

## Capítulo primero

### Repercusión estratégica del desarrollo tecnológico

*Gonzalo León Serrano*

#### La tecnología como vector de progreso: madurez tecnológica y riesgos asociados

La aparición en el mercado de nuevos productos y servicios tecnológicamente avanzados deriva de un proceso de «desarrollo e innovación tecnológica»<sup>1</sup>. Este proceso implica la capacidad de aprovechar nuevos conceptos surgidos del esfuerzo en investigación fundamental orientado a generar nuevos conocimientos científicos, y tratar de aplicarlos para ofrecer soluciones tecnológicas a problemas existentes: es el dominio de la denominada investigación aplicada y, posteriormente, del desarrollo tecnológico. El objetivo deseado es culminar con su introducción en el mercado y su uso por la sociedad que es el objetivo final del proceso de innovación<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Existen otros tipos de innovación no tecnológica, como la comercial u organizativa, que no se van a abordar en esta monografía.

<sup>2</sup> Las fronteras entre la investigación fundamental y la aplicada son tenues porque el modelo lineal del desarrollo tecnológico (basado conceptualmente en la necesidad de inyectar, en primer lugar, recursos en investigación fundamental, luego en investigación aplicada, desarrollo tecnológico y, finalmente, para la generación de producto y comercialización) ya no se considera un modelo válido en todas las ocasiones. Es necesario utilizar modelos más integrados en los que el usuario se incorpora desde el principio, permitiendo con ello una

No obstante, el desarrollo de una tecnología desde los primeros conceptos hasta la introducción en el mercado de una solución tecnológica concreta para la solución de determinados problemas requiere cubrir múltiples fases a lo largo de un periodo de tiempo más o menos largo, realizar esfuerzos para disponer recursos humanos y materiales, efectuar inversiones elevadas y superar riesgos en los que la tecnología (y con ella los productos y servicios asociados) madure. Con ello, en el caso positivo, la tecnología alcanza el nivel de consolidación adecuado para su introducción y posterior difusión en el mercado objetivo o en la sociedad.

Otras muchas tecnologías prometedoras, sin embargo, no se desarrollan completamente, o no logran hacerlo con costes y eficiencia adecuados que superen a las existentes actualmente para convertirse en éxito comercial; finalmente, se abandonan. Debe tenerse en cuenta que, en periodos de rápida innovación tecnológica, como el que vivimos actualmente, pueden existir diversas tecnologías en desarrollo compitiendo para superar las deficiencias de las actualmente empleadas, y solo una o un grupo pequeño de ellas se impondrán en el mercado.

Hace ya muchos años que la NASA (Agencia Aeronáutica y del Espacio de EE. UU.), a efectos de reducir los riesgos derivados de la utilización de tecnologías (muy) novedosas en sus sistemas espaciales, casi imposibles de solucionar una vez que el satélite o nave espacial se encuentre en el espacio, definió unos niveles de «madurez tecnológica» (*Technology Readiness Level, TRL*)<sup>3</sup>, tal y como se representa en la figura 2. Este modelo de nueve niveles ha sido adoptado en otros muchos entornos (no solamente en el espacial) para medir el grado en el que el resultado alcanzado en un proyecto de desarrollo tecnológico está alejado o no del mercado<sup>4</sup>.

---

realimentación continua sobre su desarrollo. Durante el proceso se generan diversos productos (desde el producto mínimamente viable hasta el definitivo con toda la funcionalidad requerida), apoyado por actuaciones que permitan un proceso de innovación holística.

<sup>3</sup> NASA Definition of Technology Readiness Levels ([https://esto.nasa.gov/files/trl\\_definitions.pdf](https://esto.nasa.gov/files/trl_definitions.pdf)).

<sup>4</sup> La Unión Europea en su actual programa marco de investigación e innovación denominado Horizonte 2020 (H2020) ha asumido el uso de los niveles TRL para determinar el grado de madurez de los resultados tecnológicos generados en los proyectos financiados en el programa. El objetivo perseguido es alcanzar niveles de madurez TRL5 o TRL6 que permitan, una vez terminado el proyecto, avanzar hasta la introducción en el mercado de producto o servicio desarrollado por parte de aquellas entidades que han participado en su desarrollo y reducir la brecha hacia el mercado que han caracterizado los esfuerzos de I+D de la UE en el pasado ([https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014\\_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf)).

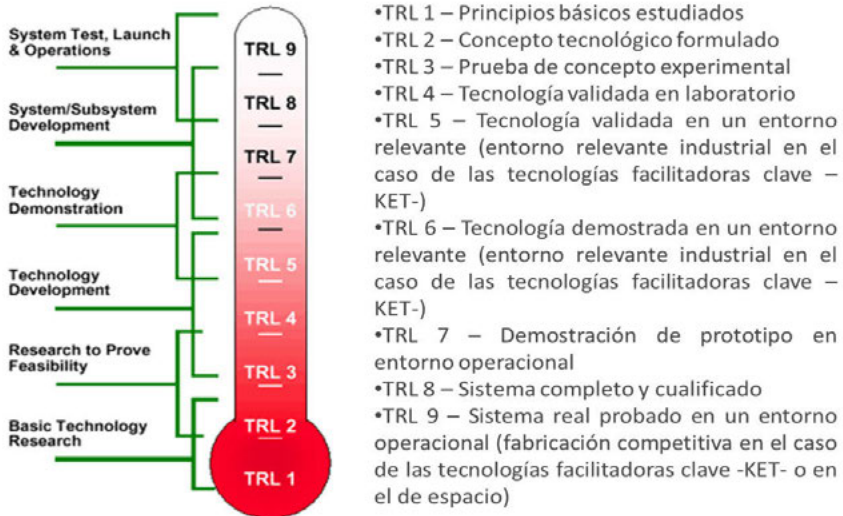


Figura 3. Niveles de madurez tecnológica (fuente: NASA)

Los primeros tres niveles (TRL1 a TRL3), propios de la actividad de investigación fundamental, permiten discernir si un determinado enfoque tecnológico podría ser factible, pero de ello no se deriva la posibilidad de creación de un producto, proceso o servicio que utilice ese concepto, y menos aún que pueda introducirse en el mercado a costes y eficiencia razonable para que se convierta en un éxito en términos de cuota de mercado alcanzada y, con ello, desplaze a las tecnologías preexistentes. Para ello, es necesario avanzar en la escala de madurez tecnológica.

En los siguientes tres niveles (TRL4 a TRL6) se pretende validar la tecnología desde el entorno controlado de un laboratorio, propio de los niveles anteriores, a entornos de uso cercanos a la realidad con objeto de disponer de una realimentación de su uso por parte de usuarios finales preseleccionados. Finalmente, los últimos tres niveles (TRL7 a TRL9) permiten generar el sistema final e introducirlo en el mercado: la tecnología ha alcanzado con ello su nivel máximo de madurez (lo que tampoco asegura obligatoriamente su éxito comercial).

Lo que la figura 3 no representa es el tiempo necesario para que un determinado concepto tecnológico, si no se elimina por el camino al considerarse inviable<sup>5</sup>, puede alcanzar el mercado y difundir-

<sup>5</sup> El fracaso en el proceso innovador, cuando el producto o servicio tecnológico alcanza el mercado, puede deberse no solo a los problemas técnicos encontrados en el desarrollo, sino también a la falta del volumen de inversión necesaria, a problemas

se entre una determinada comunidad de usuarios. En un momento determinado, es posible realizar una predicción tecnológica determinando cuándo una tecnología ha alcanzado o alcanzará su meseta de productividad (superando picos máximos de expectativas sobre esa tecnología que finalmente no son alcanzadas) tal y como se indica en la figura 4 (Gartner, 2019). Se trata de valorar la posición que ocupa una determinada tecnología en base a la experiencia del experto o expertos que lo hacen alimentados por datos públicos y estimaciones de su evolución futura.

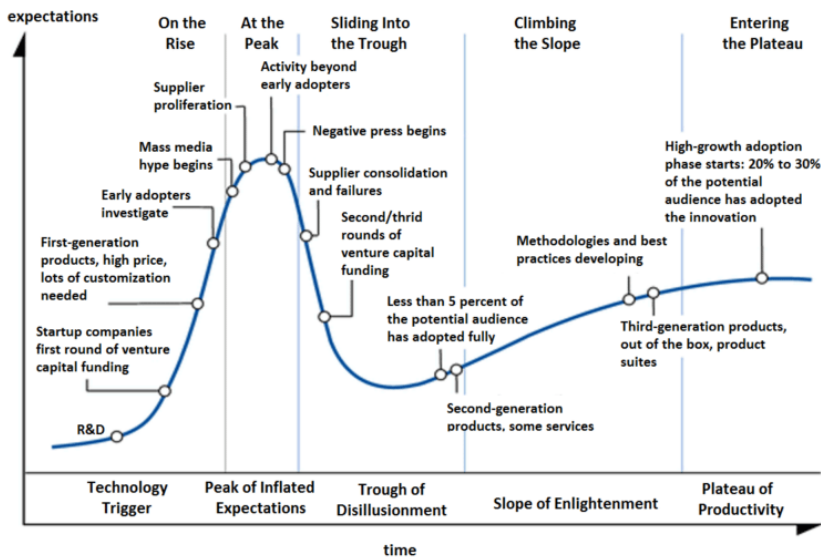


Figura 4. Fases del ciclo de Gartner (fuente: Gartner).

En la figura 5 se aplica este modelo a diversas tecnologías emergentes<sup>6</sup>. Las tecnologías emergentes identificadas por la consultora Gartner (2019) alcanzarán, según su predicción, su meseta de productividad en periodos de menos de dos años, de dos a cinco, de cinco a diez, o en más de diez según la previsión realizada; muchas de ellas, como se puede ver en la figura, alcanzarán la meseta de productividad en un plazo entre cinco y diez años<sup>7</sup>. La realidad, obviamente, puede ser diferente debido a una ralentización de las inversiones previstas debido a un ciclo económico regresivo, la inca-

encontrados en otras tecnologías habilitadoras necesarias o a problemas regulatorios que impiden su uso en un determinado contexto.

<sup>6</sup> Otras organizaciones como el Foro Económico Mundial (WEF, 2019) tienen su propia selección de tecnologías emergentes.

<sup>7</sup> La consultora Gartner genera otras gráficas más detalladas para diferentes tecnologías (consolidadas o no). Solo nos referimos a las que Gartner considera como emergentes.

pacidad de superar algunos riesgos técnicos encontrados en el proceso de desarrollo (p. ej. dificultades en mantener sus prestaciones al escalar su uso a un número elevado de usuarios), o la emergencia de tecnologías alternativas con mejores costes o mayores prestaciones que aceleren su obsolescencia mucho antes de lo planificado.

Obsérvese que la figura 5 posiciona veintinueve tecnologías diferentes. Algunas de ellas son tecnologías transversales (p. ej. inteligencia artificial explicable, inteligencia aumentada, etcétera) en el sentido de que podrán incorporarse a multitud de productos y servicios tecnológicos, mientras que otras son tecnologías específicas (p. ej. sensores de cámaras 3D, impresión tridimensional a nano escala, etcétera) ligadas a productos o procesos de fabricación concretos, aunque aplicables a muchos problemas diferentes dentro de un nicho de mercado específico (p. ej. la impresión 3D aplicada a la logística o la medicina personalizada).

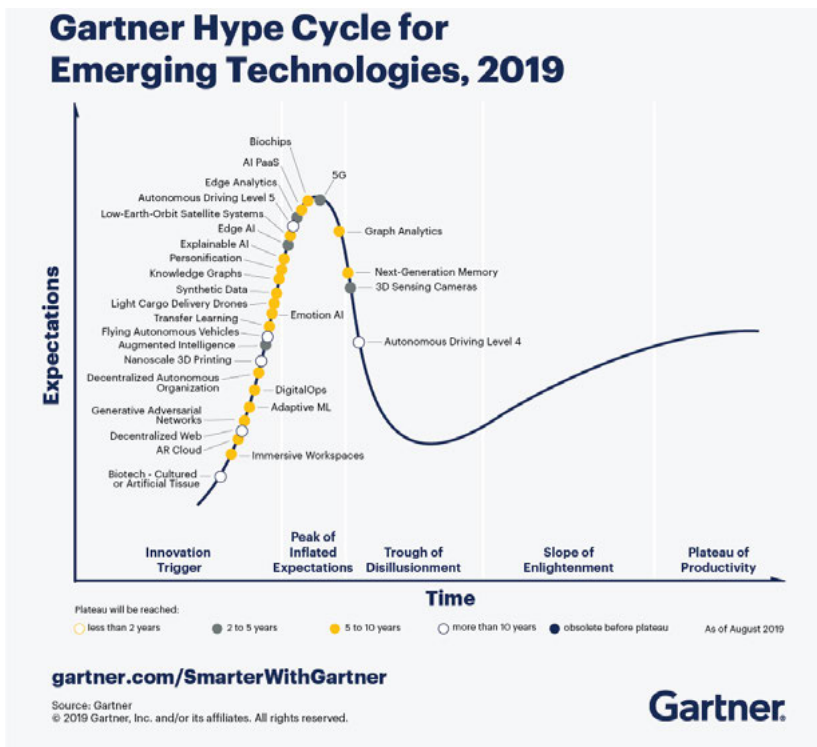


Figura 5. Predicción de la evolución tecnológica (fuente: Gartner 2019<sup>8</sup>).

<sup>8</sup> <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-appear-on-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2019/>

Otras muchas tecnologías en desarrollo actualmente no aparecen posicionadas expresamente en la gráfica de la figura 5 porque, desde el punto de vista de la consultora Gartner, se consideran aún muy incipientes o lejanas del interés de sus clientes empresariales que, sin embargo, sí son descritas en esta monografía al emplearse otros criterios de selección (p. ej. no aparecen ni la computación cuántica, ni los sistemas hipersónicos, ni las tecnologías de energía dirigida, ni CRISPR, entre otras) que sí se tratarán aquí al tener relevancia estratégica e impacto geopolítico.

La curva de difusión de una tecnología (es decir, de los productos y servicios tecnológicos en los que esa tecnología es clave), entendida como la forma en la que un conjunto de usuarios la adopta, no se produce de forma inmediata en una determinada sociedad. De nuevo, alcanzar el 100 % de los usuarios potenciales requerirá tiempo<sup>9</sup>.

La figura 6 reproduce una curva de difusión tecnológica muy conocida debida a Rogers (1962, 2003); en ella, se ve cómo (curva amarilla) la tecnología está aceptada por la sociedad cuando más de la mitad de los usuarios potenciales<sup>10</sup> (innovadores, primeros seguidores, o mayoría precoz) lo haya hecho, aunque aún falte tiempo para que el resto (aquellos denominados en la figura como «mayoría tardía y rezagados») lo hagan, como se indica en la curva de Gauss (curva azul). Lo importante de una curva de difusión como la que se ha representado en la figura 6 es conocer la distribución real del perfil de usuarios en una sociedad o sector determinado. Un desplazamiento de la curva azul a la derecha sin apenas innovadores o primeros seguidores implicaría una nula contribución a la innovación de esa sociedad o sector.

Si comparásemos dos curvas de difusión tecnológica con una forma diferente, una con el 2,5 % de usuarios innovadores y un 13,5 % de usuarios calificados de primeros seguidores como se ha representado en la figura 6, con otra curva con porcentajes, por ejemplo, del 5 y 20 %, respectivamente, las consecuencias sobre la capacidad y penetración de la tecnología en la sociedad

---

<sup>9</sup> Con ello se quiere decir que todos los usuarios potenciales tienen acceso a la tecnología (p. ej. los teléfonos móviles en países desarrollados tienen ese carácter), aunque exista un porcentaje pequeño que no lo tengan porque no puedan o no deseen tenerla.

<sup>10</sup> Téngase en cuenta que para una tecnología concreta el número máximo de usuarios potenciales puede ser inferior al número de usuarios potenciales de otra tecnología.

