

Capítulo tercero

Interdependencia tecnológica y su impacto estratégico

Gonzalo León Serrano

«Solamente aquel que construye el futuro tiene derecho a juzgar el pasado».

Friedrich Nietzsche.

Interdependencia tecnológica

La elaboración de escenarios¹ futuros del devenir de nuestra civilización y de la evolución de determinados países en particular no es sencilla, cuando intervienen miles de variables, y está sometido, además, a la propia volubilidad de las decisiones del ser humano y la naturaleza. Lo que es seguro, no obstante, es que el mundo en la próxima década no va a ser igual que el actual (Santayana, 2019).

Como se ha analizado en los capítulos precedentes, el desarrollo de tecnologías emergentes con relevancia estratégica y las decisiones adoptadas por Gobiernos y grandes instituciones en torno a ellas provoca y provocará cambios sustanciales en escenarios

¹ Un escenario es una herramienta de análisis político que describe un posible conjunto de futuras condiciones; las más útiles son aquellas en las que se analiza la evolución temporal de las variables relevantes de cada escenario (Brandao, 2006).

evolutivos a medio y largo plazo que afectan a la relación entre las naciones y su influencia global; la construcción y análisis de escenarios se convierte así en una herramienta clave que debemos tomar en cuenta para conformar el futuro y anticipar algunas de sus consecuencias.

Más concretamente, lograr la supremacía de un país o grupo de países sobre otro u otros, en abierta competencia con los apetitos geopolíticos, conlleva un enfrentamiento recurrente en la historia entre países y zonas geográficas. De nuevo, en el comienzo del siglo XXI, se ha acelerado ese enfrentamiento, por ahora incruento, por un concepto extendido de supremacía que es conjunta y simultáneamente ideológico, económico, tecnológico, industrial y comercial, y que, en último término, también afecta en el presente y en el futuro a la estabilidad y seguridad nacional y mundial. Entrever la posible evolución de esos enfrentamientos multidimensionales se convierte en un elemento decisivo para definir estrategias propias y hacerlo a tiempo para que produzcan los efectos deseados.

Los países son conscientes de lo que supone depender de otros para su propio desarrollo y estabilidad a medio y largo plazo². No se limita únicamente a la necesidad de disponer o asegurar el control físico de un territorio mediante alianzas bilaterales o multilaterales, el suministro de materias primas, de alimentos, de energía... o de turistas para el funcionamiento de las instituciones y entidades públicas y privadas; hoy día se trata también de disponer y asegurar la independencia (o tener el menor nivel posible de dependencia) y maximizar la interdependencia en la provisión, acceso al conocimiento y uso de nuevas tecnologías que permita a entidades nacionales (generalmente, de carácter multinacional) dominar los mercados mundiales, influir en la población, y encauzar mejor su futuro³.

² El concepto de «dependencia» es muy general: relación entre condiciones, eventos o tareas tales que una no puede comenzar o completarse hasta que una o más condiciones, eventos o tareas diferentes hayan ocurrido, comenzado o completado (<http://www.businessdictionary.com/definition/dependency.html>).

³ Esta sección no aborda el tema de la dependencia tecnológica en el ámbito individual o colectivo cuando se entiende como la excesiva (¿perniciosa?) influencia de la tecnología en la evolución de los comportamientos (p. ej. derivado del uso abusivo de teléfonos móviles u otros dispositivos en niños o adolescentes). Este tipo de dependencia tecnológica genera problemas en la sociedad, incluso comportamientos de carácter patológico, pero es una dimensión diferente de la que se pretende abordar.

El análisis de las interdependencias tecnológicas, al menos en aquellas en las que se producen efectos relevantes en la estructura del tejido industrial y en la evolución del PIB nacional (en el contexto de un país o en el de una entidad supranacional como la Unión Europea) ha adquirido una importancia decisiva para la elaboración de escenarios futuros. Este es el punto de vista adoptado en este capítulo.

El concepto de dependencia tecnológica aplicada a un país se ha aplicado históricamente al caso en el que la principal fuente de provisión de una tecnología, ya sean componentes básicos de la misma, productos o servicios tecnológicos basados en ella, conocimiento ligado a intangibles relacionados (p. ej. patentes, registros de *software* y licencias, o saber-hacer), o la disponibilidad de recursos humanos especializados en esa tecnología, procede del exterior. Muchos países presentan esa situación no en una única tecnología sino en un conjunto de ellas, relevantes para el funcionamiento de la sociedad. Si su papel no puede ser el de proveedor de la tecnología, si su acceso al conocimiento es limitado, se convierte en mero usuario.

La otra cara de la moneda es el concepto de soberanía tecnológica, es decir, la capacidad de un país o grupo de países de disponer de la capacidad suficiente para el diseño y fabricación competitiva (a precios y prestaciones iguales o superiores a los de resto de países proveedores) de productos y servicios basados en tecnologías emergentes. En un contexto de alianzas estratégicas, esta situación se debe analizar desde el punto de vista de soberanía tecnológica global, aunque existan múltiples interdependencias sobre tecnologías individuales.

Hace mucho tiempo, posiblemente desde mediados del siglo XX, que la autarquía tecnológica no es factible ni deseable dada la rápida evolución de la tecnología; mucho menos para las tecnologías emergentes analizadas en esta monografía. Ha sido, sin embargo, un objetivo perseguido a lo largo del tiempo por todos los países reducir la brecha tecnológica⁴ que les separa de otros en algunas áreas consideradas estratégicas, poniendo en marcha programas y recursos propios.

⁴ La teoría de la «brecha tecnológica» es un modelo desarrollado por M. V. Posner en 1961, que describe la ventaja disfrutada por el país que introduce un nuevo producto en el mercado.

La brecha tecnológica (*technology gap*) es entendida como el tiempo que transcurre entre que los nuevos productos son importados de mercados externos y los sustitutos creados por productores domésticos. Una definición más precisa de la brecha tecnológica es la siguiente: «La presencia en un país de una tecnología que otros países no tienen, por lo que puede producir y exportar un bien cuyo coste podría ser más alto que en el exterior».

www.investorwords.com/17791/technology_gap.html

La dependencia tecnológica puede tener un foco único o múltiple. El primero de los casos (foco único) es aquel en el que la tecnología necesaria procede de un único país, lo que puede tener consecuencias más graves derivadas de la menor capacidad de decisión o del riesgo de desabastecimiento que el segundo caso que, en principio, permite una diversificación de fuentes de provisión tecnológica con la posibilidad de tomar decisiones de provisión alternativas⁵.

Dicho de otra manera, cuando un país importa una tecnología desde un único país la dependencia no solo es temática (en relación con una tecnología o dominio tecnológico determinado), sino también geográfica y política con respecto al país del que importa⁶. Hoy en día es necesario superar el clásico planteamiento general del análisis de dependencia tecnológica ligada a la dominación tecnológica, tema habitual de la discusión ideológica en el contexto de los procesos de relación metrópoli-colonia a mediados del siglo XX. Se debe enmarcar en el concepto de interdependencia tecnológica.

Clásicamente, los estudios de «dependencia tecnológica» han estado ligados a análisis sociopolíticos en el desarrollo económico del tercer mundo (muchas veces, ligado a la relación entre antiguas colonias y las potencias colonizadoras correspondientes). No es extraño, por tanto, ligar la dependencia tecnológica a la dominación tecnológica adoptando un punto de vista muy crítico tal y como expresa Ruiz (2019): «La teoría de la DT nos hace ver, con un enfoque crítico, que la tecnología no es solo un producto del quehacer científico neutral, sino,

⁵ Este concepto es una extensión de la dependencia de materias primas (p. ej. petróleo).

⁶ Se puede argumentar que no necesariamente se trata de una dependencia de un país (con las connotaciones de Gobierno que implica), sino que también puede proceder de un gran grupo empresarial multinacional que controla el mercado mundial con una cuota elevada.

principalmente, un elemento estratégico de poder que han conquistado los países desarrollados, no con la intención de favorecer, ayudar o cooperar con los subdesarrollados... al contrario, se utiliza para someterlos y sacar ventajas económicas, políticas y militares, que puedan ser aprovechadas en determinados momentos».

La interdependencia se basa en la idea de que el diseño de sistemas tecnológicos muy complejos, todos ellos multitecnológicos, implica el dominio e integración de múltiples tecnologías avanzadas que no están necesariamente al alcance de las entidades existentes en un único país, ni con el nivel de conocimiento e inversiones necesarias en el momento en que se requieran. Dado que, en la actualidad, esta situación ocurre en todos los dominios tecnológicos (recuérdese la figura 169), la situación actual puede calificarse de interdependencia tecnológica global.

La interdependencia tecnológica conlleva dos tipos de consecuencias estratégicas:

- La necesidad de llegar a acuerdos o alianzas a nivel internacional para colaborar en el desarrollo de tecnologías emergentes que permitan disponer de derechos suficientes para asegurar el acceso a los conocimientos necesarios para el desarrollo de productos y servicios propios y contribuir al desarrollo. Los casos de la energía de fusión (ITER) o de navegación por satélite (Galileo) presentados en el capítulo anterior son ejemplos de contribuciones monetarias y en especie (recursos humanos e instalaciones) aportados en el marco de acuerdos internacionales.
- La existencia de acuerdos para el acceso recíproco a tecnologías de interés mediante políticas abiertas de intercambios comerciales. Este es justamente el tipo de contexto que llevó a la creación de un mercado único europeo con el desmantelamiento progresivo de aranceles y cupos de importación/exportación de productos entre los Estados miembros. Ahora este modelo se extiende al de componentes tecnológicos y el conocimiento asociado.

