, almacenes estáticos (dispositivos de memoria semiconductores H10B) |
| **Métodos informáticos de gestion IT** | **G06Q** | Sistemas o métodos de tratamiento de datos, especialmente adaptados para fines administrativos, comerciales, financieros, de gestión, de previsión |
| **Telecomunicaciones** | **H04B** | Técnica de comunicación eléctrica |
| | **H04N** | Comunicación pictórica |
| | **G08C** | Sistemas de transmisión de valores medidos, señales de control o similares |
| | **H01P** | Guías de ondas, resonadores, líneas u otros dispositivos del tipo de las guías de ondas (que funcionen a frecuencias ópticas G02B)) |
| | **H01Q** | Detalles de antenas o disposiciones asociadas a antenas |
| | **H04H** | Disposiciones para la radiodifusión o para la distribución combinada con la radiodifusión |
| | **H04J** | Comunicación múltiplex de radiodifusión |
| | **H04K** | Comunicación secreta |
| **Semiconductores** | **H01L** | Dispositivos semiconductores, dispositivos eléctricos de estado sólido no previstos en otra parte |

Nota: La tabla se ha elaborado a partir de la Concordancia CIP-Tecnología de la Base de datos estadísticos de la OMPI. Contiene únicamente las principales CIP asociadas a las tecnologías digitales identificadas por la bibliografía. No se han enumerado los códigos complementarios de importancia relativa variable. Principales CIP identificadas en las 40 empresas analizadas pertenecientes a los sectores Hardware y equipos tecnológicos, Software y servicios informáticos, y Electrónica y equipos eléctricos.