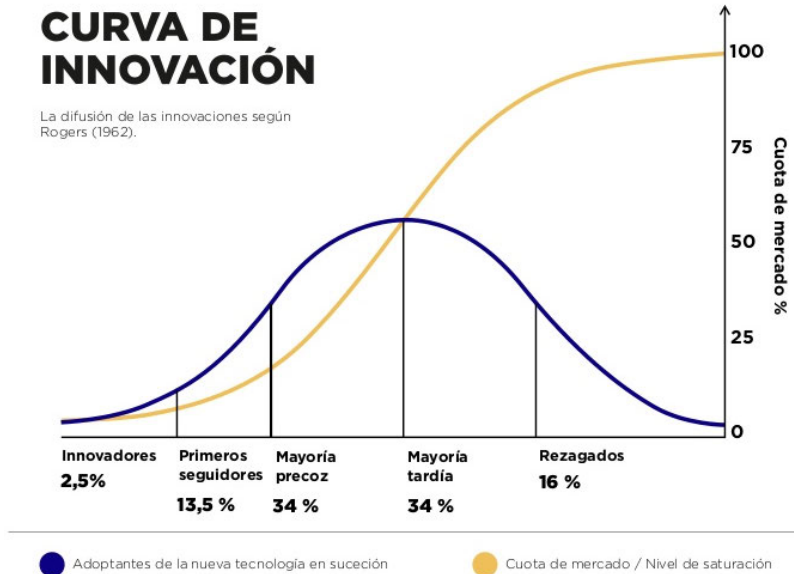


Figura 6. Difusión de una tecnología en la sociedad (fuente: Rogers, 2003).

representada en la figura 6 serían muy diferentes. Aún más importante, también lo será la capacidad de esa sociedad en cuestión de impulsar, financiar y presionar a sus poderes públicos para incrementar el esfuerzo innovador; así ocurre, por diversos motivos, en poblaciones de países muy innovadores frente a otros que no lo son.

El análisis sobre la actitud innovadora, apoyada por el nivel educativo alcanzado, de una determinada población se puede realizar en un territorio supranacional, nacional, regional o sectorial. Eso explica que la difusión de una tecnología en una población general puede encontrarse todavía con primeros seguidores, mientras que en un núcleo de población especializada localizada alrededor de un área geográfica concreta puede ser mucho más extendida y haya alcanzado el nivel de mayoría precoz. El caso de áreas muy innovadoras como el «valle del silicio» en California contrasta fuertemente con otras zonas del medio oeste de EE. UU. en cuanto el uso de servicios basados en plataformas digitales, la misma situación existe en la Unión Europea.

Existe una relación muy estrecha entre las curvas representadas en las figuras 4 y 5 con la 6 (véase figura 7). El problema es cómo «cruzar el desierto» (*chasm*) en la fase de primeros seguidores

cuando las expectativas de la tecnología, posiblemente exageradas, decrecen y el riesgo de seguir con ellas se incrementa.

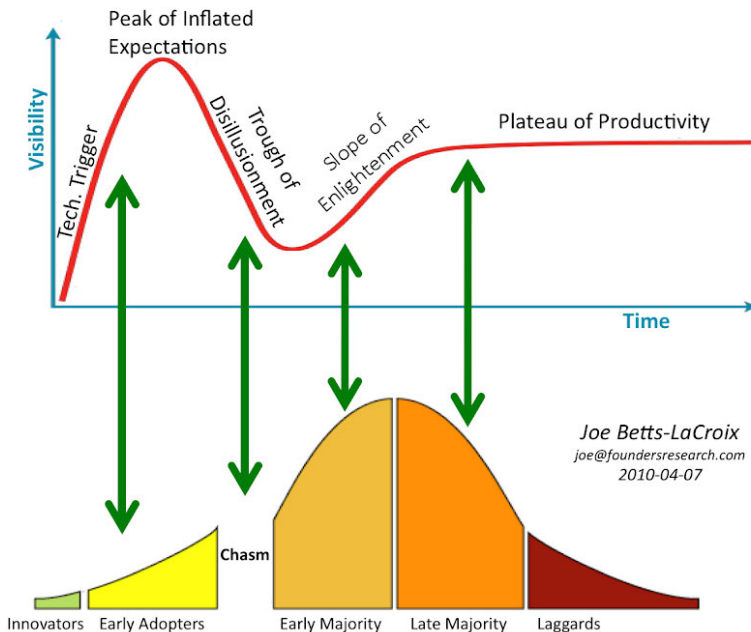


Figura 7. Relación entre la curva de difusión y el ciclo de expectativas (fuente: [blog.evocator.org/2010/04/hype-chasm.html](http://blog.evocator.org/2010/04/hype-chasm.html)).

En la práctica, muchas tecnologías emergentes prometedoras no lo superan y desaparecen: no son capaces de atraer más usuarios que permitan, a su vez, realimentar el proceso de desarrollo tecnológico y atraer inversiones adicionales que continúen su proceso de maduración. En estos casos, el mercado espera la aparición de otra tecnología manteniendo mientras tanto el uso de las existentes (posiblemente con continuas innovaciones incrementales).

Otro elemento de gran relevancia es que una determinada tecnología, una vez alcanzado el mercado, se seguirá desarrollando de forma incremental a lo largo de los años. Transcurridos algunos años, el producto inicial puede ser muy diferente del que se encuentre en el mercado porque a lo largo del tiempo se ha producido una evolución del producto inicial introducido en el mercado en una «hoja de ruta» de nuevas versiones planificada de forma dinámica en función de las posibilidades que las tecnologías esenciales permiten y de la respuesta del mercado (es decir, de

los usuarios del producto); probablemente, en competencia con otros productos en el mismo segmento y sector.

Un ejemplo sencillo que visualiza este hecho es el caso del teléfono inteligente (*smartphone*). Véase la figura 8 para el caso de productos generados por una única empresa (Apple). Nuevos modelos todos los años, y algunos años más de uno.

Lo relevante de la figura 8 es que los diferentes dispositivos representados en la línea temporal responden a la integración de tecnologías no presentes inicialmente. Si no hubiera ocurrido en paralelo un despliegue de tecnologías de comunicaciones móviles, de plataformas digitales, de redes sociales y de un conjunto enorme de tecnologías asociadas, el dispositivo que conocemos como teléfono inteligente no hubiera podido existir.



Figura 8. Evolución de una tecnología desde un fabricante (fuente: <https://www.express.co.uk/life-style/science-technology/1175276/Apple-iPhone-11-release-news-trade-in-price-warning>).

Partiendo de un primer modelo «celular» en 2007 producido por Apple, las prestaciones hasta llegar a los modelos actuales en la figura 8 (solo representado hasta 2018) son muy diferentes. En este proceso se ha producido un doble fenómeno: aprovechamiento continuo del desarrollo de tecnologías de comunicaciones celulares (primero analógico y luego digital en sucesivas

generaciones hasta llegar a 5G); por otro lado, se ha producido una convergencia tecnológica incorporando a un teléfono móvil tecnologías que correspondían a otras funcionalidades alejadas de la telefonía y que, en su mayoría, pertenecían a dispositivos diferentes, y ahora integrados.

La figura 9 representa gráficamente el fenómeno de la convergencia tecnológica en el mismo dispositivo que, a partir del año 2010, tras diez años de consolidación del concepto, se ha venido en denominar «teléfono inteligente».

Actualmente, diez años después de la situación representada en la figura 9, asistimos a una mejora continua de prestaciones (mejores pantallas táctiles, procesadores mucho más potentes, asistentes de inteligencia artificial, procesamiento de voz, cámaras estabilizadas, seguridad de acceso biométrica, conexiones a redes móviles más rápidas, etcétera), pero el producto «teléfono inteligente» sigue siendo reconocible en el mercado por los usuarios. El concepto se ha estabilizado.

En esos diez años, del 2000 al 2010, diversos dispositivos independientes (teléfono, reproductor de música, cámara de fotos, grabador/reproductor de video, consola de juegos, calculadora, dictadora, ordenador personal) se han ido integrando en un único dispositivo, aunque todos ellos sigan aún existiendo para mercados de nicho (cumpliendo funciones necesarias para usuarios muy especializados como fotógrafos o reporteros profesionales).

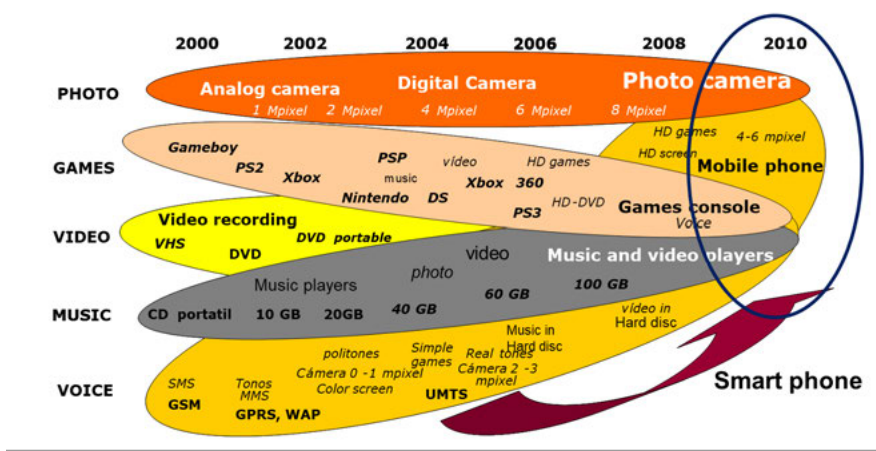


Figura 9. Convergencia de tecnologías en el caso del teléfono inteligente.

La lección de las figuras 8 y 9 es que la gestión del proceso de innovación tecnológica es sustancial para asegurar la superioridad en el mercado a lo largo del tiempo y las empresas que no se adaptan o no tengan éxito en la misma tenderán a desaparecer. En estos últimos veinte años el sector de la telefonía móvil ha cambiado profundamente<sup>11</sup>; algunas empresas han desaparecido y otras han emergido. Este ejemplo puede extrapolarse a otros muchos ámbitos tecnológicos como se verá a lo largo del texto.

### De la iniciativa militar a la iniciativa civil: el papel de las tecnologías duales

Hasta ahora hemos supuesto que el desarrollo tecnológico estaba impulsado desde el inicio por su interés en la aplicación en un determinado sector económico para resolver determinados problemas de los usuarios, empleando nuevos conceptos surgidos de una actividad previa de investigación fundamental, pero sin hacer referencia ni al sector ni a los problemas objetivo a resolver.

Históricamente, sin embargo, muchos de los desarrollos de tecnologías emergentes disruptivas (aquellas que suponen un cambio sustancial frente a las que les preceden y que, generalmente, fuerzan a su desaparición en cortos periodos de tiempo) se desarrollaban a partir de una tecnología de interés militar que, posteriormente, se trasladaba, adaptada, en época de paz, al uso civil.

La historia de muchos de los avances tecnológicos surgidos durante los conflictos bélicos del siglo XX o derivados de los mismos que aún siguen estando presentes en nuestra sociedad en el siglo XXI en multitud de productos son bien conocidos. Entre ellos se puede citar el desarrollo de la aviación a propulsión (por parte de Alemania), los radares o computadores (por Reino Unido), o la energía nuclear o los sistemas de navegación por satélite (por parte de EE. UU.); todas ellas son ahora, convenientemente adaptadas y evolucionadas, tecnologías de amplio uso civil. El desarrollo posterior de la Internet, aunque tiene también ese origen de financiación militar por DARPA (no aplicación militar

---

<sup>11</sup> A 1 de enero de 2020 GSMA indicaba la existencia de 9,416,352,075 de conexiones móviles y de 5,177,129,384 usuarios móviles con un crecimiento interanual del 3,72 % (<https://www.gsma.com>).

directa)<sup>12</sup>, muchas aplicaciones básicas posteriores tuvieron un vector de desarrollo civil<sup>13</sup>.

En esos años de confrontación bélica la iniciativa procedía de los Gobiernos de aquellos países que tenían la capacidad, los recursos humanos y las infraestructuras materiales necesarias, y también el apoyo social suficiente para impulsar desarrollos de tecnologías emergentes por su valor intrínseco en asegurar la superioridad frente al enemigo y acortar una determinada confrontación bélica; no se trataba de esgrimir razones de coste o de mercado que, en ese momento, eran factores secundarios, ni tampoco de incrementar el número de usuarios en la población; su uso, en todo caso, era concebido, desde el principio, como restringido.

Desde hace un par de décadas, sin embargo, la situación ha cambiado. La emergencia de mercados globales junto con el proceso de digitalización (asociado a un altísimo grado de penetración horizontal de las tecnologías digitales) ha impulsado la existencia de grandes grupos industriales que para acceder a mercados de miles de millones de usuarios potenciales en todo el mundo requieren realizar enormes inversiones en un contexto de fuerte competencia internacional. Los desarrolladores deben asegurarse, además, de que pueden recuperar la inversión realizada en periodos relativamente cortos, antes de que comience el declive tecnológico de la solución desarrollada, y comience el proceso de sustitución progresiva de los productos y servicios tecnológicos (proceso promovido por ellos mismos, por sus competidores, o por los poderes públicos) en una lógica de confrontación tecnológica que se acelera de forma continua.

Asegurar este volumen y ritmo de grandes inversiones tecnológicas, así como de la necesidad de disponer de recursos humanos muy cualificados tecnológicamente, ya no se encuentra en épocas de paz al alcance de ningún Gobierno, ni siquiera para fines de seguridad nacional, o para cubrir las necesidades de los poderes públicos. De hecho, el vector fundamental de desarrollo de gran parte de las tecnologías digitales o sistemas muy dependientes

---

<sup>12</sup> Creación en 1967 de la red ARPANET poniendo en valor el desarrollo de la tecnología de conmutación de paquetes en redes de ordenadores. En 1981 se formula el protocolo TCP/IP, aún en uso, y el propio término de Internet ([conocelahistoria.com/c-tecnologia/la-historia-del-internet/](http://conocelahistoria.com/c-tecnologia/la-historia-del-internet/)).

<sup>13</sup> El *World Wide Web* (WWW) y el lenguaje de hipervínculos HTML tienen un origen civil (en este caso, creada en el CERN motivado por la necesidad de un sistema de intercambio de información en la comunidad de física de partículas).

de ellas, en función de su grado de penetración comercial, se encuentra en el sector civil.

Lo que sí es posible, es pensar en una utilidad doble (dual) de este esfuerzo de desarrollo y maduración: disponer de tecnologías de doble uso en las que el uso dual de la tecnología se refiere a aquella que puede ser utilizada simultáneamente para cubrir objetivos civiles y militares<sup>14</sup>.

Las fronteras son, sin embargo, tenues y es lógico pensar que las estrategias gubernamentales se alineen con este doble uso, aunque el propio concepto del doble uso de una tecnología concreta pueda cuestionarse en un momento dado, puesto que evoluciona progresivamente e, incluso, puede presentar varios ciclos combinados de impulso civil-militar a lo largo de su desarrollo en el tiempo.

No es extraño, por tanto, que, atendiendo a ese doble uso, se hayan establecido por parte de países o agencias intergubernamentales (p. ej. las Naciones Unidas) ciertos controles para evitar el acceso y uso inadecuado de una tecnología considerada crítica en determinados momentos o países. Como ejemplo, la Unión Europea ha establecido una reglamentación muy concreta para el control de las exportaciones, transferencia o tránsito de productos, *software* o tecnologías duales para evitar su uso incontrolado y obtener la máxima confianza y seguridad en cuál es su último destino (Consejo de la Unión Europea, 2009)<sup>15</sup>, acompañado de acuerdos multilaterales acordados por muchos países (como el de Wassenaar o el Régimen de Control de Tecnología de Misiles para el control de la tecnología de misiles).

---

<sup>14</sup> El concepto de uso dual se refiere a cualquier tecnología que pueda satisfacer más de un objetivo en un momento dado. Así, tecnologías con costes de desarrollo muy elevados, inicialmente para uso militar, pueden también ser utilizados para servir a intereses comerciales civiles como ha sucedido con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) desarrollado por EE. UU. y, en sentido contrario, el sistema de posicionamiento global Galileo desarrollado por la Unión Europea, en el que, aunque el vector de desarrollo sea civil, también se ha previsto una serie de servicios gubernamentales (Servicio Público Regulado) que es un servicio robusto y cifrado para usuarios con autorización gubernamental, como Protección Civil, bomberos o la Policía.

<sup>15</sup> ste reglamento define los distintos tipos de licencia de exportación y fija la lista de los bienes afectados. Los controles se aplican a todas las exportaciones a territorios fuera de la Unión Europea. Salvo algunos bienes muy sensibles recogidos en una lista específica que figura como anexo al reglamento, las transferencias dentro del espacio comunitario no están sometidas a estos controles (<https://www.diplomatie.gouv.fr/es/politica-exterior/desarme-y-control-de-armas/francia-y-el-control-de-las-exportaciones-sensibles/article/control-de-bienes-y-tecnologias-sensibles-de-doble-uso>).