El análisis de este capítulo se limitará a analizar las consecuencias de la interdependencia tecnológica, focalizada en las tecnologías emergentes revisadas en capítulos anteriores y las actuaciones que sería necesario llevar a cabo para poder reducirla o contrapearla, buscando que la capacidad tecnológica en un subconjunto

de las tecnologías emergentes necesarias se sitúe en el mayor nivel competitivo posible.

Este proceso ha adquirido una gran relevancia política en la Unión Europea, cuyas normas expresadas en el Tratado de Lisboa (TFUE, 2010)⁷ están basadas en un mercado único en el que los intercambios no gravados con aranceles de bienes y servicios con otros países miembros constituía la base del desarrollo de la Unión; de ese concepto se derivan unas reglas de la competencia en las que las ayudas estatales a determinados sectores (generalmente para beneficiar a «campeones nacionales», grandes empresas públicas o que lo fueron en su momento) no están permitidas con el fin de evitar ventajas competitivas y distorsión de un mercado único integrado.

Este marco empieza a discutirse de nuevo en el seno de la Unión Europea, no solo en el ámbito de las ayudas a la I+D, sino en el contexto más amplio de apoyo a proyectos tecnológicos esenciales para mantener el nivel competitivo fuera del marco de la Unión Europea. En este sentido, la Unión deberá plantearse en el nuevo periodo con la nueva Comisión Europea y las perspectivas financieras 2021-2027 la forma de conseguir el nivel máximo posible de soberanía tecnológica en algunos dominios, y saber crear y aprovechar situaciones de interdependencia en otros.

Como elemento de partida es necesario indicar que, en una sociedad globalizada y tecnificada como la actual, conseguir una competitividad sostenible en el tiempo dependerá de la capacidad de generar conocimiento científico y tecnológico, convertirlo en productos y servicios avanzados, y favorecer su uso consciente y responsable en la sociedad. Sin asegurar el acceso al conocimiento de tecnologías emergentes, no será posible ni desarrollar productos avanzados, ni atraer, ni retener recursos humanos capacitados, ni favorecer inversiones procedentes del exterior que, en conjunto, permitan alcanzar niveles de competitividad adecuados.

Actualmente, se ha prestado atención a diversos indicadores que permitan analizar la presencia global de un país en el mundo (un término próximo al de «influencia»). Indicadores conocidos como los empleados por el Real Instituto Elcano (RIE, 2018) no prestan, sin embargo, demasiada atención explícita a la tecnología como factor de presencia global, aunque han aparecido recientemente propuestas para incorporar otros adicionales en esa evaluación global (Álvarez *et al.*, 2019).

⁷ <https://www.boe.es/doue/2010/083/Z00047-00199.pdf>

Tomando el informe de presencia global del Real Instituto Elcano de 2018 (RIE, 2018), los veinte países con un mayor índice de presencia global son los que aparecen en la figura 170⁸. No es extraño ver a EE. UU. y China ocupando las dos primeras posiciones (España en el citado informe ocupa el puesto undécimo), pero reflejando también una clara supremacía de EE. UU. Es significativo que dos países emergentes de Asia, Corea del Sur y Singapur, también aparecen entre los veinte primeros; síntoma de la mayor presencia global de Asia en el mundo y el progresivo basculamiento hacia esa parte del mundo.

Dentro de los indicadores que conforman el Índice del Real Instituto Elcano, únicamente dos de ellos pueden relacionarse con la estrategia tecnológica: el denominado de «tecnología», midiendo el número de solicitudes de patentes relacionadas entre sí depositadas en uno o más países extranjeros para proteger la misma invención (lo que se conoce como extensiones internacionales), y el de «ciencia», basadas en el número de artículos, notas y revisiones publicadas en todos los ámbitos. En mi opinión, este *ranking* no es suficiente para abarcar el grado en el que un determinado país depende de la tecnología para asegurar su posicionamiento mundial y poder abordar sus consecuencias adoptando las medidas políticas y socioeconómicas que corresponda.



Figura 170. Ranking de presencia global en 2017 (fuente: RIE, 2018).

⁸ El índice global considera aspectos militares, económicos o de presencia «blanda» (cultural, etcétera).

La agregación del nivel de dependencia existente en un momento dado para un conjunto de tecnologías clave (ya sean tecnologías horizontales como las TIC, o aquellas otras focalizadas en ciertos sectores fundamentales de la economía del país) permite obtener el grado de dependencia tecnológica global de un país. Este es un concepto cuyo valor evoluciona en el tiempo (ya sea de forma positiva o negativa) por una triple vía:

- Adquisición paulatina de capacidades propias en tecnologías clave que permitan sustituir importaciones tecnológicas del exterior, reduciendo el grado de dependencia de las mismas; consiguiendo, incluso, capacidad de exportación a otros países.
- Emergencia de nuevas tecnologías con tasas de adopción muy rápidas que, desarrolladas en otros países, no permiten disponer de conocimiento interno ni de acceso a las mismas, con la consecuencia de un incremento en el grado de dependencia durante un periodo prolongado de tiempo hasta que esos conocimientos se banalizan.
- Pérdida de relevancia de las tecnologías propias empleadas, ya sea por la obsolescencia de las mismas, por la transformación del sector o por la reducción de la demanda de las mismas en el exterior (reducción de las exportaciones de esa tecnología ya sea en forma de bienes tangibles o intangibles).
- Las probabilidades de ocurrencia de cada uno de los escenarios indicados no están predeterminadas para ningún país en concreto, dependen de factores endógenos y exógenos sobre los que, con mayor o menor intensidad, es posible actuar mediante la puesta en marcha de políticas y actuaciones concretas. Los factores identificados para tres escenarios de dependencia tecnológica, denominados arbitrariamente como «positivo» (reducción de la dependencia), «neutro» (mantenimiento de la dependencia) y «negativo» (incremento de la dependencia), son los indicados en la tabla 15 (el futuro se supone en diez años).

Factores de dependencia tecnológica	Escenarios futuros		
	Positivo	Neutro	Negativo
Recursos de investigación e innovación asignados en el ámbito nacional.	<i>Priorización en la asignación de recursos de I+D disponibles en el dominio tecnológico considerado por las agencias de financiación nacionales.</i>	<i>Mantenimiento del peso relativo actual del esfuerzo en I+D (aunque sí pueda existir un incremento en términos absolutos).</i>	<i>Reducción del peso relativo del esfuerzo en I+D sobre el dominio tecnológico considerado en comparación con otros ámbitos tecnológicos.</i>
Recursos de investigación e innovación internacionales accesibles por las entidades del país considerado.	<i>Priorización en la asignación de recursos de I+D disponibles en el dominio tecnológico considerado en programas internacionales.</i>	<i>Obtención de recursos internacionales similares a la media del país (p. ej. en los programas marco de investigación e innovación de la Unión Europea).</i>	<i>Dificultad en acceder a recursos externos por falta de competencias o equipamientos comparados con los de otros países.</i>
Recursos humanos con conocimientos especializados en la tecnología en cuestión.	<i>Incremento del número de especialistas en la tecnología considerada que sean absorbidos por el propio país.</i>	<i>Inexistencia de programas específicos para disponer de más especialistas (son las entidades públicas y privadas las que deciden en función de sus propios intereses).</i>	<i>Dificultad en atraer y retener talento científico y tecnológico al no existir programas específicos ni condiciones de mejora de la carrera profesional.</i>
Focalización del sector industrial	<i>Emergencia de nuevas empresas tecnológicas y fortalecimiento de las existentes, incluso incrementando su posición internacional.</i>	<i>Mantenimiento del peso relativo de la industria asociada a la tecnología.</i>	<i>Adquisición de empresas locales por empresas de otros países con disminución del nivel de decisión nacional.</i>
Focalización del sector académico	<i>Creación de laboratorios e infraestructuras, y el apoyo a la participación internacional competitiva con masa crítica suficiente.</i>	<i>Mantenimiento de las estructuras científicas y tecnológicas existentes.</i>	<i>Reducción o cambio de prioridades en las estructuras académicas existentes buscando áreas con mayores posibilidades de financiación.</i>

Factores de dependencia tecnológica	Escenarios futuros		
	Positivo	Neutro	Negativo
Generación de conocimiento sobre la tecnología	<i>Incremento porcentual de publicaciones científicas y patentes publicadas</i>	<i>Mantenimiento porcentual de publicaciones científicas y patentes publicadas.</i>	<i>Reducción porcentual de publicaciones científicas y patentes publicadas.</i>
Balanza de pagos tecnológicos	<i>Incremento de ventas de tecnología a otros países con mejora de la balanza de pagos.</i>	<i>Mantenimiento de la situación actual.</i>	<i>Incremento de compras de tecnología con deterioro de la balanza de pagos tecnológica.</i>

Tabla 15. Escenarios y factores de dependencia tecnológica (fuente: elaboración propia).