El Acuerdo de Wassenaar es un acuerdo multilateral global para el control de las exportaciones de armas convencionales y de bienes y tecnologías de doble uso destinados a su fabricación. Lo firmaron treinta y tres Estados en julio de 1996 y debe su nombre a la localidad de Wassenaar, en los Países Bajos. A día de hoy, reúne a cuarenta y un Estados. El Acuerdo de Wassenaar tiene como objetivo prioritario promover «la transparencia y una mayor responsabilidad en las transferencias de armas y de bienes de doble uso para evitar las acumulaciones desestabilizadoras».

Francia, Estados Unidos, Gran Bretaña, Italia, Alemania, Canadá y Japón crearon en 1987 el Régimen de Control de Tecnología de Misiles (RCTM) para luchar contra la proliferación de vectores capaces de transportar armas de destrucción masiva y con la voluntad de llegar a un acuerdo sobre los principios para enmarcar las exportaciones de equipos y tecnologías de misiles. Este grupo de países se ha ido ampliando progresivamente y hoy cuenta con treinta y cuatro miembros.

<https://www.diplomatie.gouv.fr/es/politica-externior/desarme-y-control-de-armas/francia-y-el-control-de-las-exportaciones-sensibles/article/control-de-bienes-y-tecnologias-sensibles-de-doble-uso>

En las últimas dos décadas el número de tecnologías de uso dual se ha extendido y muchos países han decidido trabajar en la posible aplicación militar en paralelo con el desarrollo civil. El caso de China es paradigmático. La petición del presidente Xi Jinping en 2017 de renovar tecnológicamente las Fuerzas Armadas al final de 2035 no solo consiste en incrementar el gasto militar al 7,5 % del PIB, sino financiar tecnologías duales en un 13,4 % de los gastos de I+D. No hay ningún otro país que haga un esfuerzo similar.

Acceder al mercado civil de componentes requiere disponer de sistemas de adquisición que no son los habituales. Eso ha impulsado que algunas grandes potencias, como es el caso de EE. UU., hayan creado unidades específicas (Oficina de Capacidades Estratégicas y la Unidad Experimental de Innovación en Defensa, *DIUx*) para facilitar la adquisición de componentes civiles de alta tecnología.

Para construir puentes con el sector comercial y asegurar la velocidad requerida por el sector militar para adoptar avances tecnológicos, especialmente en sistemas *software* y TIC comerciales, el anterior secretario de Defensa Ash Carter creó la Oficina de Capacidades Estratégicas y la Unidad Experimental de Innovación en Defensa, conocida como *DIUx*. Se supone que ambas ayudarán a acelerar la compra de tecnología comercial,

limitada por un conjunto de cambios legales y políticos en la última década. La Agencia de Gestión de Contratos de Defensa (*The Defense Contract Management Agency, DCMA*) ha creado seis Centros de Excelencia de elementos comerciales dotados de ingenieros y analistas de costes para aconsejar a los oficiales de contratación en cómo comprar y determinar qué elementos pueden comprarse comercialmente.

<https://breakingdefense.com/2017/07/dod-is-buying-fewer-yes-fewer-commercial-items-oops/>

En otros casos, no basta con un simple proceso de adquisición y uso, sino que es necesaria una adaptación de algunas de sus características o prestaciones para su uso en el ámbito militar (p. ej. cumplimiento de normas MIL-STD). Esta necesidad puede implicar un proceso de negociación con el fabricante correspondiente para disponer de los componentes y equipos con la funcionalidad, prestaciones o normas de interconexión necesarias, pero no supone su rediseño desde el inicio; en consecuencia, los costes y plazos son mucho menores.

A lo largo de este texto, en el análisis de tecnologías concretas, se abordará la relevancia de este aspecto de uso dual, porque tendrá una importancia decisiva en la consideración de la relevancia estratégica de la tecnología en cuestión.

## Erosión progresiva de la ventaja tecnológica

### Evolución de la innovación tecnológica

La historia ha demostrado que la ventaja tecnológica que un país o grupo de países puede tener en un momento determinado (es decir, la de gozar de la supremacía en un conjunto de tecnologías en las que se basan productos clave para la sociedad en ese periodo histórico) se puede perder en poco tiempo<sup>16</sup>.

En un periodo histórico como el actual, caracterizado por una reducción significativa del tiempo necesario para el desarrollo e introducción de nuevas tecnologías en el mercado (es decir, del paso de niveles TRL bajos a altos y, con ello, la aceleración de la curva de difusión de la tecnología en cuestión en el mercado), el dominio

<sup>16</sup> De nuevo, la historia demuestra cómo la aparición de una nueva tecnología armamentística basada en nuevos materiales (p. ej. del bronce al hierro) provoca ventajas a quien la posee hasta que la nueva tecnología se difunde y las diferencias tecnológicas entre los contrincantes se reducen.

por parte de un país o grupo de países de unas tecnologías estables y maduras y, por tanto, su capacidad de desarrollar productos avanzados basados en ellas, puede verse erosionado por la rápida difusión de esas tecnologías en todos los países, perdiéndose con ello la ventaja inicial. Este proceso está asociado a la introducción en el mercado de tecnologías competidoras superiores (en prestaciones, menor coste, miniaturización, consumo, menor contaminación, etcétera) que obligan, en aras a mantener la competitividad, a la retirada forzada de las utilizadas previamente.

Realmente, el ciclo de vida de una tecnología en el mercado, y con ello de los productos y servicios basados en ella, está descendiendo de forma acusada, como también lo hace el periodo en el que una determinada tecnología alcanza el 50 % de sus usuarios potenciales<sup>17</sup>.

La figura 10 describe gráficamente esa evolución en el caso de algunas tecnologías en el dominio de las TIC. Obsérvese cómo alguna de ellas, como la telefonía fija, nunca ha llegado a superar el 40 % de los usuarios potenciales, mientras que otras tecnologías derivadas, como la correspondiente a las comunicaciones móviles celulares con teléfono inteligente, han llegado casi al 100 % de los usuarios en un periodo inferior a diez años (lo que no ha conseguido la televisión en color en treinta años).

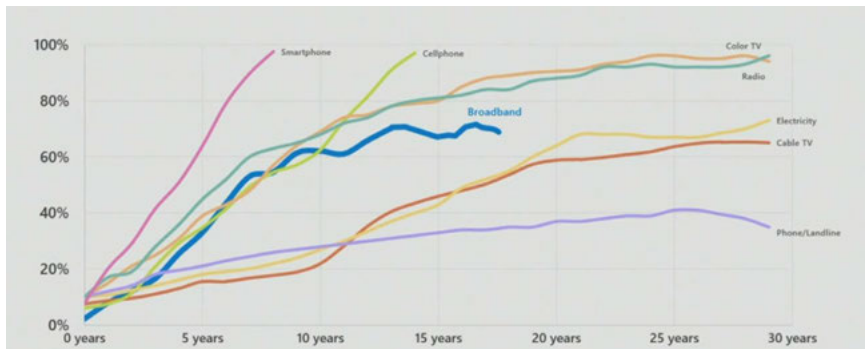


Figura 10. Ejemplos de periodos de difusión de tecnologías en relación con el porcentaje de usuarios de la misma (fuente: <https://news.microsoft.com/es-xi/features/lo-que-los-telefonos-y-la-television-nos-pueden-ensanar-sobre-la-adopcion-de-la-banda-ancha/>).

Algunas veces, los Gobiernos, preocupados por el deterioro que puede tener en sectores industriales el mantenimiento de tecno-

<sup>17</sup> Como ejemplo, el caso del almacenamiento de datos en discos flexibles, en CD y en *pendrives* en el subsector de ordenadores personales.

logías obsoletas, con sus inevitables consecuencias socioeconómicas de estancamiento y pérdida de empleo, pretenden reducir este problema mediante la puesta en marcha de medidas proteccionistas en sectores tecnológicos críticos para el país con el objetivo de ganar tiempo hasta que sean capaces de dominar las tecnologías de la siguiente generación (con el riesgo muy elevado de ver su competitividad internacional deteriorada durante el proceso de transición, puesto que estas medidas no frenan el desarrollo, sino que, por el contrario, pueden servir de aliciente para su impulso y difusión en otros países)<sup>18</sup>.

El uso de algunas de las tecnologías emergentes o de componentes necesarios para su uso no está, necesariamente, al alcance de todos los usuarios (individuales e institucionales) en función de los derechos de acceso de los que se disponga (ligados a la protección de la propiedad intelectual mediante patentes u otros instrumentos) y, en ciertas ocasiones, por el embargo a su acceso procedente de restricciones políticas y diplomáticas (p. ej. sanciones a terceros países acordados por entidades nacionales o supranacionales como castigo a comportamientos considerados impropios)<sup>19</sup>.

En este sentido, el acceso al conocimiento tecnológico (ya sea tácito, disponiendo del personal formado necesario y el saber-hacer institucional, o explícito, a través de publicaciones, patentes, prototipos, productos y servicios, datos, etcétera) ha sido utilizado en el curso de la historia como un elemento clave para asegurar la superioridad tecnológica y con ello, la influencia política, el dominio de mercados, las rutas comerciales y territorios, o el acceso al talento.

Ya no se trata únicamente de disponer de los conocimientos necesarios para diseñar, fabricar y utilizar productos basados en

---

<sup>18</sup> En algunos casos, las empresas pueden infravalorar el efecto sobre el usuario medio de una determinada tecnología. Es conocido el caso de las pantallas táctiles de los móviles, responsables según algunos estudios de la pérdida de mercado de Nokia que era un baluarte europeo en el sector de móviles con más del 50 % de la cuota de mercado. Parecida situación le pasó a Blackberry, empeñada en mantener en el teléfono móvil teclados físicos cuando el usuario demandaba mayor tamaño de pantalla, solo posible si se combinaba con teclados virtuales que es lo que han adoptado la mayoría de los modelos actuales.

<sup>19</sup> Es el caso de las resoluciones de las Naciones Unidas, de la Unión Europea o por grandes potencias sobre países cuyo comportamiento se ha considerado lesivo para la comunidad internacional ([www.comercio.gob.es/es-ES/comercio-exterior/informacion-sectorial/material-de-defensa-y-de-doble-uso/Documents/Embargosvigentes12.12.18.pdf](http://www.comercio.gob.es/es-ES/comercio-exterior/informacion-sectorial/material-de-defensa-y-de-doble-uso/Documents/Embargosvigentes12.12.18.pdf)).

tecnologías maduras, sino de disponer del conocimiento sobre tecnologías emergentes no necesariamente disponibles libremente y asegurar el futuro desarrollo socioeconómico. El problema no solo estriba en el acceso al conocimiento en sí mismo sobre la base de determinados conceptos, sino también a la disponibilidad de componentes tecnológicos o materias primas necesarias para su desarrollo.

Desde un punto de vista conceptual, la aceleración del desarrollo tecnológico introduce un elemento clave en la ecuación de la superioridad tecnológica: «la supremacía tecnológica futura se construye hoy mediante esfuerzos continuados en I+D en tecnologías emergentes»; obviamente, solo será posible si se es capaz de hacerlo en la dirección adecuada y más deprisa que los competidores.

La autarquía tecnológica es, simplemente, una quimera no mantenible en el tiempo, aunque muchos países han realizados esfuerzos para mantener su cadena de provisión en el interior del país o, al menos, disponer de proveedores alternativos nacionales.

¿Quién puede hacerlo? Como se indica en la figura 11 el desarrollo de un sistema complejo es difícil que sea abordable por una única entidad desarrollando todos sus componentes por sí misma. Generalmente, una vez realizado el diseño, cooperando si fuera necesario entre varios actores, se requiere establecer una cadena de provisión global de todos los componentes necesarios a través de los mejores proveedores posibles (en precio, en calidad, en disponibilidad, en seguridad, etcétera) situados en cualquier lugar del mundo<sup>20</sup>.

El sencillo ejemplo representado en la figura 11 describe una situación en la que el contratista principal o de primer nivel (TIER<sup>21</sup> 0) realiza la integración (posiblemente también la fabricación de algún componente) y coordina la fabricación (de acuerdo con especificaciones técnicas y con los criterios de calidad exigidos por él mismo y por la institución contratante) de tres sistemas

---

<sup>20</sup> El proceso de fabricación de un producto tan conocido como el iPhone de Apple implica la creación de una red global de provisión de doscientos proveedores en muchos países. Simultáneamente, un teléfono inteligente moderno requiere disponer de los permisos de acceso a más de mil quinientas patentes.

<sup>21</sup> El concepto de TIER también se usa en informática indicando el nivel de fiabilidad de un centro de datos asociados a cuatro niveles de disponibilidad definidos. A mayor nivel TIER mayor disponibilidad y, por lo tanto, mayores costes asociados en su construcción y más tiempo para hacerlo.

encargados a tres contratistas situados en diferentes países que forman el siguiente nivel de provisión (TIER 1). A su vez, uno de ellos requiere establecer otro nivel de provisión de subsistemas en dos países diferentes (proveedores TIER 2). Todos ellos, pueden además tener otros proveedores de componentes sencillos o de materias primas. Puede asumirse que en paralelo al flujo de componentes físicos se encuentra otro flujo de conocimiento entre estos actores, y posiblemente muchos otros.

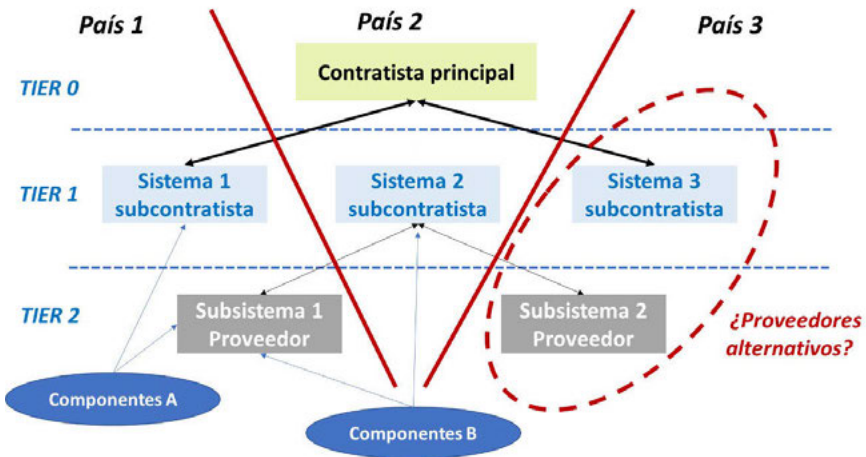


Figura 11. Redes de provisión tecnológica (fuente: elaboración propia).

Esta distribución geográfica del desarrollo y fabricación de sistemas, subsistemas y componentes obliga a asegurar la recepción de los elementos necesarios a tiempo con el fin de atender a las necesidades del mercado. Cuando sucede una situación complicada en un proveedor, ya sea por la situación interna del mismo proveedor o por inestabilidad en la zona geográfica en que se encuentre que impida la entrega de los sistemas o componentes contratados, es necesario encontrar proveedores alternativos si no se quiere detener la producción (caso del país 3 en la figura 11). La situación en la que se encuentran algunas de las empresas de EE. UU. del sector TIC con proveedores situados en China es exactamente esta, con el problema añadido de que un porcentaje significativo del mercado de sus productos también se encuentra en China, lo que introduce una doble dependencia del mercado (de proveedores y de usuarios).

Un enfoque que ha venido a sumarse a este modelo de provisión tecnológica global es el denominado de «innovación abierta».

Aunque el concepto fue ya acuñado por Henry Chesbrough en 2003, su uso se ha extendido en los últimos años a todo tipo de organización pública o privada, tanto para generación de productos como de servicios tecnológicos.

La idea básica es considerar que ninguna organización pública o privada posee en su seno todos los conocimientos tecnológicos que requiere para desarrollar sus productos y ser competitivos internacionalmente; la única opción es colaborar con otros socios compartiendo riesgos y beneficios. El cambio sustancial es que ya no se trata de encontrar «proveedores» de componentes a mejores precios y calidad, sino «socios» (públicos o privados, nacionales o internacionales) con los que generar conocimiento.

Para que este modelo de innovación sea factible las organizaciones deben abrir sus paredes a la innovación, generalmente cerradas (protegidas), para dejar entrar nuevas tecnologías desde el exterior en todo momento, procedentes de otras entidades con las que se colabora (socios tecnológicos) y dejar salir conocimientos en forma de licencias de tecnología o *spin-offs* para poder atender a otros mercados y valorizar el esfuerzo, posiblemente junto a otros socios. Con ello, se reducen los riesgos, aunque deban compartirse los potenciales beneficios con socios externos. Este modelo se complementa con el de adquisiciones de empresas tecnológicas, generalmente *start-ups*, que permite acelerar el proceso de adquisición de determinadas tecnologías prometedoras. La figura 12 resume esquemáticamente este concepto propuesto por Chesbrough (2003).

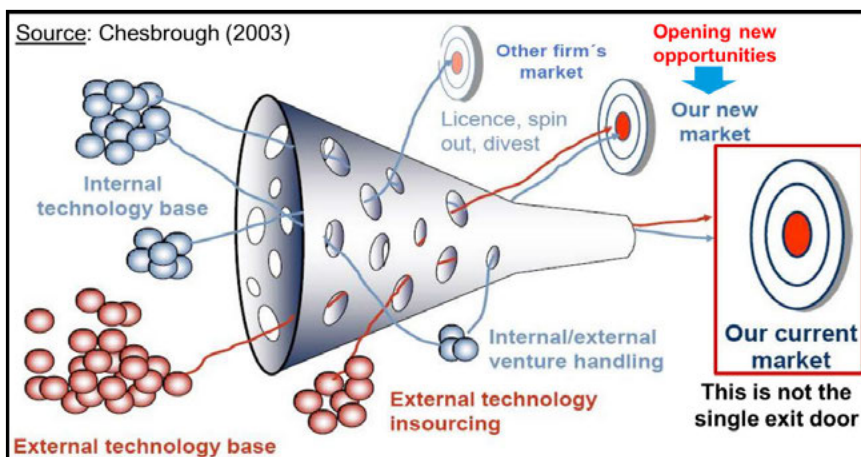


Figura 12. Modelo conceptual de innovación abierta (fuente: Chesbrough, 2003).

El modelo de innovación abierta para el desarrollo tecnológico es aplicable a todo tipo de organizaciones y no solo a las del sector civil. De hecho, la cooperación en el desarrollo de productos tecnológicamente avanzados entre varias empresas (generalmente, con fuerte dependencia pública) en estrecha interacción con las Fuerzas Armadas de varios países ha sido una constante en el desarrollo de sistemas de armas.

En este modelo se combina un enfoque de provisión global con otro de innovación abierta en la medida en la que se coopera en el desarrollo de sistemas tecnológicos avanzados, asumiendo riesgos propios junto a compromisos futuros de adquisición por parte de los Gobiernos que actúan de financiadores y compradores finales de los sistemas desarrollados.

Obviamente, no todos los socios en el desarrollo cooperativo de tecnologías avanzadas en sistemas de armas juegan el mismo papel, ni pueden aprovecharse de los beneficios de la misma manera. Un elemento clave en este sector concreto para determinar la relevancia del papel tecnológico en el desarrollo son, más allá de las capacidades tecnológicas existentes, los compromisos de cada país detrás del socio tecnológico de adquirir un determinado número de los sistemas a desarrollar y asumir los riesgos de retrasos o prestaciones inferiores<sup>22</sup>.

El control de las cadenas de valor para la provisión y comercialización de un determinado producto tecnológico avanzado entra de lleno en la estrategia de los Gobiernos que desean asegurar que sus empresas, y a la postre sus ciudadanos, no se vean relegados en el uso de tecnologías que, previsiblemente, ayuden a mejorar su calidad de vida.

Un ejemplo de esta situación se da en el caso de la cadena de valor del vehículo eléctrico, desde la provisión de litio o cobalto para las baterías, la fabricación de baterías de forma masiva, la producción de motores eléctricos, y otros componentes compartidos con vehículos de motor de combustión. No solo países aislados sino regiones completas tienen dificultades para disponer de un control de todos los elementos de una cadena de valor de productos tecnológicos.

Tampoco es posible hacerlo únicamente como resultado de las decisiones adoptadas por empresas individuales, por grandes que

---

<sup>22</sup> Muchas veces estos compromisos quedan de manifiesto en el peso accionarial de la empresa pública creada para el desarrollo.

estas sean. Los Gobiernos juegan para ello con dos instrumentos muy relevantes: la compra pública innovadora (precompetitiva) y la regulación tecnológica.

La compra pública innovadora se refiere a los concursos adoptados por los Gobiernos (administraciones locales, regionales o nacionales) de adquirir sistemas avanzados una vez desarrollados, aún no disponibles comercialmente, facilitando la financiación a las empresas de su propio desarrollo<sup>23</sup>. Con ello se persigue, además, disponer de capacidades propias nacionales (al menos, en un porcentaje realista de estos sistemas tecnológicos) y no basarse únicamente en la adquisición de sistemas «llave en mano» para los que una cesión efectiva de la tecnología es mucho más difícil de conseguir a no ser que sean adquisiciones de volumen muy elevado junto a otros condicionantes de poder blando o duro.

La regulación tecnológica se basa en establecer medidas legislativas o regulatorias que aceleren el uso de determinadas tecnologías (p. ej. esta es la base de regulaciones obligatorias de reducción de emisiones para acelerar la transición hacia tecnologías energéticas renovables o menos contaminantes) o, por el contrario, que frenen el uso de determinadas tecnologías, de acuerdo a lo que se denomina «el principio de precaución»<sup>24</sup> con el fin de asegurar que no aparezcan efectos nocivos sobre la población (p. ej. en el uso de determinadas terapias) sin que existan pruebas inequívocas de su inocuidad.

### Control de las rutas de aprovisionamiento tecnológico

Un mundo globalizado en el que los modelos de innovación abierta y las cadenas de provisión global se han extendido ampliamente

---

<sup>23</sup> Este enfoque ha sido empleado tanto en el campo civil como en el militar. En el caso español se ha empleado en los últimos veinte años para acelerar el desarrollo de sistemas de armas, algunas veces apoyados en la participación en consorcios internacionales, asumiendo la adquisición de un conjunto de unidades determinadas cuando estén disponibles (asumiendo con ello, el riesgo de retrasos y de no cumplimiento completo de especificaciones). Sin esos compromisos sería muy difícil que un grupo industrial acometiese su desarrollo para un mercado muy específico sin garantías de adquisición posterior (lo que sí ocurre, sin embargo, en muchos otros productos civiles de mercados globales).

<sup>24</sup> El principio de precaución se menciona en el artículo 191 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea. Pretende garantizar un elevado nivel de protección del medio ambiente mediante tomas de decisión preventivas en caso de riesgo. No obstante, en la práctica, su ámbito de aplicación es mucho más amplio y se extiende, asimismo, a la política de los consumidores, a la legislación de la Unión Europea relativa a los alimentos, a la salud humana, animal y vegetal (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=LEGISSUM:I32042>).

en el desarrollo tecnológico también ha conllevado otro fenómeno, muy conocido en la historia y que ha sido fuente de conflictos bélicos recurrentes: el control de las rutas de aprovisionamiento de materias primas, componentes y sistemas esenciales.

Es fácil analizar el valor estratégico del golfo Pérsico en su papel para asegurar el suministro de petróleo a Europa y otros países; de hecho, constituye un elemento fundamental para explicar la inestabilidad de la zona. El equivalente futuro del petróleo puede estar en el aprovisionamiento de otros materiales, como los necesarios para la fabricación de semiconductores o baterías avanzadas, el acceso a datos mediante redes informáticas, o en el flujo de talento (recursos humanos) especialistas en determinadas tecnologías, necesario para asegurar la producción.

El cambio de la importancia relativa de los aspectos logísticos tradicionales queda claramente de manifiesto en la figura 13 (Feos y Steinberg, 2019). No tanto en los procesos logísticos convencionales asociados a la compra y venta de productos, como se refleja en la figura 13, sino también la implícita asociada a la I+D.



Figura 13. Evolución de la cadena de valor (fuente: Feos y Steinberg, 2019).

La figura muestra cómo la importancia de la provisión de materias primas se reduce en comparación con la de otros componentes o productos procesados.

A vueltas con China, la figura 14 representa la evolución de las importaciones de petróleo frente a circuitos integrados de semiconductores (el elemento básico del sector de la microelectrónica), desde 2014 el valor en billones de dólares de las importaciones de circuitos integrados ya supera al de una materia prima como el petróleo.

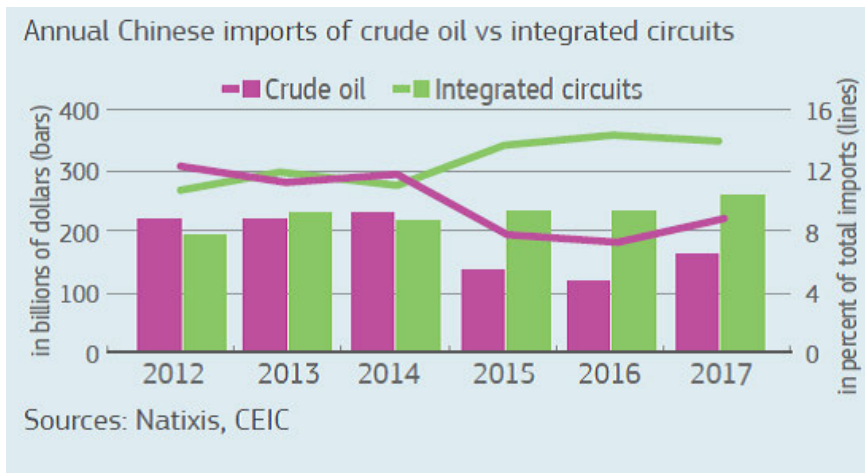


Figura 14. Importaciones anuales de crudo y circuitos integrados en China (fuente: Natixis).

Sin circuitos integrados que deberían ser fabricados en otros países (muchas de las factorías están situadas en Taiwán, Japón o EE. UU.) China no podría generar los productos que después se introducen en los mercados mundiales. Evidentemente, esta situación refleja una debilidad: la dependencia tecnológica de terceros países. Y reducir esa dependencia forma parte de una estrategia nacional de China iniciada hace unos años y cuyos resultados están ya sobre el tablero mundial<sup>25</sup>.

La única opción en el caso de materias primas (como el petróleo) cuando no se dispone de yacimientos propios es llegar a acuerdos estables a largo plazo con proveedores situados en otros lugares. Asegurar estas rutas de aprovisionamiento y comercialización es básico, porque ningún país puede conseguir un desarrollo sostenido únicamente con los mercados locales.

Históricamente, la existencia de grandes rutas comerciales aseguradas militarmente fue la base de la construcción y mantenimiento de imperios como el romano o el chino y, en cierta manera, el británico del siglo XIX. La figura 15 superior representa esquemá-

<sup>25</sup> El capítulo 3 de esta monografía analizará en detalle el problema de la dependencia tecnológica.

ticamente las rutas comerciales principales del Imperio romano y la figura 15 inferior representa las rutas comerciales del Imperio de China hacia los océanos Pacífico, Índico y Mediterráneo de-

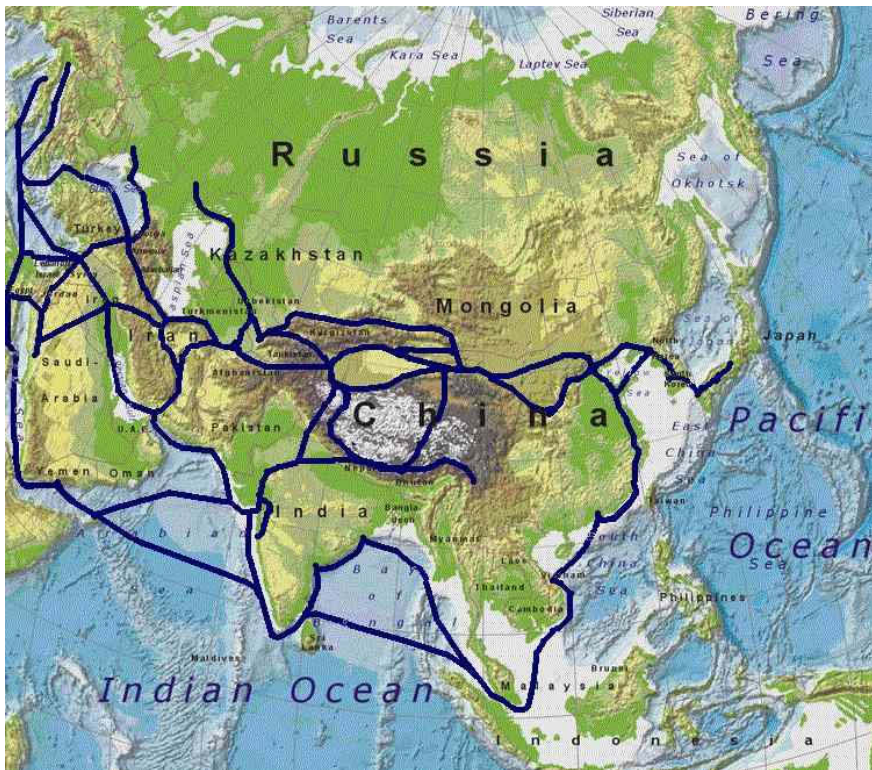


Figura 15. a) Rutas comerciales del Imperio romano. b) Rutas de la seda de la antigüedad (fuente: Wikipedia).

nominadas «ruta de la seda»<sup>26</sup>. Ambas estaban interconectadas, repartiéndose el control del mundo conocido en aquella época.

La iniciativa actual con consecuencias estratégicas más relevantes es la que responde a la iniciativa *BRI (Belt and Road Initiative)* impulsada por China. La figura 16 refleja la amplitud estratégica y geográfica de esta iniciativa. No es extraño que se la denomine también como la «nueva ruta de la seda».



Figura 16. Iniciativa Belt and Road (BRI).

En 2019 la iniciativa *Belt and Road* está basada en una financiación del Banco de Desarrollo de China de 890 billones de dólares asignados a novecientos proyectos, principalmente en transporte, infraestructura y energía. Actualmente, más de ochenta países participan en la iniciativa, con una población total de 4,4 billones de personas y el 29 % de la riqueza total del mundo (EC, 2019).

Cuando se habla de otros elementos tecnológicos esenciales (p. ej. el talento especializado o los circuitos integrados) es posible

<sup>26</sup> Ferdinand Von Richtofen, geógrafo y geólogo alemán, acuñó la expresión «rutas de la seda» para definir las redes comerciales que conectaban Asia, y en particular la China, con Europa, a través de Anatolia (parte del Imperio bizantino) y desde allí al Mediterráneo. La extensión de estas rutas era de alrededor de unos 8.000 km y el nombre fue propuesto a causa de la más importante y prestigiosa de sus mercancías, la seda, cuyo secreto de fabricación era guardado celosamente por el Imperio chino. Según Richtofen, el control de la misma explica los conflictos entre los Estados que controlaban el Mediterráneo (Roma y luego Constantinopla) y los que dominaban Mesopotamia y Asia Central (Partia y Persia, sucesivamente, luego el Califato). El control del Imperio otomano de uno de los extremos de la ruta con la toma de Constantinopla fue uno de los desencadenantes de la era de los Descubrimientos, que intentaba hallar una alternativa a las rutas tradicionales de la seda y las especias ([https://es.wikipedia.org/wiki/Iniciativa\\_del\\_Cinturón\\_y\\_Ruta\\_de\\_la\\_Seda](https://es.wikipedia.org/wiki/Iniciativa_del_Cinturón_y_Ruta_de_la_Seda)).

adoptar otras estrategias: generar a nivel nacional los yacimientos necesarios para generar esas tecnologías. La ventaja de este enfoque es que no es necesario contar con recursos naturales, sino que, conceptualmente, es posible hacerlo en cualquier lugar si se invirtiese suficientemente en recursos humanos e instalaciones físicas durante el tiempo necesario.

Un ejemplo paradigmático de esta situación de construcción de ventajas tecnológicas sin recursos naturales es Corea del Sur. Tras la guerra de Corea, a mediados de la década de 1950, su situación era catastrófica y basada únicamente en la agricultura de supervivencia. Hoy es una potencia tecnológica mundial basada en educación e inversión en I+D<sup>27</sup>.

Muchos países del mundo, no solo en Asia, copian hoy de Corea del Sur (o se inspiran en ese país) algunos de los enfoques educativos que han puesto en marcha. Chile, por ejemplo, le ha tomado como referente en materia de educación.

El PIB per cápita de la población actual de Corea del Sur es más de cien veces superior al que tenía hace solo cinco décadas. Además, Corea del Sur logró esta transformación junto a una «equitativa» distribución del ingreso (su GINI promedio del 1992-2007 es del 31,6 frente a un 52 de Chile), siendo la clave de este proceso el desarrollo de capital humano y asegurando el ascenso social y económico a través de los resultados alcanzados por el sistema educativo que han sido excepcionales a escala mundial. Corea del Sur lidera los *rankings* globales no solo por sus empresas tecnológicas como Samsung, LG o sus innovaciones en biotecnología y nanotecnología... hoy, el país asiático es también un referente mundial en materia de educación.