Algunos de los factores en cada uno de los escenarios dependen exclusivamente de decisiones adoptadas en el país (p. ej. incrementar la asignación de recursos nacionales en programas de investigación e innovación) mientras que en otros casos (p. ej. la balanza de pagos tecnológicos) se trata de factores de interdependencia afectados por el comportamiento de otros países.

La mejora de algunos de los factores indicados obliga a realizar un esfuerzo coherente con las capacidades humanas y materiales disponibles, sinérgico entre diferentes políticas complementarias y prolongado en el tiempo en el país del que se trate, así como influir en decisiones tomadas por instancias supranacionales⁹. Los factores indicados no son totalmente independientes y, generalmente, las políticas de investigación e innovación de un país alrededor de un dominio tecnológico concreto poseen interrelaciones con lo que sucede internacionalmente (para complementar o reforzar actuaciones).

Con objeto de explicar mejor el concepto de evolución de la dependencia tecnológica se ha querido representar en la figura 171 esta evolución para un caso concreto a corto (<2 años) y medio (3-5 años) plazo: la dependencia tecnológica de la Unión Europea en relación con una de las tecnologías abordadas en el capítulo 2: la computación cuántica y su posible evolución en el tiempo. Des-

⁹ Un ejemplo de este comportamiento sucede periódicamente en la negociación de un nuevo programa de marco de investigación e innovación de la Unión Europea. A la propuesta inicial de prioridades y recursos económicos de la Comisión Europea, los Estados miembros y el Parlamento responden con sus propuestas de enmienda en función de los intereses nacionales y colectivos. Es un proceso complejo que dura más de dos años.

de una situación de partida en un país o grupo de países definida arbitrariamente como de «dependencia media»¹⁰, es posible imaginar tres escenarios posibles a medio plazo: empeorar, mejorar o mantener la posición, entendiendo, obviamente, la posible existencia de situaciones intermedias.

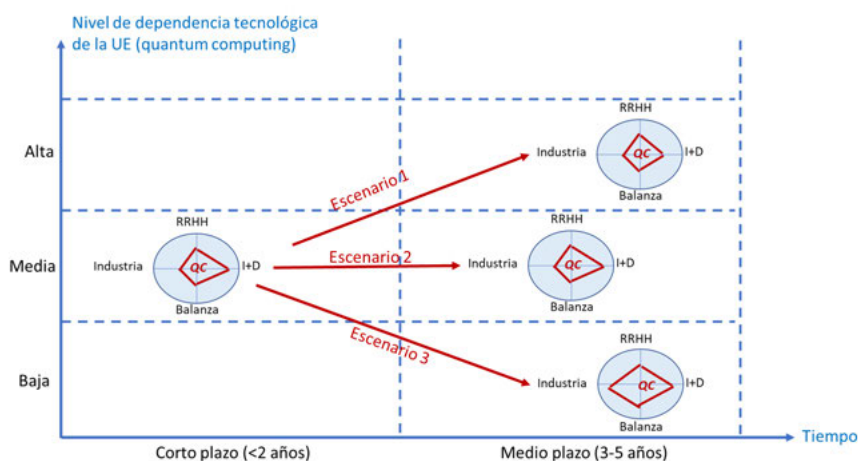


Figura 171. Escenarios de evolución temporal de escenarios de dependencia tecnológica (fuente: elaboración propia).

En entornos supranacionales, esta dependencia tecnológica no debe considerarse de forma aislada para un país en concreto en la medida en la que exista un marco de referencia político legislativo en el que el acceso al conocimiento tecnológico de los Estados participantes esté mutuamente asegurado. Un ejemplo en este sentido es el de la Unión Europea, tanto por la vía de sus políticas de investigación e innovación, como por las de industria y comercio exterior. En todos los casos apoyada con posibles modificaciones legislativas (p. ej. con la aprobación de regulaciones o directivas europeas a las que los potenciales suministradores externos deben supeditarse si desean introducir sus productos en el mercado europeo).

La unión (tecnológica) de fuerzas entre países ligados por acuerdos a largo plazo de gran alcance (ámbitos temáticos muy amplios) puede ayudar a reducir el grado de dependencia tecnológica

¹⁰ Recuérdese la discusión sobre las tecnologías cuánticas en el capítulo 2 y cómo Europa mantiene una posición privilegiada en conocimiento científico asociado, pero mucho menos en la fabricación de prototipos de estos computadores cuánticos.

conjunta, pero no lo elimina. Teóricamente, este sería el caso de la Unión Europea para la que la política de investigación e innovación se ha contemplado en el Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea (TFUE) como una política compartida, por lo que tanto la Unión, financiada a través del presupuesto comunitario, como los Estados miembros, a través de sus presupuestos nacionales, pueden actuar tanto aislada como conjuntamente¹¹.

A pesar de ello, en mi opinión, Europa ha perdido actualmente la batalla tecnológica en algunos ámbitos en los que será muy difícil que tenga un papel dominante a corto plazo en la escena mundial: los casos de desarrollo de sistemas operativos genéricos (tanto para ordenadores como para dispositivos móviles)¹², la fabricación de circuitos integrados para aplicaciones genéricas (p. ej. microprocesadores o memorias RAM), la fabricación de células solares de bajo coste, la construcción de baterías de automoción¹³, muchas aplicaciones en inteligencia artificial, etcétera, son ejemplos que demuestran esta debilidad. Ello no implica que no se puedan desarrollar en la Unión Europea sistemas avanzados, de hecho lo hace de manera recurrente en muchos sectores, pero requiere acceder a componentes y sistemas desarrollados en otras zonas geográficas.

La Comisión Europea adoptó el marco regulatorio IPCEI en 2014 para permitir a varios Estados miembros y empresas unir fuerzas en excepciones que deben ser aprobadas por la Comisión. El primer IPCEI para I+D, un proyecto de microelectrónica de 1.700 millones de euros implicando a Francia, Alemania, Reino Unido e Italia, se aprobó en diciembre de 2018. Un nuevo IPCEI para tecnologías de baterías para vehículos eléctricos promovido por Polonia y Bélgica está en discusión. Al mismo tiempo, en febrero de 2019, la Comisión Europea ha bloqueado el acuerdo de fusión entre Alstom y Siemens para crear una gran empresa europea de trenes de alta velocidad aduciendo el impacto negativo que tendría para la competencia.

<https://sciencebusiness.net/framework-programmes/news/competition-commissioner-spells-out-terms-clearing-new-industrial-rd>

¹¹ El tratado de la Unión Europea establece, además, la necesidad de que esa complementariedad se realice mediante la coordinación de políticas nacionales y comunitarias. El instrumento más efectivo para ello ha sido el recurso a la «cofinanciación» de actuaciones.

¹² Nos referimos a sistemas como Windows, Android o IOs.

¹³ Aun en el caso de que se instale en 2021, como está previsto, una megafactoría de baterías de Tesla, la tecnología no es europea.

Esta evolución de la dependencia tecnológica se ha desarrollado, además, en paralelo con una pérdida relativa del peso industrial de la Unión Europea (actualmente por debajo del 20 % del PIB de la Unión Europea) (CE, 2017) que no ha podido evitar la deslocalización industrial a países que, con costes laborales inferiores, pero con una mano de obra suficientemente preparada y políticas fiscales atractivas, han atraído la fase de fabricación de componentes o de integración de sistemas anteriormente ubicadas en Europa¹⁴. Similar situación se ha dado en EE. UU. y de ahí parte la política industrial de la actual Administración de EE. UU. de intentar retornar esa capacidad de producción al país que, en todo caso, no había perdido el control de la tecnología.

La figura 172 representa la cuota industrial en el PIB de la Unión Europea en el periodo 2007-2016 (teniendo en cuenta al Reino Unido o no). Es evidente el peso que tiene el sector manufacturero. La importancia política de la industria se manifiesta en que de ella dependen más de 36 millones de puestos de trabajo.

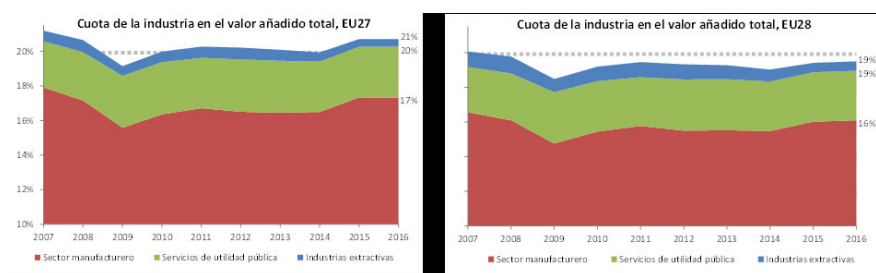


Figura 172. Evolución del peso de la industrial en la Unión Europea (fuente: CE, 2017).

Recuperar el sustrato industrial necesario para recuperar la interdependencia tecnológica o, al menos, reducir la dependencia de algunas tecnologías emergentes en proceso de desarrollo como las que se han abordado en este documento, obligará a un esfuerzo colectivo para el que los recursos puestos en juego actualmente (tanto públicos como privados) son claramente insuficientes.

¹⁴ Como ejemplo, Marruecos ha atraído a la industria del automóvil (instalación de la fábrica de Renault en la zona de Tánger y ubicación de trescientas empresas de la industria auxiliar) con decisiones como la de eliminar los impuestos en los primeros cinco años.