<https://www.bcn.cl/observatorio/asiapacifico/noticias/transformacion-corea-lecciones-para-chile>

Concretamente, en el caso de los circuitos integrados es posible emplear un enfoque similar al del petróleo, importarlos de otros países, o llegar a disponer de capacidades propias si se dispusiera de recursos económicos, acceso a la tecnología necesaria, personas formadas y tiempo. En ese caso, se conseguiría una independencia tecnológica progresiva por adquisición y posterior generación de conocimiento a través de programas a largo plazo e inversiones públicas cuantiosas.

<sup>27</sup> Entre 1996 y 2015 la inyección en I+D de Corea del Sur creció 88,5 % (de un 2,24 % en 1996 al 4,23 % en 2015), mientras que en los EE. UU. solo creció un 14,4 % (del 2,44 % en 1996 a 2,79 % en 2015) (<http://emprededorglobal.info/exito-corea-del-sur/>).

Obviamente, la capacidad de intervención de los Gobiernos con instrumentos de política industrial, regulatoria o de acuerdos internacionales es mucho más justificada cuando se realiza en sectores empresariales con un peso relevante en el PIB de las naciones y con grandes consecuencias socioeconómicas que justifiquen la acción estatal. Y eso no se limita a bienes materiales. En todo caso, la imbricación de las interacciones comerciales entre países y los acuerdos comerciales internacionales establece un límite a las prácticas intervencionistas.

También influye el modelo de Estado existente, al menos en lo referente al peso que se da a la acción gubernamental en la dirección de la economía<sup>28</sup>. Si una determinada potencia dispusiera de resortes suficientes para influir sobre las prioridades de grupos empresariales nacionales de suficiente tamaño, y si dispusiera también de la voluntad política de ejercer esa influencia acompañada de la puesta en marcha de políticas comerciales proteccionistas, y si contase con un mercado propio suficientemente grande que justifique las inversiones, y mano de obra formada en áreas STEM<sup>29</sup>, se dispondría de un conjunto de elementos que permitiría desarrollar una política estratégica tecnológica. La reacción de otras potencias no se hará esperar.

Un elemento característico de la sociedad de la información actual es que las rutas de aprovisionamiento mencionadas no se refieren únicamente al intercambio de bienes físicos (productos o componentes) sino a información: datos intercambiados entre entidades situadas en cualquier punto del globo. El movimiento del flujo de datos puede seguir empleando diversas tecnologías, rutas terrestres, marítimas o espaciales tejiendo una malla tridimensional cuyo mantenimiento, protección y continua ampliación constituye un eje fundamental de las relaciones internacionales.

Las rutas del flujo de datos basadas en haces de fibras ópticas son tan importantes como las físicas. El esfuerzo de interconectar todos los países con enormes autopistas de datos es imparable. La figura 17 representa la situación de las redes de datos de investigación europeas.

<sup>28</sup> Es el caso de la existencia de grandes grupos empresariales controlados por el Estado (empresas públicas o con acciones de control) que permitan emplearlos como base de una política de consecución de la independencia tecnológica.

<sup>29</sup> *STEM* significa *Science, Technology, Engineering, Mathematics* y está ligado al tipo de graduados necesarios para crear una estrategia tecnológica nacional, además de requerirse un enfoque multidisciplinar con otros tipos de graduados.

Muchas de esas rutas de datos entre continentes se basan en cables submarinos (véase figura 18).

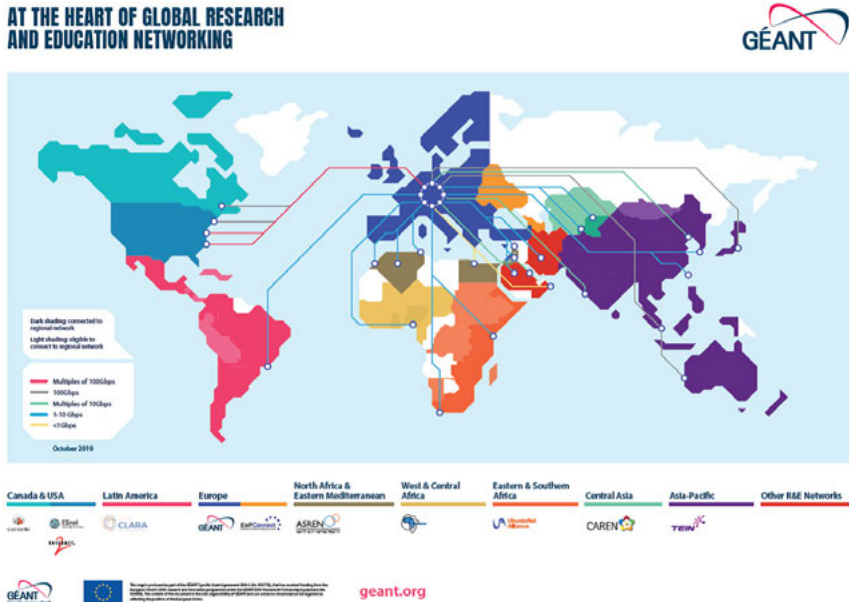


Figura 17. Conexiones de datos de las redes de investigación y educación europeas (fuente: [https://www.geant.org/Resources/Documents/GEANT\\_at\\_the\\_Heart\\_of\\_Global\\_Research\\_and\\_Education\\_Networking\\_Oct\\_2019.pdf](https://www.geant.org/Resources/Documents/GEANT_at_the_Heart_of_Global_Research_and_Education_Networking_Oct_2019.pdf)).

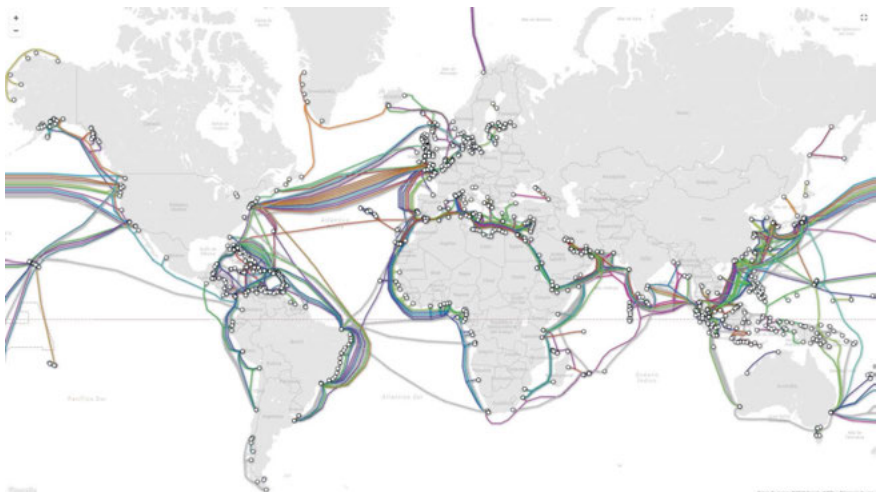


Figura 18. Cables submarinos (actualización agosto 2018) (fuente: <https://www.submarinecablemap.com/#/>).

Estos cables son capaces de transmitir del orden de 3.840 gigabits por segundo en cada hilo de fibra óptica, el equivalente al contenido de 102 DVDs cada segundo. Y teniendo en cuenta que hay algunos cables con ocho pares de hilos de fibra, su capacidad de transmisión se puede disparar hasta los 1.700 discos DVD por segundo, más de 60 terabits.

Es inmediato imaginar el daño que surgiría de atentados sobre satélites de comunicación o la ruptura intencionada o no de los cables submarinos (formados por haces de fibras ópticas) por los que se encamina la mayor parte de este tráfico de datos internacional. Sin esas comunicaciones aseguradas (p. ej. mediante la redundancia de enlaces por diversas rutas) no se podrían realizar las actividades empresariales.

La figura 19 describe la evolución del flujo de datos en solo una década. No se trata únicamente de observar el enorme incremento del volumen de datos intercambiados (de 4,7 Tbps en 2005 a 211,3 Tbps en 2014) sino el carácter estratégico que reflejan estos flujos en las relaciones entre regiones globales.

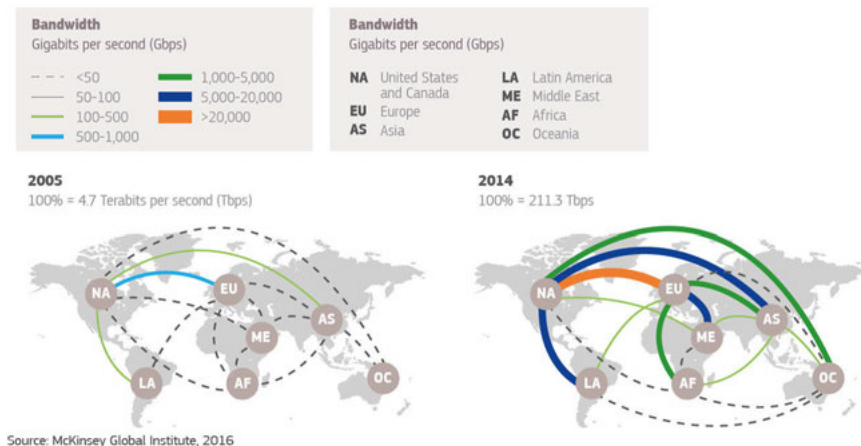


Figura 19. Intercambio de datos entre regionales globales (fuente: MCKinsey, 2016).

Un ejemplo de tecnologías avanzadas que no requiere el movimiento físico de bienes materiales (el flujo de datos al fin y al cabo requiere infraestructuras físicas distribuidas basados en grandes troncales de fibras ópticas) es el de la inteligencia artificial que se incorporará a la mayor parte de los productos durante la década de los veinte del siglo XXI. Ligados a ella se encuentran el control y procesamiento de los datos, muchos de ellos genera-

dos por los propios Gobiernos de los ciudadanos, del transporte o del medio ambiente, que permitirá que las máquinas (de hecho, algoritmos específicos) aprendan mejor y más rápido.

En cierta medida, China y EE. UU. lo están haciendo ya potenciando a sus industrias con subsidios (caso de China) y contratos estatales (caso de EE. UU.) para controlar el desarrollo de una tecnología horizontal como veremos posteriormente en este documento, y Europa también deberá responder con decisión a las necesidades de sectores estratégicos.

La incorporación de nuevas tecnologías, sobre todo, en el contexto de la transformación digital ha supuesto una revolución en los actores principales de los sectores afectados (en cierta medida, todos) cuyo territorio de actuación es global. Un análisis de las empresas con mayor capitalización bursátil y su variación en diez años (véase figura 20) resume de manera muy evidente la situación de fortalezas y debilidades relativas de los grandes bloques geográficos.

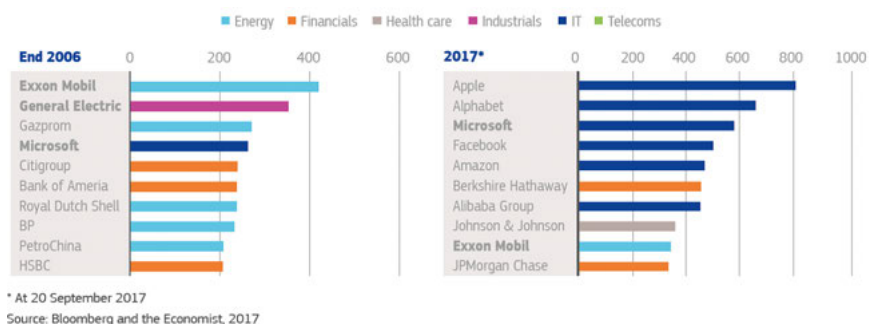
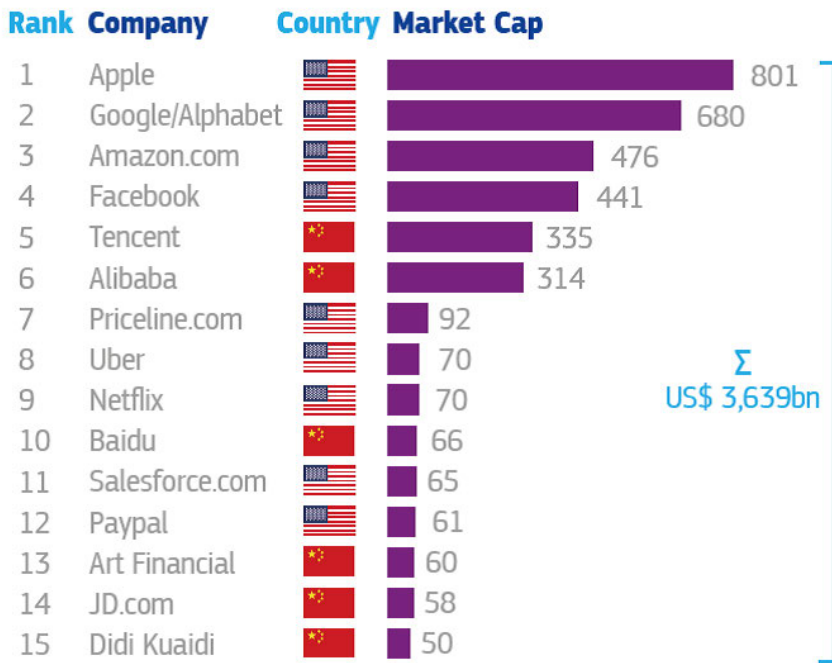


Figura 20. Empresas con mayor capitalización bursátil (2006-2017).

Si en 2006 podíamos encontrar a BP (British Petroleum) como una empresa europea en la lista de las diez empresas con mayor capitalización, en 2017 ya no hay ninguna. Además, se puede ver el enorme cambio sectorial de las empresas incluidas en la lista (solo dos de las que estaban en 2006 siguen estando en 2017) y el dominio de las empresas del sector TIC (de hecho, las cinco primeras).

Si nos fijamos en las empresas de Internet en el mundo, la figura 21 refleja una situación mundial con dos países dominantes: EE. UU. y China. De nuevo, Europa no existe.

(billion US dollars)



Source: Statista, 2017

Figura 21. Mayores empresas de Internet en 2017.

Cabe preguntarse si la situación mostrada en las figuras 20 y 21 anteriores con una fuerte situación de dominio de las dos grandes potencias, EE. UU. y China, reflejan una situación coyuntural o, por el contrario, se trata de una tendencia mucho más profunda que se incrementará en el futuro. ¿Tiene algo que ver el esfuerzo en I+D? La siguiente sección intenta responder a esa pregunta.

### Evolución comparada del esfuerzo en I+D

La emergencia de tecnologías disruptivas, tanto las indicadas en la predicción efectuada por Gartner, mostrada anteriormente en la figura 5, como las analizadas en la presente monografía, así como la generación de nuevas empresas de base tecnológica con la capacidad y la visión de aprovecharlas requieren un esfuerzo en el que no todos los países participan de igual manera, ni se encuentran en la misma posición de partida.

Para analizar la situación y capacidad de partida debemos comparar el esfuerzo en investigación y desarrollo tecnológico que desarrollan los países y las políticas que Gobiernos y entidades supranacionales como la Unión Europea ponen en ello<sup>30</sup>; es este esfuerzo el que alimenta la supremacía tecnológica en el futuro. Con datos de Batelle (2019) la figura 22 refleja la evolución del esfuerzo en I+D realizado por algunos países significativos en porcentaje del PIB (últimos datos disponibles de 2017) cruzado con el número de investigadores existentes por millón de habitantes. El tamaño de cada círculo refleja el volumen total de gasto en I+D realizado.

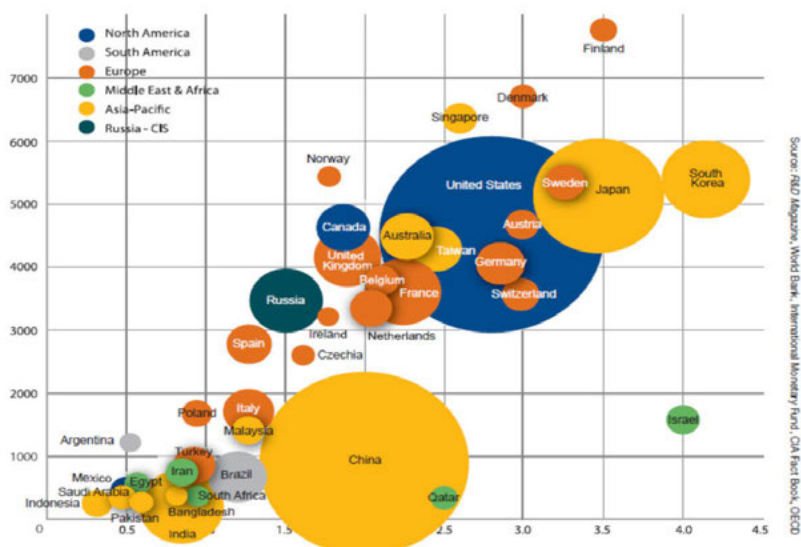


Figura 22. Esfuerzo relativo en I+D (% PIB) (eje de abscisas) en relación con el número de investigadores por millón de habitantes (eje de ordenadas) (fuente: R & D Magazine, Batelle, 2019).