La Comisión Europea destina 80 millones durante los próximos tres años a la European Processor Initiative (EPI). El proyecto, coordinado por la tecnológica francesa Atos, con el apoyo de veintiséis socios en todo el continente, prevé tener lista una primera versión del chip en 2021. Será un procesador pensado para supercomputadores, grandes máquinas dedicadas a la investigación y para lanzar una versión específica para los coches autónomos del futuro, que irán equipados con potentes procesadores. Realmente, ¿conseguimos con ello la independencia tecnológica? Lamentablemente, no parece¹⁵.

<https://www.european-processor-initiative.eu/project/epi/>

Dada la rápida evolución, complejidad y acortamiento del proceso de maduración de las tecnologías emergentes, conseguir la independencia tecnológica en todas ellas por parte de un país determinado no es posible. La consecuencia es la necesidad de determinar en cuáles se quiere y se puede lograr el máximo nivel de independencia tecnológica o, al menos, reducirla, en cuáles otras será posible hacerlo con otros países en alianzas tecnológicas conjuntas y voluntad política sostenida en el tiempo (por ejemplo, en el contexto de la Unión Europea), y en cuáles otras tecnologías solo será posible asegurar su acceso mediante acuerdos estratégicos con empresas de aquellos países que las dominen.

Ni siquiera áreas geográficas muy desarrolladas como es la que contiene a los Estados miembros de la Unión Europea pueden permitirse esa independencia total o, al menos, alcanzar el nivel de conocimiento suficiente para lograrlo con otros.

Por ello, la selección de prioridades tecnológicas se convierte en un debate de interés político inmediato. ¿En qué áreas tecnológicas emergentes desea Europa mantener el liderazgo industrial a medio plazo? Recuérdese que el mantenimiento del liderazgo científico no asegura el liderazgo industrial si el ecosistema innovador alrededor de una determinada tecnología avanzada no actúa de forma integrada y sinérgica.

¹⁵ El conjunto de instrucciones (lenguaje máquina) en el que se basa el diseño de la parte principal del chip pertenece a la compañía ARM Holdings, nacida en Reino Unido (mantiene su sede allí) y líder en procesadores para móviles, ya no pertenecerá a la Unión Europea. En 2016 fue comprada por la empresa de comunicaciones japonesa Softbank. Con el uso de ARM, el nuevo procesador no será 100 % europeo y, además, aunque el diseño sea europeo las fábricas están en Taiwán y Corea (<https://www.msn.com/es-es/noticias/tecnologia/un-chip-europeo-para-la-soberanía-tecnológica/ar-AAEU0Y9>).

¿Cómo podemos mantener y desarrollar sosteniblemente un alto nivel de prosperidad pública y privada en condiciones de creciente globalización, procesos de innovación enormemente acelerados y la política industrial expansiva y proteccionista de otros países?

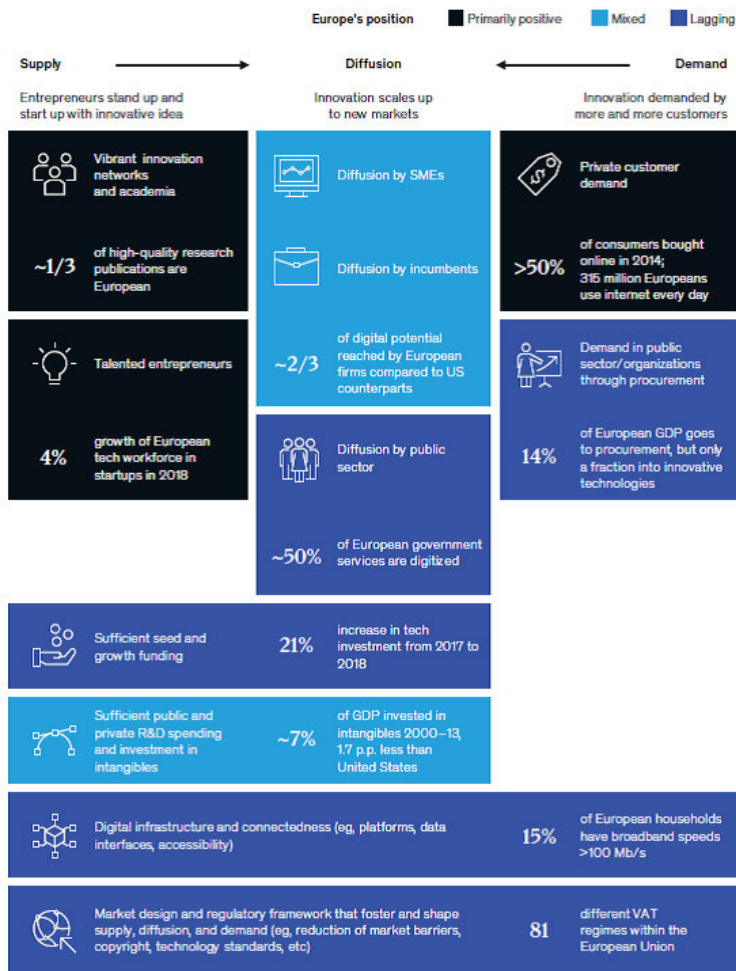
Si se perdiesen las capacidades tecnológicas y, como resultado, nuestra posición en la economía global fuese dañada sustancialmente, tendría consecuencias graves para nuestra forma de vida, para la capacidad del estado de actuar y su propio margen de maniobra en casi todas las áreas de la política, y, más pronto o más tarde, también para la legitimidad democrática de sus instituciones.

Si la plataforma digital para la conducción autónoma con inteligencia artificial para los coches del futuro procediese de EE. UU. y las baterías de Asia, Alemania y Europa perderían el 50 % del valor añadido en esta área. El impacto asociado se extendería más allá de la industria del automóvil. Este proceso, por lo tanto, concierne no solo a las empresas del sector, sino a todas las partes económicas y estatales por igual.

https://www.bmw.de/Redaktion/EN/Publikationen/Industry/national-industry-strategy-2030.pdf?__blob=publicationFile&v=9

En un documento de discusión elaborado por McKinsey (2019) se abunda en la idea de pérdida de capacidad tecnológica de Europa, aunque se señalen algunas áreas en las que Europa posee una capacidad destacada que debería preservarse en el futuro (véase figura 173): redes de cooperación en innovación con instituciones académicas, mantenimiento de un tercio de las publicaciones mundiales de alto impacto, emprendedores de talento, crecimiento de las empresas de base tecnológica, demanda privada del consumo, con más de 315 millones de europeos haciendo uso diario de Internet.

Lo que no es evidente es que esas fortalezas genéricas conduzcan a la independencia tecnológica europea en un momento en el que el desgarramiento del *Brexit* o las dificultades de proseguir con el proceso de integración ante posturas más nacionalistas en varios países, o las previsiones de estancamiento de los recursos presupuestarios de la Unión (perspectivas financieras multianuales) para el periodo 2021-2027, por citar algunos, no permiten ser muy optimistas, salvo en algún caso muy concreto, en la dirección de conseguir incrementar la relevancia tecnológica aludida.



Source: World Economic Forum; Atomico; European Commission; European Court of Auditors; McKinsey Global Institute analysis

Figura 173. Posición relativa de la Unión Europea (fuente: McKinsey 2019).

Como ejemplo de voluntad política, la Unión Europea decidió hace años disponer de un sistema global de navegación por satélite propio (Galileo) que le permitiera independizarse del GPS de EE. UU., también ligado al uso militar como se ha presentado anteriormente, y lo ha conseguido (aunque con retrasos, sobrecostos y conflictos de intereses).

Ahora, una vez que ya se dispone del sistema en fase operativa, comienza una fase diferente en el que las tecnologías de navegación (el Galileo europeo con el GPS de EE. UU. y el Baidou chino) compiten por atraer al mayor número de usuarios (públicos y

privados) en sus respectivas zonas de influencia. Es en ese punto en el que la presencia global de la Unión Europea adquiere importancia. El éxito final va a depender también de la capacidad de desarrollar aplicaciones integradas en diferentes dispositivos que satisfagan las necesidades de los usuarios.

Otro ejemplo de voluntad política global es el caso del desarrollo de la energía de fusión por confinamiento magnético en el que la Unión Europea (en conjunto y no algunos de sus Estados miembros) participa activamente con otros países de todo el mundo en el desarrollo del reactor termonuclear experimental de fusión ITER (se trata de una colaboración internacional que aún se encuentra muy lejos del mercado). En otros casos, como sería el de la computación cuántica, Europa es consciente de su debilidad en el desarrollo de computadores y deberá centrarse en algún dominio de aplicación, y fomentar el fortalecimiento o la creación de empresas de nicho para determinados dominios de aplicación.

En otros ámbitos, la independencia tecnológica puede lograrse (forzarse) o, al menos, reducirse por la vía de la aprobación de una regulación que imponga determinados límites al uso de tecnologías foráneas o en donde reside información considerada crítica. Un caso conocido es el de la tecnología de la «nube» (*cloud computing*) en la que los usuarios no conocen, en el caso de aplicaciones muy extendidas, dónde residen sus datos.

En este caso, la Unión Europea está realizando esfuerzos para la creación de una «nube europea» e imponer condiciones para que sus entidades públicas aseguren que sus datos se encuentren en la Unión Europea protegidos por regulaciones de privacidad y uso por terceros más estrictas de las que existen en otros países.

Concretamente, las tensiones geopolíticas y las crecientes guerras comerciales están haciendo que los políticos europeos estén más preocupados de que las grandes empresas europeas cedan el control de sus datos a proveedores tecnológicos de EE. UU. temiendo que estos proveedores puedan negar acceso a información crítica sobre clientes o producción, o sirvan de base a la operación de agentes extranjeros no controlados¹⁶. El reconocimiento de esta «debilidad» está obligando a Europa a posicionarse con actuaciones alentadas desde los estados miembros de la

¹⁶ Si bien, para un usuario particular, esta situación puede tener una importancia relativa, no la tiene para instituciones gubernamentales o grandes empresas europeas. Por ello, la obligación de que los datos públicos residan en Europa es una manera de conseguir disponer de sistemas propios.

Unión. Un ejemplo es el reciente anuncio de Alemania sobre la creación de *Gaia-X*.

La canciller del Gobierno alemán Angela Merkel ha desvelado los planes para desplegar un servicio en la «nube» que permita a las empresas europeas evitar el almacenamiento de sus datos con rivales de EE. UU. o asiáticos como Amazon o Alibaba. El ministro de economía Peter Altmaier abordó el servicio denominado *Gaia-X*, tomado del nombre de una diosa griega que simboliza la Tierra, en una conferencia técnica en Dortmund (Alemania). El Gobierno alemán ha trabajado con ejecutivos de empresas entre las que se encuentran SAP SE, Deutsche Telekom AG and Deutsche Bank AG, de acuerdo a un documento estratégico del Ministerio de Economía obtenido por Bloomberg News.

<https://www.datacenterknowledge.com/europe/germany-unveil-european-cloud-rival-amazon-alibaba>

¿Hasta qué punto es posible medir el grado de dependencia de un país con respecto a una determinada tecnología? De manera cualitativa, podemos hablar de dependencia alta, media o baja.

- Se considerará que el nivel de dependencia respecto a una determinada tecnología es bajo cuando se dispone en el país de conocimiento y capacidad potencial humana e industrial suficiente para atender a las necesidades propias en costes y eficiencia como para competir a nivel internacional.
- Se considera que el nivel de dependencia respecto a una determinada tecnología es medio cuando, a pesar de disponer de los conocimientos necesarios, se requiere realizar importaciones de determinados componentes y realizar inversiones elevadas por la necesidad de conseguir un grado de eficiencia o costes suficientemente competitivo en mercados internacionales.
- Se considera que el nivel de dependencia respecto a una determinada tecnología es alto cuando se requiere mantener importaciones tecnológicas estratégicas de otros países sin las que no es posible mantener la producción y la sustitución por otras es imposible (caso de materias primas).

Desde un punto de vista conceptual es posible describir el grado de dependencia tecnológica de un país o sector y su evolución temporal tal y como se representa en la figura 118. La evolución temporal de la dependencia tecnológica a partir de la situación actual puede analizarse a corto plazo (2-5 años), a medio pla-

zo (5-10 años) o a largo plazo (más de 10 años). El grado de dependencia tecnológica de un sector (de igual forma se podría aplicar a un país, aunque en este caso el número de tecnologías a considerar es muy elevado) se ha considerado únicamente a tres niveles posibles (bajo, medio, alto).

La figura 174 describe esquemáticamente un caso ficticio en el que la posición inicial de las seis tecnologías relevantes para el sector o país considerado (T1 a T6) ocupan diversos niveles en la escala de dependencia.

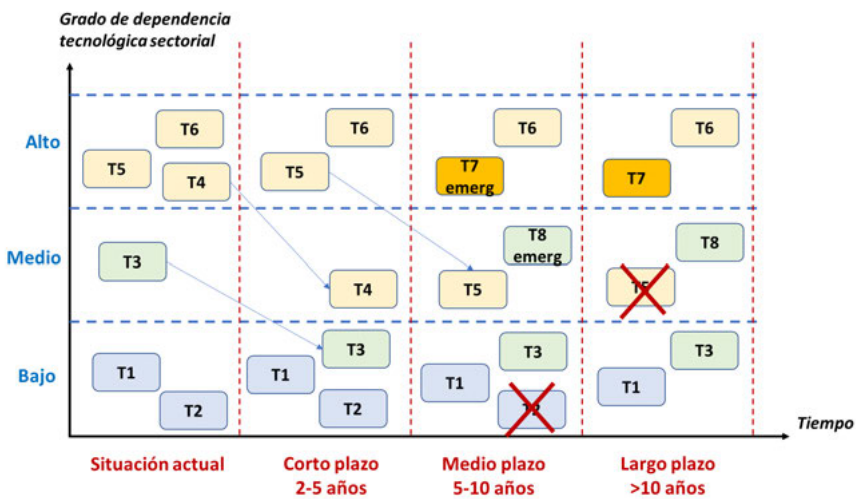


Figura 174. Evolución temporal (hoja de ruta) del grado de dependencia tecnológica sectorial (fuente: elaboración propia).

La figura 174 indica que, con el tiempo, se consigue reducir la dependencia de algunas de estas tecnologías (es el caso de T4 y T5); otras, sin embargo, pierden su relevancia con el tiempo (caso de T2 y T5). Finalmente, a medio plazo, emerge una nueva tecnología T7 (puede ser que forzando la desaparición de T2) con una alta dependencia tecnológica del exterior; otra tecnología emergente T8 ocupa, afortunadamente, una posición de menor dependencia (pudiera ser por haberse participado nacionalmente en su desarrollo).

Las variaciones en el tiempo del grado de dependencia con respecto a una tecnología determinada no son casuales: su reducción responde a una planificación estratégica público-privada que requiere conjugar recursos humanos, materiales y cambios regulatorios embebidos en políticas socioeconómicas e industriales

posiblemente orquestadas en un plano supranacional. En algunos casos, la reducción de la dependencia viene motivada por problemas de defensa y seguridad nacional (casos en los que el vector militar es decisivo) en las que los costes en mercados internacionales pueden tener menor relevancia.

Un ejemplo de las interacciones entre tecnologías en la evolución temporal (apreciación propia) se puede ver en el caso de la figura 175 para el caso de las tecnologías relacionadas con el vehículo eléctrico autónomo (y la necesidad asociada de almacenamiento energético o robótica). Se ha elegido este dominio por ser uno en los que Europa posee una posición relativa fuerte comparado con otros países con los que compete.

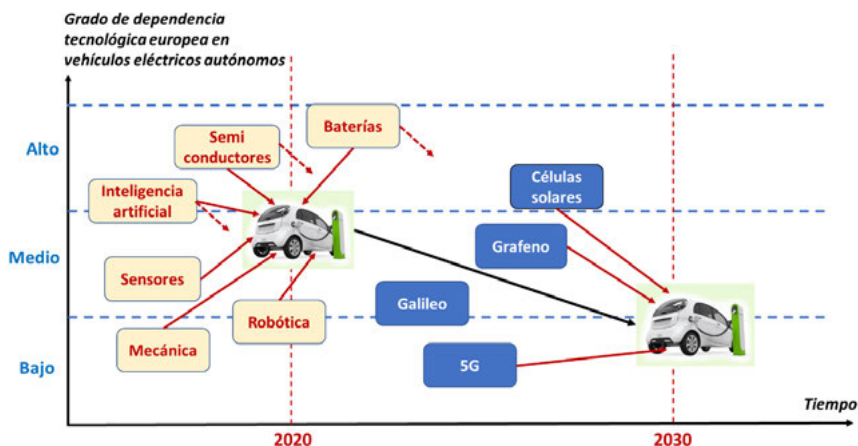


Figura 175. Evolución del grado de dependencia europea de las tecnologías relacionadas con el vehículo eléctrico autónomo (fuente: elaboración propia).

La figura 175 representa la situación actual y la deseable (¿previsible?) en 2030 tras una estrategia continuada en el tiempo de mejorar el grado de dependencia de la industria del automóvil en Europa¹⁷. En primer lugar, obsérvese que el éxito de un automóvil de esas características depende en gran medida de la capacidad de integración inteligente y eficiente de un número elevado de tecnologías (solo se han presentado algunas de las mencionadas en el presente texto).

En la década 2020-2030 se producirá, además, la integración de otras tecnologías que, por ahora, juegan un papel muy secundario: 5G (en despliegue real a partir de 2021), Galileo (también a partir de 2020), grafeno (su uso en el automóvil todavía es anecdótico) o

¹⁷ La figura se centra en el propio vehículo y no en otros elementos tecnológicos, claves para su expansión en la sociedad como sería el despliegue de una red de carga rápida.

células solares de película delgada (puede ser cubriendo el conjunto del vehículo que, por ahora, están en una etapa experimental).

El grado de dependencia tecnológica de Europa en todas ellas, actualmente, y el grado estimado para 2030 es muy variable. El mensaje es que debería existir un plan de acción de cada una de ellas para reducir a tiempo la dependencia y asegurar a interdependencia mediante acuerdos globales.

Seguramente, muchos de los componentes básicos de un vehículo convencional (véase figura 176) seguirán siendo necesarios en el desarrollo de un vehículo autónomo. Europa puede disponer de algunos de ellos en su territorio; es decir, posee capacidades locales suficientes más allá de la conveniencia de su suministro en cadenas de provisión globales por razones de coste o por condiciones de acercamiento a mercados locales exigidas por las autoridades de otros países. Asimismo, muchas empresas europeas del sector auxiliar de la automoción necesitan exportar componentes avanzados a otros países que, a su vez, exigen exportar los suyos a Europa. El esfuerzo inversor en el desarrollo de tecnologías emergentes requiere mercados globales y el europeo, aislado, no es suficiente.