Llama la atención que el volumen absoluto de inversión en I+D de China ya es comparable al de EE. UU., y mucho mayor que el de Japón, y también es mucho mayor que el de otra gran potencia del siglo XX, Rusia. También es relevante el esfuerzo de I+D que realiza Corea del Sur y Japón. Los países nórdicos europeos, Suecia, Finlandia y Dinamarca, destacan en este sentido, a pesar de que, debido al tamaño de esos países, su volumen total no es elevado.

<sup>30</sup> *Smarter, greener, more inclusive? Indicators to Support the Europe 2020 Strategy. 2019 edition.* Eurostat (<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/10155585/KS-04-19-559-EN-N.pdf/b8528d01-4f4f-9c1e-4cd4-86c2328559de>).

China no es todavía una gran potencia si se compara el número de investigadores existentes en China con respecto a EE. UU. (en China la cifra es de alrededor de 1.000 investigadores por 1.000.000 de habitantes, mientras que en EE. UU. es de 5.000) lo que refleja aún una debilidad para dar un salto definitivo, pero su enorme base demográfica puede permitirlo en el transcurso de una única generación; además, el Gobierno chino puede establecer programas para atraer investigadores de otros países como, de hecho, hizo (y sigue haciendo) EE. UU. durante décadas. China ha empezado a hacerlo en el contexto asiático, pero también en África y Latinoamérica.

La figura 22 no permite analizar la situación de la Unión Europea de forma conjunta. Para ello, se reproduce la figura 23 con datos procedentes de la OCDE en 2018 que indica la evolución del gasto en I+D desde el año 2000 de algunos países seleccionados junto a la Unión Europea (veintiocho miembros).

Como se puede observar, China ya ha superado a la Unión Europea en 2013 y lo sigue haciendo consistentemente desde entonces. Otros, como Corea del Sur, partiendo en los años 70 de un

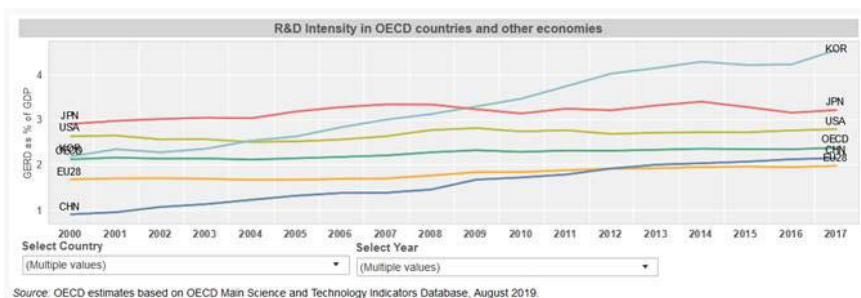


Figura 23. Gastos en I+D/PIB de países seleccionados (fuente: OCDE, 2019).

nivel muy bajo, ya han superado el 4 % de gasto respecto al PIB (el doble de la Unión Europea)<sup>31</sup>.

Las previsiones de distribución del gasto en I+D para 2019 de los países más importantes (véase figura 24) demuestran cómo China y EE. UU. están acelerando su esfuerzo frente al resto de países. También es significativa la posición de debilidad de Rusia superada por varios países además de las dos grandes potencias. Europa, aunque ligeramente, sigue perdiendo peso anualmente.

<sup>31</sup> Como referencia, el gasto en I+D con respecto al PIB en España en 2018 fue del 1,3 % (INE, 2019), muy por debajo de la media de la Unión Europea.

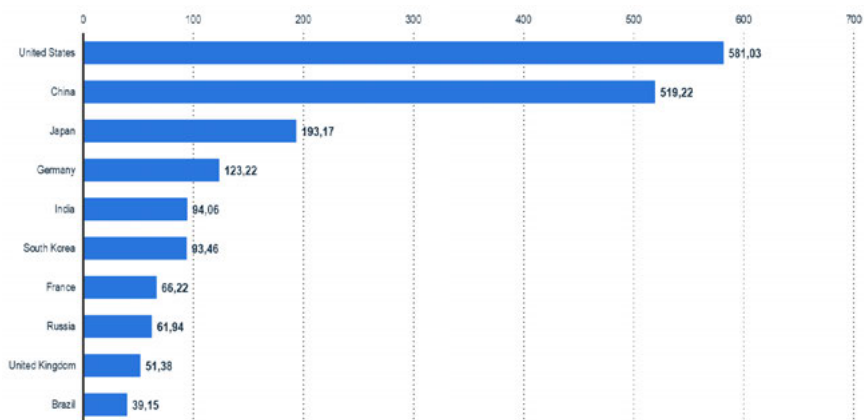


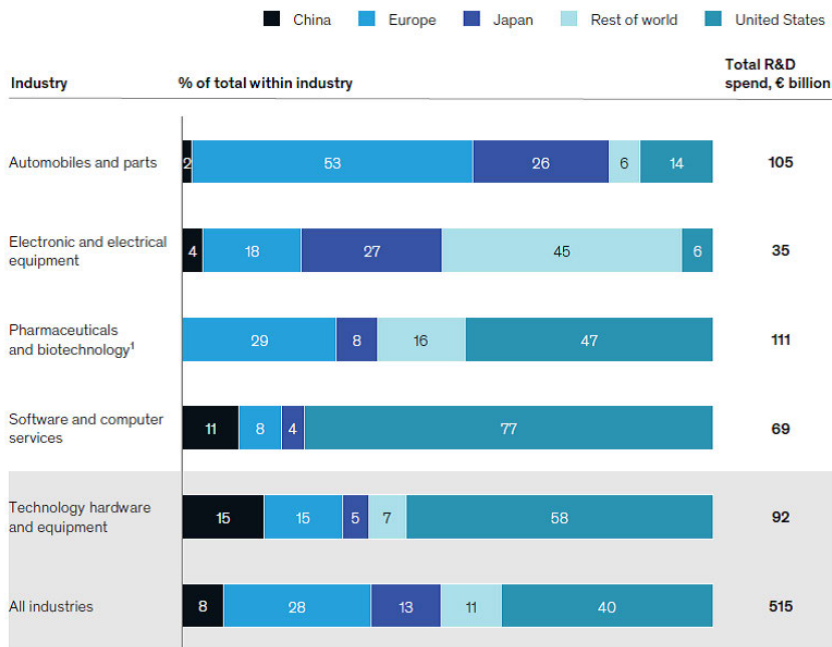
Figura 24. Previsiones de gasto de I+D (2019) de países seleccionados (fuente: <https://www.statista.com/statistics/732224/worldwide-research-and-development-distribution-of-investment/>).

La consecuencia del esfuerzo en I+D es, obviamente, poder disponer de la capacidad de dominar el desarrollo de tecnologías emergentes, y si este desarrollo va acompañado del fortalecimiento del sector industrial y de la disponibilidad de suficientes recursos humanos con la formación adecuada, permitirá a corto plazo el control del mercado global a través del desarrollo de productos y servicios muy avanzados en base a esas tecnologías emergentes.

Un reciente documento de McKinsey (2019) (véase la figura 25), muestra el gasto en I+D en diversos sectores por regiones geográficas. De la gráfica se desprende que Europa solo tiene una posición relativamente fuerte en el sector de la automoción; aunque el sector se encuentra sometido en estos momentos a un gradiente de cambio tecnológico fortísimo (vehículo eléctrico, autónomo, etcétera), con lo que no es evidente que estas posiciones se mantengan en el futuro si Europa no domina el mercado de componentes electrónicos y baterías de automóvil para reducir su dependencia como veremos posteriormente.

Por el contrario, la situación de Europa es preocupante en el ámbito de *software* y servicios informáticos (con solo el 8 % del peso industrial), fuertemente dominado por EE. UU. Dada la relevancia que este sector tiene en la economía actual, esa debilidad arrastra también una clara asimetría en el flujo de capitales y, lo que posiblemente haya tenido y tenga mayores repercusiones a medio y largo plazo, en el flujo de personal formado. Esta es la base del conocido problema de la asimetría del flujo de talento (*brain*

*drain*) con algunos países favorecidos y otros muchos perjudicados, que aparecerá repetidas veces en estas páginas.



<sup>1</sup> China's share among top 250 research spenders per official reporting is below 1 percent in pharmaceuticals and biotechnology.  
 Source: IRI 2018 EU Industrial R&D investment scoreboard; McKinsey Global Institute analysis

Figura 25. Gasto en I+D por sectores (fuente: McKinsey).

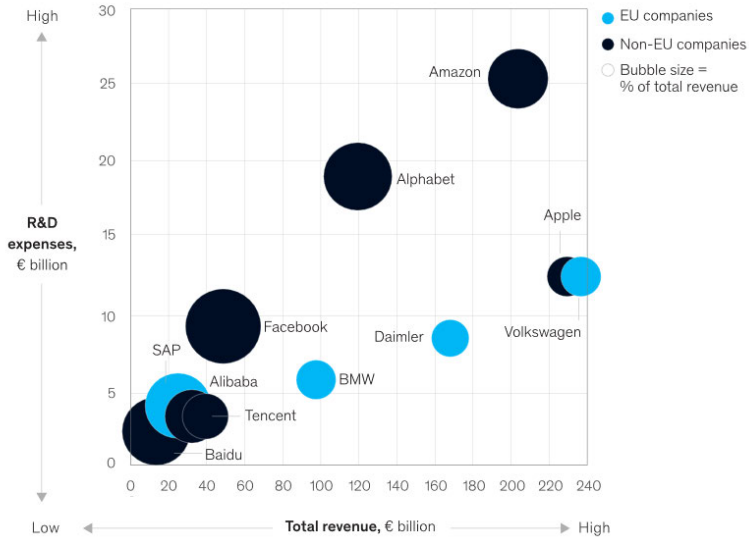
Con el fin de completar esta visión, conviene adoptar un punto de vista complementario: las inversiones que realizan en I+D las grandes empresas multinacionales en relación con sus cifras de facturación. La figura 26 representa (con datos de 2018) las inversiones de I+D de algunas grandes empresas multinacionales (McKinsey, 2020). Está clara la posición de dominio de las empresas de EE. UU. en cuanto al gasto en I+D con respecto a las europeas.

Lo que, en mi opinión, es aún más importante es que (véase el área de cada círculo) el esfuerzo relativo que realizan en I+D las empresas de EE. UU. es superior, en términos generales, a las que realizan las grandes empresas europeas (la que más se aproxima en Europa es la empresa SAP). En otros términos, las empresas multinacionales de EE. UU. adoptan una estrategia empresarial en el que la inversión en I+D y en innovación tecnológi-

ca se considera su mejor garantía de futuro; sin ella, saben que no podrán ser competitivos.

**US tech giants spend more on research and development than large EU firms.**

R&D expenses of selected multinational companies, FY2018



Source: S&P Capital IQ; McKinsey analysis



**Figura 26. Gasto en I+D comparada con los ingresos de grandes empresas multinacionales (fuente: McKinsey, 2020).**

**Impactos geopolíticos en la formulación de políticas y estrategias tecnológicas**

La evolución de la tecnología tal y como se ha expresado en las páginas anteriores ha facilitado un cambio sustancial en la sociedad desde el siglo XIX. Lo sigue y seguirá haciendo de manera acelerada en el siglo XXI. De hecho, la tecnología, su desarrollo, difusión y regulación emerge como un factor decisivo en la formulación de las políticas nacionales y las relaciones internacionales. Se suma así como un factor esencial en la geopolítica que configura nuestro mundo y penetra de forma visible en las agendas del G7, G20, OCDE u organismos de las Naciones Unidas como OMS en sanidad o FAO en agricultura.

Todo ello es síntoma de la estrecha conexión que existe hoy día entre la tecnología, el desarrollo humano y el bienestar social; conexión percibida con luces y sombras por una sociedad que asiste a este desarrollo sin preparación suficiente para alcanzar a ver sus consecuencias a medio y largo plazo y sin medidas claras para encauzar su desarrollo dentro de los cauces que aseguren el cumplimiento de principios éticos no acordados todavía.

Desde un punto de vista económico, la tentación de revertir la situación de retraso tecnológico para un país y una tecnología o sistema tecnológico en concreto mediante la creación de «campeones nacionales», es decir, la necesidad de apoyar la creación de grandes empresas o conglomerados empresariales sostenidos por los Gobiernos (mediante contratos a largo plazo y regulaciones proteccionistas de los mercados nacionales) para disponer de la masa crítica de recursos humanos y materiales que permita desarrollar productos tecnológicos e imponerlos en el mercado exterior, ha estado en la mesa de países y entidades supranacionales como la Unión Europea desde hace mucho tiempo (Maincent y Navarro, 2006).

Esa situación ha provocado críticas por sus efectos sobre el libre mercado por parte de muchos economistas, pero también argumentos a favor (Falck *et al.*, 2011) buscando la simetría de comportamientos con otros actores.

No se olvide, por ejemplo, que la creación de Airbus<sup>32</sup> fue motivada por el deseo de fortalecer la industria aeronáutica europea frente a EE. UU. El esfuerzo de desarrollo de Galileo también tiene el mismo objetivo en el ámbito de la navegación por satélite. También se encuentra en esa lógica de actuación el intento de disponer de un gran grupo industrial de ferrocarriles de alta velocidad mediante el intento de fusión de Siemens y Alsthom, y la resistencia de otros países por lo que supone de perjuicio potencial para su propia industria o ruptura de una política de mercado competitiva (caso de las prerrogativas sobre el mercado único de la Unión Europea).

---

<sup>32</sup> Airbus arrancaba en junio de 1981, cuando la puesta en marcha del programa de diseño del Airbus A320. Con el diseño basado en aviones de pasillo único con capacidad para más de cien pasajeros fue la apuesta europea para combatir a los B727, B737 y los MD DC-9 que ya triunfaban por parte del fabricante americano, Boeing (<https://vadeaviones.com/2013/11/18/airbus-320-25-anos-de-historia/>).

Bruselas aguantó las duras presiones, en público y en privado, que Alemania y Francia han ejercido durante semanas y vetó la fusión de los dos grandes del ferrocarril en Europa, la alemana Siemens y la francesa Alstom. Lo anunció este jueves la comisaria de Competencia, Margrethe Vestager, una danesa liberal con fama de dura, que argumentó que esta alianza perjudicaría la competencia y llevaría a un aumento de los precios en el mercado ferroviario, especialmente en dos aspectos, los que se refieren a los trenes de muy alta velocidad, por encima de los 300 km/h, y a los sistemas de señalización.

Es el capítulo final de la crónica de un veto anunciado, que empezó con la apertura de una investigación en julio pasado, diez meses después de que los dos grupos anunciaran su alianza con la intención de convertirse en un gran campeón ferroviario. La maniobra de última hora de las compañías de presentar hace dos semanas medidas correctoras no fue suficiente para Bruselas.

<https://www.lavanguardia.com/economia/20190206/46256123674/alstom-siemens-fusion-comision-europea-competencia.html>

En el caso de la Unión Europea la situación, ahora de la mano de Alemania, ha vuelto a ponerse sobre la mesa. Según un documento reciente de la industria alemana durante mucho tiempo las empresas industriales alemanas pensaban que China se iba a convertir en una economía de mercado libre... pero finalmente se dieron cuenta de que China no abandonaría su capitalismo de Estado... y las empresas alemanas se sienten incapaces de competir sin una mayor ayuda del Estado alemán y de las instituciones europeas.

El argumento de la necesidad de actuación al nivel político más alto ha calado en el Gobierno federal alemán y la nueva estrategia industrial nacional 2030 de Alemania presentada en 2019 lo expresa claramente: «Si la plataforma digital para la conducción autónoma con inteligencia artificial para los vehículos del futuro procediese de EE. UU. y las baterías de Asia, Alemania y Europa perderían el 50 % del valor añadido en esta área»<sup>33</sup>.

El objetivo de la estrategia industrial 2030 no va dirigido únicamente a la industria de Alemania, sino también a la europea: el objetivo es extender progresivamente la cuota asumida por la industria en el PIB al 25 % en Alemania y al 20 % en la Unión Europea en 2030.