En otros casos, sin embargo, algunos componentes no son posibles de obtener localmente puesto que no se dispone de capacidades (y no es posible obtenerlas a corto plazo), pero sí es posible obtenerlas del exterior. El problema estriba en aquellos otros en los que ni se dispone de capacidades propias ni, por diversos motivos, es posible obtenerlos fácilmente del exterior. Sobre ellos será necesario desplegar una acción global, no solamente tecnológica.

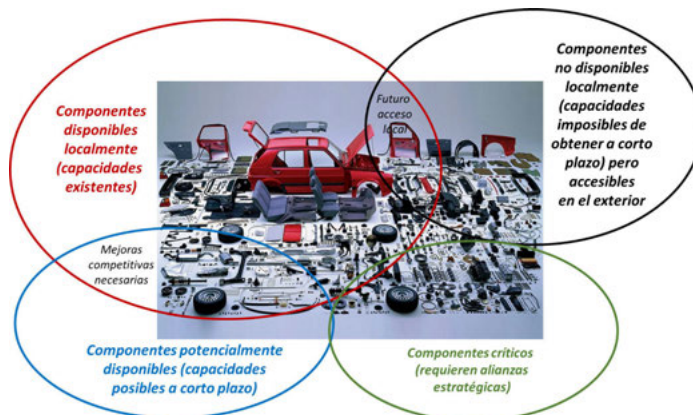


Figura 176. Componentes de un vehículo convencional (fuente: elaboración propia).

El planteamiento de maximizar el recurso a la interdependencia tecnológica debe ser compatible con procurar evitar dependencias excesivas y disponer de alternativas propias cuando se convierte en una condición básica para conquistar o no ser expulsado de un mercado. Para algunas tecnologías, como las de navegación por satélite, la Unión Europea dispone a muy corto plazo de sistemas sustitutivos con mejores prestaciones (p. ej. sustitución de GPS por Galileo). En otros casos (p. ej. circuitos integrados de propósito general como microprocesadores o chips de memoria) no le será sencillo conseguir esa independencia, ni conveniente ante el acceso a mercados globales que exigen reciprocidad; al fin y al cabo, Europa es un mercado grande y atractivo.

Mantener la supremacía tecnológica de un país o región geográfica en sectores clave durante periodos prolongados de tiempo no es sencillo; no únicamente por la inevitable obsolescencia tecnológica en la que se basa esa supremacía (más tarde o más temprano serán sustituidas por otras), sino por el creciente flujo de conocimiento tácito y explícito sobre la tecnología que existe entre países. Por ello es esencial mantener un esfuerzo en desarrollo de tecnologías emergentes con bajos niveles de madurez (TRLs) que permita, en un momento dado, acelerar el desarrollo.

Actualmente el desarrollo de tecnología emergente requiere un continuo intercambio de información entre investigadores de todo el mundo; más que nunca, es un proceso en el que los avances se logran subiéndose «a hombros de gigantes»¹⁸ para ver más lejos. Sobre todo en los niveles inferiores de madurez tecnológica el recurso a las comunicaciones científicas (publicaciones, congresos, seminarios, etcétera) constituye un elemento clave para la difusión de las ideas y su contraste entre pares (investigadores en el dominio científico correspondiente). Realmente, la mayor parte de la financiación para la investigación científica procede de un sistema de revisión de propuestas entre pares.

¹⁸ La frase suele atribuirse, erróneamente, a Isaac Newton. El 15 de febrero de 1676 el eminente físico, autor de una de las revoluciones más dramáticas de la historia del saber, escribió a Robert Hooke, filósofo y físico, que influyó definitivamente en la obra de Newton hasta el extremo de que acabó acusándole de robarle las ideas, la siguiente frase: «If I have seen further, it is by standing upon the shoulders of giants» («Si he podido ver más allá es porque me encaramé a hombros de gigantes»). Otros piensan que podría proceder de Robert Burton, en cuya obra *The Anatomy of Melancholy*, publicada en 1621, dice: «A dwarf standing on the shoulders of a giant may see farther than a giant himself» («Un enano subido a los hombros de un gigante puede ver más lejos que el propio gigante») (<https://www.larazon.es/cultura/de-donde-viene-la-expresion-a-hombros-de-gigantes-LD20238740/>).

En este contexto, el papel jugado por Internet para apoyar la rápida difusión de resultados científicos y tecnológicos a través de publicaciones abiertas es esencial. También este proceso está fuertemente dominado por los países fuertes en I+D y, en concreto, EE. UU. (no se olvide que la mayor parte de las publicaciones científicas se escriben en inglés para asegurar la máxima difusión). Ante este proceso de dominación de la difusión científica y tecnológica algunos países han reaccionado.

La Unión Europea, tanto la Comisión Europea como los Estados miembros, ha puesto en marcha un proceso muy amplio de ciencia abierta (*open science*) para obligar a que todos los proyectos financiados con fondos públicos publiquen sus resultados de manera abierta, convencidos de que es la mejor manera de acelerar el desarrollo científico alrededor de tecnologías emergentes. Obviamente, Internet, uso sin limitaciones, se convierte en el medio esencial. No todos los países del mundo comparten esta visión. Para muchos, Internet representa la dominación tecnológica de EE. UU. que domina su uso y sus reglas.

China, un país desarrollado tecnológicamente, como se ha indicado repetidamente en esta monografía, posee una red de acceso a Internet muy extensa, pero con restricciones dentro de un programa formalmente denominado *Golden Shield Project*, lanzado en noviembre de 2000. Internet está disponible en toda China, pero no toda la Internet es accesible. Alrededor del 10 % de los sitios web o redes sociales como Facebook o Twitter o aplicaciones como Instagram, sitios web de Google (YouTube, Google Maps, Gmail, Google Drive), Whatsapp, Dropbox, etcétera, están censuradas y bloqueadas, necesitándose para acceder una red virtual privada (VPN)¹⁹.

En julio de 2019, la Administración de Ciberespacio de China anunció una regulación por la que los proveedores de información en Internet y los usuarios en China que violen gravemente las leyes y regulaciones asociadas serán sometidos a una lista negra del Sistema de Crédito Social.

https://en.m.wikipedia.org/wiki/Internet_censorship_in_China

Muy recientemente (27 diciembre 2019) Rusia ha confirmado la puesta en marcha de una Internet propia (RusiaNet)²⁰ probando

¹⁹ Véase, por ejemplo: <https://www.chinahighlights.com/travelguide/article-internet-access-in-china.htm> o <https://www.lonelyplanet.com/china/internet-access>

²⁰ <https://clipset.20minutos.es/rusia-prueba-con-exito-su-desconexion-total-de-internet-y-su-propia-rusianet/>

su desconexión total a Internet, aun con características no explicadas (figura 177). Lo que sí se ha indicado es que su desarrollo ha estado motivado por lograr la independencia tecnológica en un ámbito que es muy sensible para controlar la información que llega a los ciudadanos, y la que procede de estos.



Figura 177. Anuncio de Putin de la prueba de desconexión a Internet (fuente: <https://clipset.20minutos.es/rusia-prueba-con-exito-su-desconexion-total-de-internet-y-su-propia-rusianet/>).

Rusia se desconectó por completo de Internet durante varias horas el 23 de diciembre. Según un reporte de ZDNet, sitio hermano de CNET y CNET en español, Rusia completó con éxito su «apagón» de Internet. El objetivo era comprobar si la infraestructura nacional de Internet (conocida como RuNet) podría enfrentar con éxito su desconexión de la red global de Internet y de su sistema de DNS.

El Gobierno ruso no dio ningún detalle técnico sobre las pruebas realizadas, pero sí dijo que probó varios escenarios de desconexión, incluido uno que simulaba un ciberataque hostil desde un país extranjero. Alexei Sokolov, subdirector del ministerio ruso de Desarrollo Digital, Comunicaciones y Medios de Comunicación, dijo en una conferencia de prensa, celebrada el 23 de diciembre que en general, tanto las autoridades como los operadores de telecomunicaciones están listos para responder eficazmente a posibles riesgos y amenazas y garantizar el funcionamiento de Internet y la red de telecomunicaciones unificada en Rusia. En el experimento colaboraron las agencias gubernamentales rusas, proveedores de acceso y empresas tecnológicas del país. Las pruebas se programaron inicialmente para abril de este año, pero se

retrasaron para que se aprobara una ley de «soberanía de Internet», que le otorgue al Gobierno ruso el poder de desconectar el país del resto de Internet a voluntad por razones de «seguridad nacional». La ley exige que todos los proveedores locales de servicios de Internet redirijan todo el tráfico a través de puntos estratégicos aprobados por el regulador de telecomunicaciones ruso, Roskomnazor.

<https://www.cnet.com/es/noticias/rusia-desconexion-internet/>

Obtención de tecnología de otros países

Instrumentos y consecuencias

En un mundo fuertemente globalizado, todos los países disponen de un conjunto de instrumentos para obtener tecnología de otros (tanto por vías legales como ilegales). La figura 176 refleja el conjunto de instrumentos que China emplea para facilitar operaciones de transferencia de tecnología desde EE. UU. (Brown y Shing, 2018). No son muy diferentes de las empleadas por otros muchos países.