<sup>33</sup> [https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Industry/national-industry-strategy-2030.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=9](https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Industry/national-industry-strategy-2030.pdf?__blob=publicationFile&v=9)

No basta con proponerlo. La puesta en marcha de una política tecnológica ambiciosa requiere voluntad política sostenida en el tiempo, recursos económicos, construcción o fortalecimiento de capacidades y el convencimiento de la población de que su bienestar futuro depende de ello.

El caso de la estrategia tecnológica-industrial de China ayuda a reflexionar sobre estas consecuencias<sup>34</sup>. El Gobierno chino puso en marcha una iniciativa ambiciosa, *Made in China 2025* (Gómez, 2016) cubriendo áreas como las tecnologías de la información, automatización y robótica, equipo marítimo y naval, transporte ferroviario avanzado, vehículos eléctricos, equipos de potencia, maquinaria agrícola, nuevos materiales, y dispositivos médicos y productos farmacéuticos (véase figura 27).



Figura 27. Áreas prioritizadas en la iniciativa Made in China, 2025.

La estrategia *Made in China* se desarrolla en tres fases: la primera, hasta 2025, tiene como objetivo reducir la distancia con otros países en las áreas seleccionadas; la segunda, hasta 2035, pretende fortalecer esa posición; y la tercera, hasta 2045, liderar la innovación<sup>35</sup>. Ya no se trata solo de que China sea un país capaz de producir barato cualquier tipo de producto de tecnologías medias (ya no bastaba con convertir a China en la «fábrica del

<sup>34</sup> China publica más artículos científicos en veintitrés de los treinta campos más activos que cualquier otro país, siendo el origen del 11 % de los artículos con mayor impacto durante 2014-2016 (*The Economist*, 12 de enero de 2019).

<sup>35</sup> Obsérvese una diferencia con los países occidentales: el horizonte temporal planteado. En las planificaciones estratégicas de la Unión Europea o de EE. UU. se suele establecer el horizonte de planificación tecnológica-industrial en diez años (el programa de investigación europeo H2020 y el próximo, Horizonte Europa, lo hacen a siete años. Más allá de ese año, no hay planes. En los Estados miembros el marco temporal de planificación es aún menor porque los planes nacionales suelen ser de cinco años.

mundo» en productos de tecnología intermedia como se decía hace unos años apoyado en bajos salarios y condiciones laborales no aceptables en Occidente), sino que pretende ser líder en sectores avanzados con una estrategia a desarrollar en el tiempo y dotada de unos recursos muy superiores a los que las potencias occidentales pueden poner encima de la mesa<sup>36</sup>.

Unos ejemplos de su capacidad de desarrollo tecnológico actual ilustran la situación:

- China ha desarrollado el primer satélite con tecnologías cuánticas, *Micius*, puesto en órbita por un lanzador *Long March* en agosto de 2016, que le aseguran comunicaciones cifradas por satélite (llamadas de teléfono entre el espacio y tres estaciones en tierra).
- China ha lanzado con éxito una sonda robótica al lado oculto de la Luna. La sonda espacial *Change 4*, compuesta por un aterrizador (*lander*) y un vehículo no tripulado (*rover*) se ha convertido en la primera de la historia en aterrizar suavemente sobre la cara oculta de la Luna, donde estudiará los orígenes y la evolución de las estrellas y de las galaxias.
- China ha puesto en marcha en enero de 2020, tras dos años de pruebas, el mayor radiotelescopio del mundo (FAST, Ra-



<sup>36</sup> La Unión Europea se encuentra en pleno proceso de negociación del siguiente programa marco de investigación e innovación denominado Horizonte Europa (CE, 2018) que con unos 100.000 millones de euros permitirá disponer de un marco de referencia en el periodo 2021 a 2027 (<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en>).

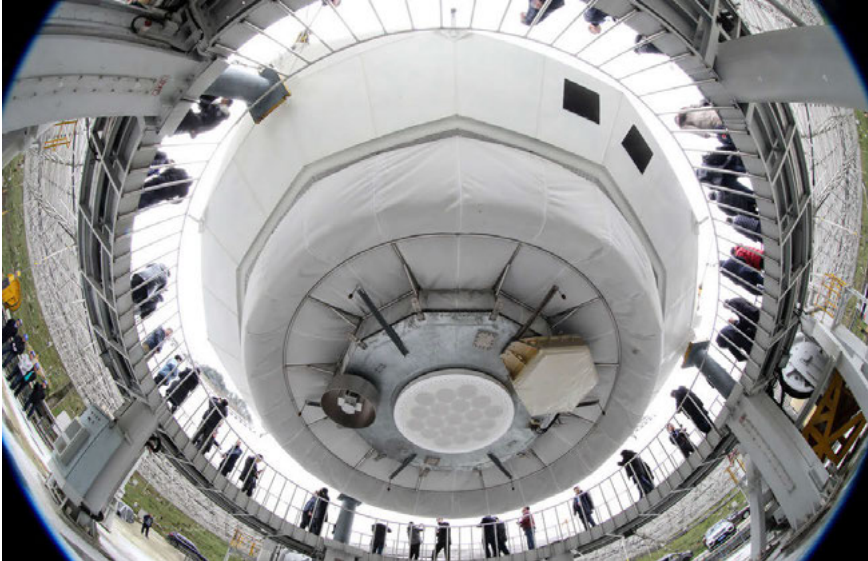


Figura 28. Radiotelescopio FAST de China (fuente: <https://actualidad.rt.com/actualidad/339745-radiotelescopio-china-comenzar-actividad-toda-capacidad-oficial>).

diotelescopio de Apertura Esférica) con un diámetro de 500 metros y formado por 4.450 paneles (véase figura 28).

Conseguir estos logros de relevancia tecnológica mundial no depende únicamente de incrementar fuertemente, como ha hecho, las inversiones en ciencia y tecnología durante periodos prolongados de tiempo, o crear un buen número de centros de investigación de excelencia.

Estos logros han supuesto un esfuerzo continuado para disponer de un número considerable de investigadores, formados en China y en otros países a los que ofrecer posibilidades para volver a China en condiciones similares (equipamientos avanzados, financiación y promoción profesional) a las que tienen en los países en los que desarrollan o han desarrollado su labor (muchos de ellos en Europa y EE. UU.). Con ello, es seguro que mejorará paulatinamente la posición que tiene en el número de investigadores por millón de habitantes (recuérdese la figura 22).

Este último punto es esencial para entender la batalla por atraer y retener talento científico y tecnológico que se está librando en todo el mundo en el que EE. UU. ha actuado durante varias décadas consecutivas de gran *atractor* del talento mundial generando

flujos fuertemente asimétricos de estudiantes, investigadores y tecnólogos<sup>37</sup>.

Pero ya no es solo EE. UU., concretamente la Unión Europea empieza a preocuparse por el efecto que puede tener la puesta en marcha por China de unos programas agresivos para capturar talento en gran número (p. ej. para estudiantes de máster o doctorado en áreas específicas) en otros países, por ejemplo, en África, ofreciendo condiciones laborales y salariales que no es posible encontrar en los países de origen.

El posicionamiento a largo plazo que esa estrategia de recursos humanos especializados puede tener en el posicionamiento para otras actividades industriales, de infraestructuras o de adquisiciones de productos o servicios es muy relevante. También lo puede ser en la consideración de China como un socio estratégico que no exige un cambio de régimen político (p. ej. adoptar un sistema democrático pleno) y respeto a derechos humanos como sí sucede en el caso de la Unión Europea.

La dimensión científica de la iniciativa *Belt and Road* se ha desarrollado en tres vías paralelas. En China, la Academia de Ciencias (CAS) ha creado cinco centros de excelencia en sus institutos, incorporando a los doscientos estudiantes de doctorado que la Academia forma cada año. Fuera de China, ha abierto nueve centros de investigación y formación en África, Asia Central, Sudamérica y Asia meridional, a menudo, cofinanciados por los países anfitriones. Finalmente, existen cientos de colaboraciones individuales entre el CAS y universidades de China en cualquier lugar del mundo.

La figura 29, extraída de un informe del Centro Común de Investigación de la Unión Europea, describe la fortaleza relativa de China, Europa y EE. UU. en las principales áreas tecnológicas (Preziosi *et al.*, 2019). Sobresale el caso de comunicaciones digitales en el que China ha superado a Europa y EE. UU. Tampoco se encuentra mal posicionada en el caso de óptica, semiconductores, tecnología audiovisual, telecomunicaciones, tecnología de computadores y nanotecnología. Todas ellas son áreas tecnológicas punteras que se refuerzan mutuamente.

En contraposición, se ha aducido clásicamente que el incremento de publicaciones científicas de China no se ha visto acompañado

<sup>37</sup> [https://ec.europa.eu/epsc/sites/epsc/files/epsc\\_strategic\\_note\\_issue30\\_strategic\\_autonomy.pdf](https://ec.europa.eu/epsc/sites/epsc/files/epsc_strategic_note_issue30_strategic_autonomy.pdf)

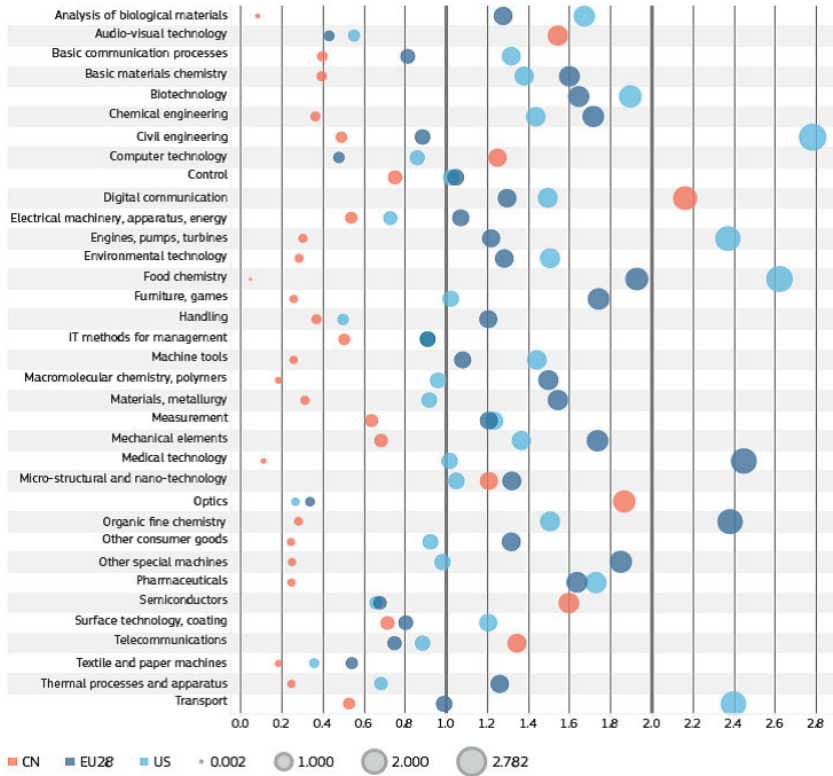


Figura 29. Fortaleza relativa revelada en áreas tecnológicas de China, Europa y EE. UU. (fuente: Preziosi et al., 2019).

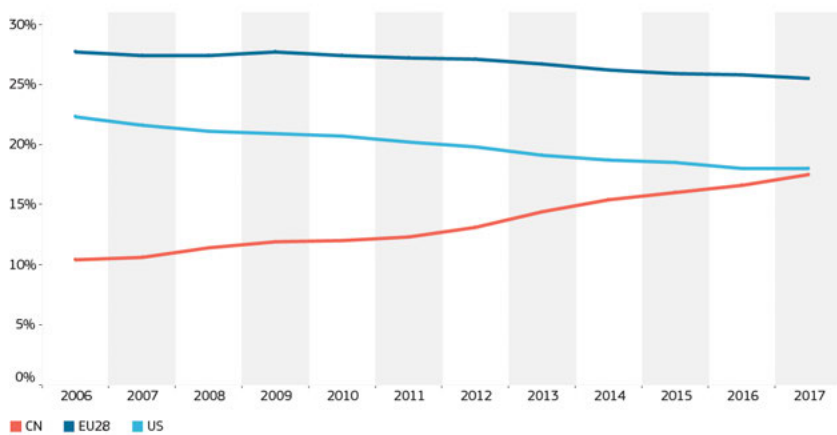
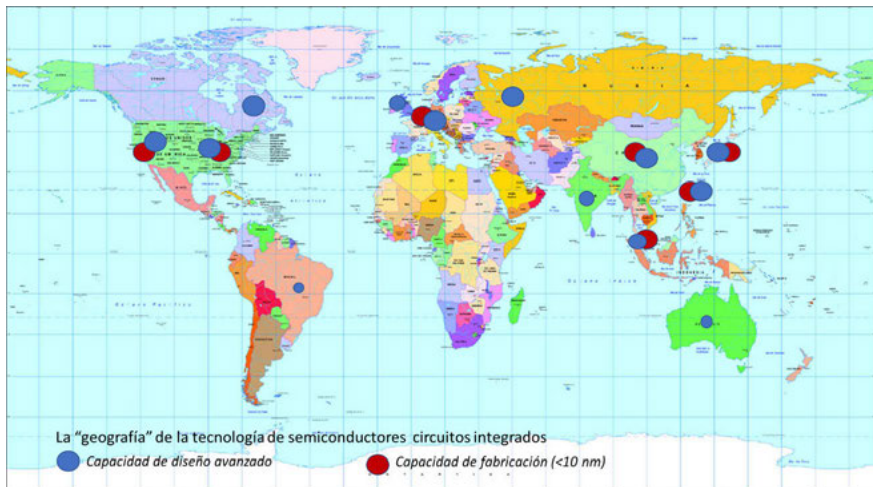


Figura 30. Evolución de la calidad de las publicaciones científicas de China, EU28 y US en el periodo 2006-2017 medida como 10 % más citado (fuente: Preziosi et al., 2019).

de una mejora en la calidad de estas publicaciones (medida por el número de citas). Como se puede ver en la figura 30 (Preziosi *et al.*, 2019) ya no es posible mantener esa consideración: en el año 2017 la calidad científica de China, medida como el 10 % de las publicaciones más citadas, ha alcanzado a EE. UU.

El esfuerzo en I+D hace también que las capacidades en una determinada tecnología relevante se concentren en determinados lugares. Con ello aparece una geografía tecnológica específica ligada a la capacidad de diseño o fabricación de productos y sistemas como se puede ver en la figura 31 para el caso de las tecnologías de fabricación de circuitos integrados (elaboración propia).



**Figura 31. Geografía de la capacidad de fabricación y diseño de circuitos integrados (fuente: elaboración propia).**

Estas geografías tecnológicas evolucionan rápidamente, mucho más rápidamente que lo hacen las fronteras físicas. Anticipar estas capacidades supone un elemento clave para identificar socios tecnológicos potenciales, definir alianzas estratégicas y establecer medidas para la reducción de la dependencia con la tecnología en cuestión o fortalecimiento de la interdependencia entre tecnologías complementarias (aspecto que se analizará en detalle en el capítulo 3).

La reacción de los países occidentales ante un avance mucho más rápido de las capacidades y logros en I+D de China del que se esperaba hace solo diez años ha sido doble: de preocupación, intentando limitar o frenar el desarrollo en algunos ámbitos científicos y tecnológicos clave con medidas proteccionistas o de

control de acceso a la tecnología, en muchos casos en tecnologías duales, e incrementando el esfuerzo de I+D en algunas tecnologías emergentes claves con el fin de asegurar el liderazgo en el desarrollo de las mismas.

Algunos ejemplos de las primeras batallas de la actual guerra tecnológica (Leung, 2019), que corresponden a las primera de las reacciones indicadas, pueden ser la prohibición de suministro de componentes de EE. UU. a ZTE por siete años y en una dimensión diferente la detención en Canadá de la vicepresidenta de Huawei Meng Wanzhou junto a las prohibiciones de compra de productos de la empresa en EE. UU., Canadá, Corea del Sur y Alemania a los que probablemente se sumarán otros países si la situación de guerra comercial se prolonga en el tiempo.

Ejemplos de la segunda reacción están aún por ver cómo culminan. Los Gobiernos de la Unión Europea han actuado con cautela a propuestas de incrementos significativos de los recursos para I+D e Innovación<sup>38</sup>. Esta resistencia se intuye de las discusiones de las perspectivas financieras multianuales de la Unión Europea (CE, 2019) y las dificultades subyacentes para aceptar un programa de investigación de 100.000 millones de euros, Horizonte Europa (COM, 2018) como el que se ha propuesto para el periodo 2021-2027<sup>39</sup>. Pesan mucho en las discusiones el deseo de preservar los fondos estructurales y no reducir significativamente la partida dedicada a la política agrícola común que han sido capítulos fundamentales del presupuesto de la Unión, es decir, mantener el *statu quo* a corto plazo.