Limitando la discusión a aquellos instrumentos que en la figura 178 se consideran «legales», resulta esclarecedora la alta actividad existente en la inversión en nuevas empresas (*start-ups*) tecnológicas para su control o su adquisición²¹, así como la financiación de los estudios de posgrado o doctorado de estudiantes chinos en universidades de EE. UU.²².

En el caso de las inversiones en empresas de base tecnológica, el impacto no es únicamente el derivado de los potenciales beneficios generados por esas inversiones en casos de operaciones de salida del accionariado por los fondos de inversión, sino por la experiencia obtenida por China en la última década en las negociaciones de inversión y en el funcionamiento de los mercados de capital riesgo. Muchas empresas de consultoría, bancos de

²¹ La penetración de China en el corazón del Silicon Valley ha crecido en los últimos años. Ello es consecuencia también del origen asiático de muchos de los emprendedores tecnológicos.

²² La importancia relativa de los estudiantes chinos se pone de manifiesto en que el 57 % de los doctorandos en ingeniería y el 53 % en informática en el periodo 2001-2011 matriculados en las universidades de EE. UU. eran extranjeros; de ellos, un tercio procedían de China. Todos ellos en áreas relacionadas con tecnologías emergentes.

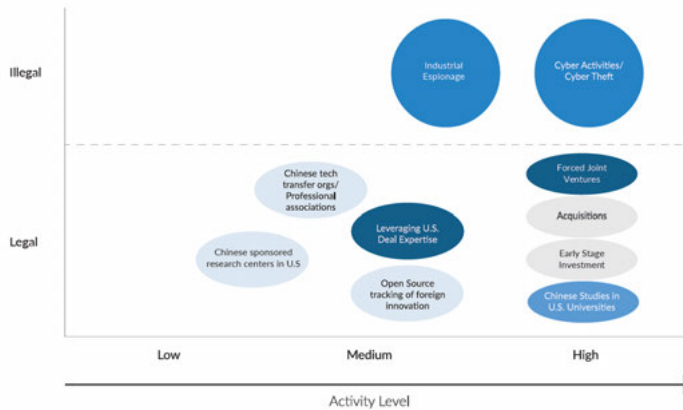


Figura 178. Instrumentos de transferencia de tecnología de China desde EE. UU. empleados actualmente (fuente: Brown y Shing, 2018).

inversión y bufetes de abogados de EE. UU. han trabajado con inversores chinos generando una indudable transferencia de conocimiento sobre el sector de capital riesgo. El resultado, esperable, ha sido una rápida consolidación del sector de capital riesgo en China en una década.

Un enfoque ilegal que aparece en la figura 178 es el denominado «espionaje industrial». En estos momentos, más allá del conocimiento de las estrategias de las empresas competidoras me parece esencial focalizarse en el espionaje tecnológico industrial porque es, precisamente, la tecnología el objeto que ha alcanzado más relevancia actual en el espionaje industrial (junto con la obtención de datos económicos de la empresa y personales de los usuarios y clientes). Se entiende por ello la obtención ilícita de información (no consentida) por parte de una organización de otras consideradas como competidoras²³.

Debe distinguirse esta práctica de la denominada vigilancia tecnológica en la que se pretende obtener, de fuentes abiertas (publicaciones, patentes, proyectos concedidos por las administraciones públicas en convocatorias públicas, inversiones comunicadas de fondos de capital riesgo, estudios de opinión, etcétera) o de entrevistas realizadas a personas clave. En este caso no se trata de conocer la situación particular de una empresa, sino obtener información relevante de un sector o tecnología que pueda

²³ Aunque el término de espionaje industrial se va a aplicar al caso de empresas privadas, no se olvide que este comportamiento, en algunos casos, está apoyado o promovido por agencias nacionales en apoyo a empresas públicas o parcialmente controladas.

servir para el conocimiento de la situación global y facilitar con ello la toma posterior de decisiones.

También debe distinguirse del dominio general de la ciberseguridad, mucho más general y no ligado necesariamente a la obtención de información, aunque algunas prácticas delictivas de robo de información no consentida mediante suplantación de personalidad (p. ej. *phishing*) podrían también ser utilizadas para obtener información de carácter tecnológico.

Existen muchos casos de este tipo de espionaje industrial que han salido a la luz pública. Un caso muy conocido ocurrió en la Fórmula 1, en el que un ingeniero de Ferrari filtró documentos a la escudería británica McLaren durante el año 2007; pero hay otros con más relevancia industrial y geopolítica.

También en el sector automotriz se detectó en 2011 un caso de espionaje industrial en el que altos cargos de Renault que pasaban información a la competencia china, una información valorada en 4.000 millones de euros. Más allá del valor tecnológico, este modelo representaba una apuesta de futuro vital para el conglomerado de investigación franco-japonés compuesto por Nissan y Renault.

<https://managersmagazine.com/index.php/2013/11/tipos-de-espionaje-industrial/>

Otro caso conocido es el del supuesto espionaje tecnológico entre Huawei y LeEco en relación con dos patentes (entiendo que antes de que se publicaran o con saber-hacer relacionado puesto que el documento de patentes una vez depositado es público).

Un caso reciente de espionaje en la industria tecnológica ha sido el de seis diseñadores de la marca Huawei que, según denunció la empresa china, vendieron información confidencial a LeEco. Las dos compañías compiten con sus productos a precios muy bajos en el mercado estadounidense y la batalla es despiadada. La acusación de Huawei a LeEco se debe a dos patentes secretas: el diseño de una antena y un reloj inteligente para niños. LeEco niega que haya existido dicho espionaje.

<https://www.europapress.es/portaltic/sector/noticia-espionaje-industrial-robo-informacion-sector-tecnologico-casos-mas-sonados-20170217085938.html>

De una manera más sutil se puede obtener información tecnológica mediante técnicas de ingeniería inversa. En este caso se

trata de obtener información de un sistema de la competencia mediante la compra (legal) de un producto para «desmontarlo», conocer sus componentes e interconexiones, y derivar de ello el diseño original. Esta técnica también se ha aplicado a circuitos integrados, generando la topografía del circuito y pudiendo derivar de ella el esquema lógico del diseño realizado²⁴.

Aunque la ingeniería inversa es una práctica conocida, parece que su importancia será menor en el futuro por dos motivos: 1) la reducción del ciclo de vida de un producto en el mercado que hace que el esfuerzo de saber cómo está diseñado se vea abocado a la obsolescencia por la aparición de otro producto más sofisticado en plazos muy cortos (obligaría a reiniciar el proceso de ingeniería inversa de nuevo), y 2) por la propia complejidad del producto, sobre todo, cuando implica la ejecución de algoritmos sobre un producto genérico cuya funcionalidad depende, precisamente, del algoritmo que se ejecute.

De nuevo China se encuentra en el punto de mira de otros países. La práctica de adquirir el último modelo de automóvil, avión u otro artefacto avanzado de la competencia, comprender su diseño, mejorarlo y poner en el mercado un nuevo producto parecido al original pero con mejores prestaciones. Este enfoque no es utilizado solamente por China, pero el problema es que su capacidad de «mejorar» el producto original es mucho mayor que el que tenía hace solo dos décadas y esto está acelerando la reducción de la brecha tecnológica.

«La copia no autorizada de nuestro equipamiento fuera de Rusia es un enorme problema. Hemos detectado quinientos casos en los últimos diecisiete años. Solo China nos ha copiado motores de aviones, cazas Sukhoi, sistemas de defensa, misiles...». La frase, aunque pueda parecer comedida, es una de las mayores bofetadas que se recuerda de Rusia al Gobierno chino. La pronunció recientemente Yevgeny Livadny, máximo responsable de propiedad intelectual de Rostec, el mayor fabricante estatal ruso de armamento.

²⁴ La protección jurídica de las topografías de los productos semiconductores está definida en Europa por la directiva 87/54/CEE. La transposición de esta Directiva en España dio como resultado la Ley 11/1988, de 3 de mayo, de Protección Jurídica de las Topografías de los Semiconductores (LPTS), en la que se define como objeto de protección el esquema del trazado, la configuración o disposición tridimensional del circuito y en la que se determinan y regulan los requisitos de protección (<https://www.protectia.eu/2015/01/topografias-de-semiconductores/>).

Si se analizan las últimas adquisiciones de material ruso por parte de China, parece que dan toda la razón a los responsables de Rostec. En fechas tan recientes como 2015, los chinos han realizado dos compras muy significativas de productos "estrella" rusos, el Su-35 y el S-400. Ambos son ahora mismo el escaparate de la tecnología rusa que están disponibles para exportar a otros países, como podría ser Turquía. Pero la cuestión es que China solo ha adquirido veinticuatro aviones y seis sistemas antiaéreos, lo que en términos del Ejército chino es una cantidad sospechosamente pequeña. Baste pensar que Turquía, si adquiere el Su-35, estaría hablando de cuarenta y ocho aviones y tan solo como solución transitoria. Lo mismo se podría decir del S-400. Todo hace pensar que lo que China está comprando es una muestra para luego hacer su propia versión.

https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2020-01-04/rusia-china-rostec-tecnologia-militar-sukhoi-shenyang_2397835/

El objetivo de reducción de la dependencia tecnológica no es exclusivo de los países en su conjunto. También lo es, en un nivel de resolución mayor, por parte de las organizaciones empresariales que tienen que competir en el mercado tecnológico global.