Si el volumen total del presupuesto comunitario en relación con el PIB de la Unión Europea tampoco se quiere incrementar, la propuesta es de alrededor del 1,1 % de la renta total europea, el margen de maniobra de la Unión Europea es escaso. No es solo un problema de analizar la variación con el presupuesto de la Unión Europea a lo largo del tiempo, sino de hacerlo comparativamente en relación con el esfuerzo que hacen otros países o regiones del mundo con los que la Unión Europea compete.

En definitiva, progresivamente todos los países desarrollados consideran la política tecnológica como un arma fundamental estrechamente ligada a la geopolítica del país. El siguiente paso es

---

<sup>38</sup> El volumen propuesto por la Comisión Europea para 2021-2027 es del 1,1 % del PIB de la Unión Europea (menor que el 1,13 % del periodo actual 2014-2020).

<sup>39</sup> La propuesta presentada por la presidencia finlandesa del Consejo de la Unión Europea en diciembre de 2019 rebaja esa cifra en uso 10.000 millones de euros.

poder determinar cuál es la relevancia estratégica de una tecnología determinada.

### Modelo conceptual para reflexionar sobre la relevancia estratégica de la tecnología

Hasta cierto punto, la consideración de una tecnología concreta como relevante desde una perspectiva estratégica es un concepto subjetivo, confirmado por datos, previsiones, y decisiones políticas y económicas, tal y como se ha presentado de una manera informal en las páginas precedentes.

Esta sección pretende analizar en mayor detalle estos factores de relevancia estratégica en el nivel gubernamental (es decir, aquellos factores que afecten al posicionamiento de los Estados frente a las tecnologías y sus consecuencias)<sup>40</sup>, desde un conjunto de dimensiones complementarias que permitan razonar sobre la relevancia estratégica con lo que denominaremos el «perfil de relevancia estratégica de una tecnología» determinada en un año concreto.

Las ocho dimensiones estratégicas consideradas (la selección es subjetiva y alguna otra podría añadirse para fines específicos)<sup>41</sup> son las siguientes:

#### *1. Relevancia sobre la pérdida o ganancia de influencia internacional.*

Con esta dimensión se quiere valorar que la influencia en el mundo (o en una amplia región de este) de un determinado país está condicionada por su capacidad de control del desarrollo y uso de determinadas tecnologías clave, porque estas influyen en las decisiones que, debido a ello, pueden adoptar otros países, así como su capacidad para desarrollar un sector industrial pujante basado en tecnologías innovadoras.

<sup>40</sup> Obviamente, también afecta al posicionamiento de las empresas, muchas de ellas multinacionales con presencia e influencia en diversos países, y a los ciudadanos, en general. No obstante, el punto de vista que adoptaremos es el de los Estados a pesar de que tanto empresas como ciudadanos influyen en su posicionamiento.

<sup>41</sup> Una dimensión específica no contemplada que, con seguridad, va a adquirir más importancia en el futuro es el impacto que tiene la tecnología sobre el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) o la contribución a su cumplimiento. No obstante, se ha preferido no considerarla en este momento, puesto que aún no incide demasiado en la toma de decisiones tecnológicas estratégicas y algunas de las tecnologías afectadas se han tratado en epígrafes como el de energía.

Estas decisiones pueden implicar tanto el incremento del esfuerzo propio sobre la tecnología considerada (p. ej. incrementando el gasto en I+D y atrayendo talento para mantener o conseguir el liderazgo en las mismas) como reforzando las alianzas con otros países para asegurar una influencia conjunta en el ritmo de desarrollo, derivada del uso de soluciones o normas técnicas concretas, o modificando fuertemente la legislación para atraer capital riesgo internacional o facilitar/impedir el uso de determinadas tecnologías (al menos, durante un cierto periodo de tiempo) a terceros países.

2. *Relevancia en el equilibrio o desequilibrio resultante sobre la superioridad militar.*

La historia ha demostrado la relevancia de la tecnología empleada por los ejércitos para asegurar la superioridad militar al ser capaces de desarrollar sistemas de armas más eficientes o poderosos frente a lo que disponen los potenciales enemigos.

En situaciones de *status quo* la rápida incorporación de una tecnología disruptiva puede hacer bascular el equilibrio hacia quien posee su control (el caso del armamento nuclear es un ejemplo paradigmático, aunque existen muchos otros). El reequilibrio se recompone cuando la tecnología en cuestión es incorporada o adoptada por otros muchos países (al menos por las potencias competidoras directas) o se encuentran soluciones tecnológicas que mitiguen su impacto (p. ej. drones y sistemas antidrones o misiles y sistemas antimisiles) dentro de las conocidas carreras armamentísticas difíciles de contener.

3. *Relevancia derivada de la dualidad civil-militar del uso de la tecnología.*

El desarrollo de tecnologías disruptivas puede implicar volúmenes de inversión que solo se justifica en sectores de aplicación civil por la existencia (real o potencial) de un mercado global muy amplio que permita recuperar las inversiones, o cuando se trate de sectores militares por la existencia de conflictos bélicas (o probabilidad de que sucedan) que obligue a las naciones implicadas a desarrollar un esfuerzo defensivo muy relevante con independencia de su racionalidad económica.

La solución a este dilema se ha abordado desde la visión de tecnologías duales; es decir, aquellas que permiten un uso en ambos dominios especializando, si fuera necesario, algunos de sus componentes básicos al sector que corresponda. Este es el proceso habitual de partir en el campo de las TIC de tecnologías desarrolladas inicialmente para aplicaciones civiles y que, si se requiere, se militarizan algunos de sus componentes para asegurar que cumplen las especificaciones técnicas necesarias (p. ej. normas MIL) para ser utilizados en aplicaciones militares.

4. *Relevancia derivada de la necesidad de alianzas tecnológicas estratégicas.*

La combinación de modelos de innovación abierta con la necesidad de acelerar los ritmos de desarrollo de tecnologías relevantes para disponer de resultados maduros en periodos cada vez más cortos (influido, a su vez, por la fuerte reducción de los ciclos de vida de los productos tecnológicos) ha obligado a la creación de alianzas tecnológicas estratégicas entre entidades y países. En el seno de estas alianzas se acepta el intercambio de información y la cooperación en el desarrollo de tecnologías o sistemas tecnológicos muy avanzados cuyo conocimiento o inversiones requiere la participación de socios de diversos países.

Las alianzas estratégicas no se generan únicamente entre empresas en el contexto de ecosistemas de innovación internacionales, sino que obligan a los Gobiernos a apoyarlas forzando el posicionamiento simultáneo de Gobiernos aliados y la participación de centros públicos (o financiados con fondos públicos). Esta situación es más común en el caso de tecnologías duales o cuando se trata del desarrollo de sistemas de armas, pero también sucede en aquellas otras con una fuerte implicación del sector industrial en el PIB del país.

5. *Relevancia sobre la aceleración o ralentización del desarrollo económico.*

Esta dimensión refleja la relevancia que tiene el control del conocimiento y la tasa de adopción de tecnologías esenciales como base para el desarrollo de productos y servicios avanzados que se impongan en los mercados y el grado de su extensión internacional mediante, por ejemplo, prohibi-

ciones de acceso o aranceles diferenciales sobre determinados productos<sup>42</sup>.

Si el acceso al conocimiento tecnológico no es posible o no está garantizado, el desarrollo económico se verá limitado al tener que depender de tecnologías menos competitivas en términos de prestaciones, lo que, a su vez, será menos atractivo para las inversiones internacionales, frenará la creación de empresas competitivas y no podrá ofrecer a recursos humanos especializados las mismas oportunidades de desarrollo de su carrera profesional con el riesgo de una salida a otros países (esta es la base del fenómeno conocido como *brain drain* que sufren muchos países).

6. *Relevancia sobre la seguridad de provisión de materias primas o componentes básicos para productos tecnológicos.*

Si no se dispone de suministros adecuados esenciales para la población, a tiempo y bajo precios controlados, el riesgo de estrangular económicamente a sectores clave conlleva el riesgo de reducir la calidad de los servicios públicos dependientes de ellos e, incluso, puede generar desestabilizaciones sociales o políticas.

La capacidad de las grandes potencias de actuar con políticas comerciales agresivas, como la modificación unilateral de los aranceles aplicados a tecnologías o componentes tecnológicos (p. ej. para exportación de equipamiento avanzado), se ha empleado como arma para imponer determinados modelos económicos o cambiar comportamientos considerados lesivos. Ante ellos surgen reacciones en forma de acuerdos internacionales bilaterales o multilaterales, en los que todos los países intentan asegurar los suministros tecnológicos clave (más allá de materias primas no procesadas que no es el objeto de este documento) mediante una diversificación de proveedores.

7. *Relevancia en la generación o pérdida de empleo y flujos de recursos humanos.*

Los procesos de transición tecnológicos son siempre motivo de transformación del ecosistema laboral (en un sector, país o región) porque la adopción de tecnologías disruptivas no

---

<sup>42</sup> Téngase en cuenta que una ralentización derivada de un cambio en los aranceles o un embargo tecnológico de un solo año puede significar un porcentaje relevante en las cuotas de mercado mundiales de algún tipo de producto.

es un proceso neutro en su impacto sobre el empleo. La capacidad de generación neta de empleo (descontando las pérdidas de empleo en actividades obsoletas que desaparecen) ha sido siempre muy discutible y últimamente ha adquirido una gran importancia en el caso de la automatización y robótica.

Esta relevancia dificultará o facilitará la generación de empleo de calidad y promoverá, si localmente no pueden cubrirse las necesidades de mano de obra especializada, la puesta en marcha de políticas que favorezcan las migraciones de personal de alto nivel formativo o acelerarán fenómenos de deslocalización industrial. El caso de los déficits anunciados en personas especializadas en temas de inteligencia artificial, *big data* o 5G es un ejemplo en este sentido.

#### 8. *Relevancia en el flujo de capitales e inversiones.*

En un mundo globalizado como el actual los flujos de capitales destinados a inversiones tecnológicas se han incrementado fuertemente buscando oportunidades en países que ofrezcan mejores condiciones para el desarrollo de esas tecnologías (posiblemente, con «coinversiones» apoyadas por el sistema público cuando estas tecnologías se hayan considerado prioritarias).

Un caso especial de esta dimensión estratégica es el movimiento de fondos de capital riesgo que alimentan, la creación y crecimiento de empresas de base tecnológica ligadas a determinadas tecnologías disruptivas que, a medio plazo, reconfiguran la estructura de los sectores empresariales. Actualmente existe una concentración muy intensa de las inversiones de capital riesgo en un conjunto muy reducido de tecnologías emergentes.

Estas dimensiones de relevancia estratégica no se manifiestan de manera aislada al aplicarlas a una tecnología en concreto, en la práctica se refuerzan mutuamente. Lo que se pretende con la elaboración de los perfiles de relevancia es disponer de una herramienta conceptual que ayude al análisis estratégico y que permita hacerlo de forma sistemática.

Se ha supuesto que las dimensiones identificadas son independientes. No obstante, pueden agruparse en dos grandes grupos en función de su contribución global. Esta agrupación es como sigue:

- Influencia de la tecnología. Constituida por las dimensiones de influencia internacional, superioridad militar, dualidad civil-militar y alianzas tecnológicas.
- Fortaleza en la tecnología. Constituida por las dimensiones de desarrollo económico, flujo de capitales e inversiones, empleo y recursos humanos y seguridad en la provisión de componentes.

Con el fin de analizar su efecto de forma conjunta en una tecnología determinada se propone el uso de una representación gráfica, tal y como se indica en la figura 32.

Para cada una de las dimensiones identificadas se asociará de manera cualitativa un valor (entre un valor mínimo indicando que esa dimensión no tiene relevancia y un valor máximo cuando la relevancia condiciona totalmente la evolución de la tecnología). La relevancia estratégica de la tecnología se visualiza de manera subjetiva por el área cubierta por las dimensiones en el perfil de relevancia.

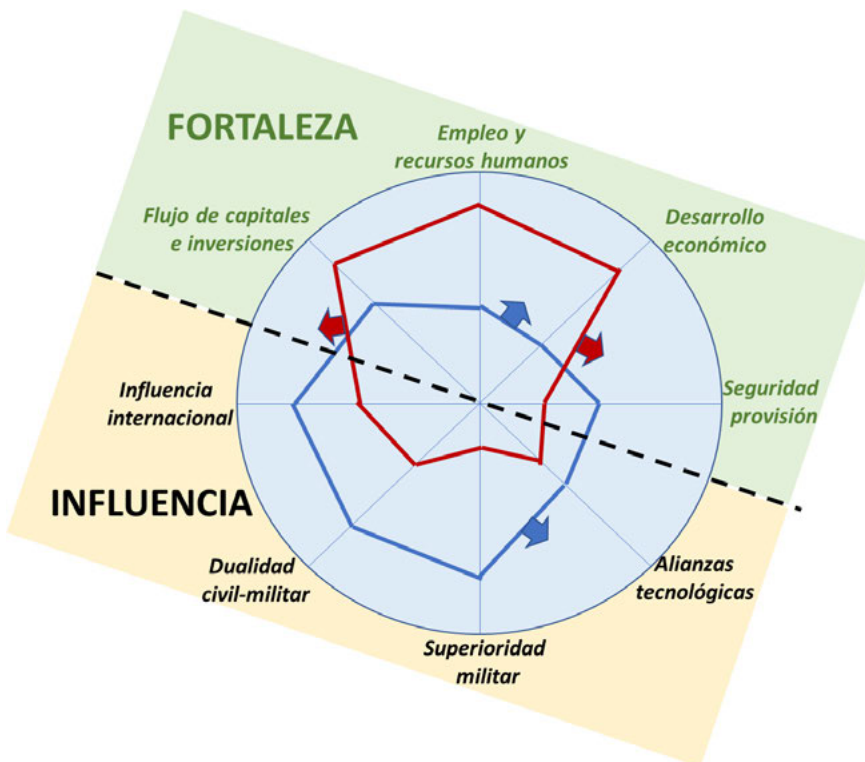


Figura 32. Perfil de relevancia estratégica de una tecnología (fuente: elaboración propia).

En la figura 32 se han representado dos tecnologías arbitrarias (T1 en rojo y T2 en azul), agrupando las dimensiones por su relación con la fortaleza y la influencia de la tecnología. Como se puede ver en la figura, el perfil de su relevancia estratégica sería muy diferente, tanto de forma global como en el análisis de cada una de las dimensiones.

En el caso de T1 (rojo) se trata de una tecnología emergente con gran relevancia estratégica basada en su fortaleza, pero su influencia es reducida; en el caso de T2 (azul) se trata de una tecnología de gran influencia con relevancia estratégica militar, aunque no depende de ella ni el crecimiento económico, ni la creación de empleo, ni los flujos de capitales ni la creación de grandes alianzas estratégicas.

Se ha querido representar (con flechas en la figura 32) cómo algunas dimensiones variarán en el tiempo con la madurez de la tecnología. De hecho, en algunas tecnologías en proceso de transformación muy intenso que, en la presente monografía, se ha preferido presentar el perfil de relevancia actual (2020) y el previsible en diez años (2030) que es el periodo típico en el que se puede estimar mejor la evolución de una tecnología. Conceptualmente, esta relevancia puede incrementarse o disminuir.

No se pretende en este documento efectuar un análisis cuantitativo del perfil de relevancia estratégica de todas las tecnologías seleccionadas; ello requeriría contar, no únicamente con la opinión del autor, sino, al menos, con la de un conjunto de expertos con conocimientos multidisciplinarios en cada una de ellas, que permitieran valorar y dar pesos a este análisis, lo que no es posible efectuar en este trabajo individual. El objetivo es servir de base para apoyar un proceso de reflexión estratégica.

El siguiente capítulo analiza la situación y el perfil de relevancia estratégica para un conjunto de tecnologías y sistemas tecnológicos concretos. En cada caso, tras una sucinta descripción de las bases científicas y tecnológicas, se aborda la situación de madurez de la tecnología, la estructura y evolución del mercado y los posicionamientos de las grandes potencias. En algunos casos se han incluido ejemplos ilustrativos del uso desde el punto de vista de tecnologías duales.

Con ello se ha obtenido el perfil de relevancia estratégica para cada tecnología y, a partir de él, un conjunto de elementos de reflexión para la definición de una estrategia tecnológica asociada.