No siempre los esfuerzos de difusión de una tecnología avanzada tienen efectos positivos para un país. Un ejemplo bien estudiado de este fenómeno es el de la robotización llevada a cabo por países del Centro y Este de Europa. Con la robotización masiva en la industria se ha producido un fenómeno de dependencia a dos niveles; primero, una dependencia sectorial de una única industria (fabricación de vehículos), y segundo, un fenómeno de dependencia estructural dado que la robotización en la región depende, en gran medida, de decisiones de deslocalización de grandes empresas.

Inversiones de capital en empresas de base tecnológica

Uno de los métodos habituales por los que una organización privada puede acceder a tecnología avanzada (o incrementar el conocimiento de una tecnología con respecto al que poseen sus competidores) es el de la adquisición (parcial o total) de una empresa de base tecnológica por otra empresa o por un fondo de inversión tecnológica que, en muchos casos, está creado o participado por otra empresa tecnológica. Hacerse con el control

accionarial de la empresa implica, obviamente, hacerse con el control de su tecnología.

La mayor parte de las grandes empresas tecnológicas han creado en los últimos años fondos corporativos de capital riesgo con los que invierten en nuevas empresas ligadas a tecnologías emergentes, no necesariamente centradas en su sector inicial de actividad. Aunque la inversión sea arriesgada por la inmadurez de las tecnologías o la inexistencia de un mercado estable, la estrategia es menos arriesgada que hacerlo directamente por la empresa a través de sus laboratorios de I+D con costes indirectos mucho más elevados y capacidades reducidas a su personal propio. En una segunda etapa, algunas de estas empresas pueden ser adquiridas y así disponer de la tecnología, y de sus clientes. El análisis de las tecnologías en las que se invierte es también un elemento clave para estimar su evolución futura y grado de madurez. Téngase en cuenta que una inversión exitosa puede implicar plusvalías elevadas en el caso de una operación de venta de las participaciones.

Un ejemplo de esta estrategia es la que ha llevado Google (Alphabet) con la creación de Google Ventures (GV) (<https://www.gv.com/>). Para hacerse una idea del volumen adquirido (datos de 5 de enero de 2020) GV maneja una cartera activa de trescientas participaciones en empresas con una inversión total de 4.500 millones de dólares y ha efectuado más de cien adquisiciones. Aún más relevante es que lo hace en sectores alejados de lo que es su núcleo de negocio como son las ciencias de la vida y tecnologías disruptivas²⁵.

Las inversiones de estos grandes fondos de capital riesgo, también apoyados por agencias gubernamentales, cuando no directamente procedentes de inversión pública²⁶, no se limitan al territorio

²⁵ Las inversiones en ciencias de la vida suponen más de un tercio de la cartera de GV. Incluye servicios de salud, dispositivos médicos, diagnóstico y terapias avanzadas. Especialmente, GV busca invertir en empresas en la intersección entre la salud y las tecnologías de la información. En cuanto a tecnologías disruptivas, invierte en IA, robótica, computación cuántica, edición genómica en alimentación y agricultura.

²⁶ Un ejemplo conocido en Europa es el Fondo de Pensiones del Gobierno de Noruega, gestionado por el Norges Bank Investment Management (NBIM), que nació en la década de los noventa con el fin de invertir los beneficios conseguidos por la extracción y venta de petróleo en este país escandinavo. Su finalidad última era garantizar las pensiones futuras de los partícipes, una especie de ahorro a largo plazo con el que el Gobierno pudiese hacer frente al envejecimiento de su población. Actualmente, el Fondo Soberano de Noruega es el fondo de inversión más grande del mundo (con un billón

del país de origen, sino que buscan las mejores inversiones en cualquier lugar del mundo (con las restricciones o incentivos al capital internacional que existan en cada país) siguiendo unas pautas de rentabilidad económica y gestión de riesgos, pero también de comportamientos éticos y de prioridades nacionales.

El parlamento noruego ha aprobado la decisión del Fondo de Pensiones de Noruega (también conocido como el Fondo del Petróleo y considerado como el fondo soberano más grande del mundo) de desinvertir en las empresas de petróleo y gas, por valor de 11.000 millones de euros, para volcarse en las renovables. Aunque no se ha fijado la cifra exacta que el fondo destinará a invertir en renovables, se calcula que está autorizado a desembolsar hasta 17.000 millones de euros (hasta un 2 % de su capital) en proyectos eólicos y solares en mercados maduros.

El fondo nórdico ha recibido, además, el mandato de retirarse de empresas carboníferas, entre las que se incluyen RWE y Glencore, que dejarán su cartera de inversiones en función de los nuevos criterios de exclusión ética que maneja el organismo estatal.

https://elpais.com/economia/2019/06/12/actualidad/1560355629_552789.html

Estos flujos de inversiones de capital tecnológico controlados directa o indirectamente por fondos de inversión estatales o por empresas públicas han generado preocupación por lo que supone de control de acceso a determinadas tecnologías, o de capacidad de tomar decisiones gubernamentales que favorecen a unas u otras.

Un caso relevante de inversiones tecnológicas internacionales es el incremento de la inversión de fondos de capital riesgo de China en otros países. La evolución de la inversión de capital riesgo china en empresas de EE. UU. en el periodo 2010-2017 puede observarse en la figura 179 (datos proporcionados por CB Insight).

de dólares en patrimonio) consiguiendo en el primer trimestre de 2019 una rentabilidad del 9,1 % y un retorno de 738.000 millones de coronas noruegas (el equivalente a 75.454 millones de euros). Hoy en día, el Fondo Soberano Noruego está invirtiendo en más de 9.200 empresas de todo el mundo, entre ellas apuesta por las tecnológicas, con acciones en Apple, Microsoft y Amazon. También tiene en cartera empresas como Nestlé o Shell (<https://www.rankia.com/blog/fondos-inversion/4255671-fondo-soberano-noruega-que-donde-invierte-apuesta-por-espana>).

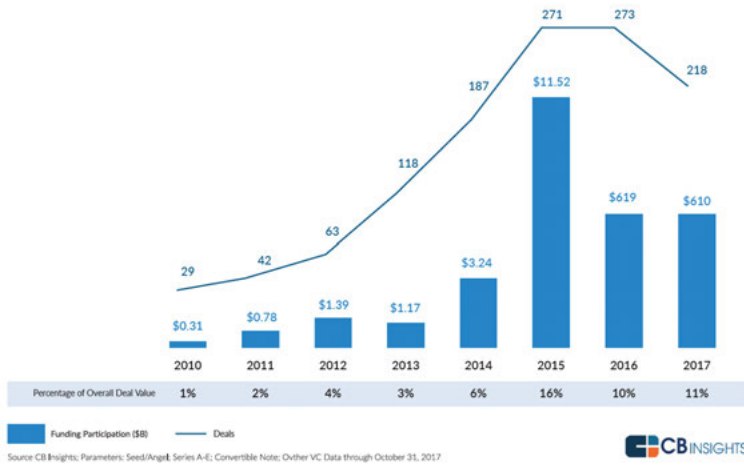


Figura 179. Inversión de China en EE. UU. entre 2010 y octubre 2017 (fuente: CB Insights).

En 2015 se habían realizado más de doscientos setenta acuerdos de inversión por un valor total de 11,52 billones de dólares de EE. UU. (un 32 % de ellos en capital semilla) en áreas prioritarias como inteligencia artificial, robótica, realidad virtual y realidad aumentada, y Fintech; todas ellas, tecnologías críticas para el desarrollo de multitud de productos y servicios avanzados (Brown y Shing, 2018).

Consecuencias geopolíticas de la interdependencia tecnológica

Es obvio que frente al uso habitual de estos instrumentos de transferencia de tecnología y en una situación en la que las relaciones tecnológicas entre países se han globalizado, acompañado por un uso creciente de modelos de innovación abierta, la transferencia de conocimiento en tecnologías duales puede significar una pérdida relativa de la superioridad potencial a medio plazo.

Algunos aspectos considerados potencialmente peligrosos han influido en la estrategia seguida por algunos países de limitar la transferencia de conocimiento tecnológico con diversos instrumentos a su alcance: poner trabas (p. ej. límites anuales) a la concesión de visas de estudiantes de doctorado o contratos posdoctorales procedentes de determinados países o a la autorización de las inversiones de capital riesgo (o su volumen) o la imposibilidad de adquisición de empresas con tecnologías «estratégicas».

El equilibrio es, sin embargo, inestable porque también esas limitaciones afectan a las universidades y *start-ups* propias que ven reducido su atractivo en la captura de recursos humanos del resto del mundo y de financiación internacional para las primeras etapas (capital semilla o primeras rondas de inversión).

Ante esta situación, el punto de partida de la Unión Europea no es muy positivo. Como indican Arteaga y Simón (2019) «los Estados miembros de la Unión Europea no están en condiciones de afrontar los retos industriales asociados con la incipiente revolución tecnológico-militar (digitalización, robotización, automatización e inteligencia artificial). Ni disponen de presupuestos elevados como los de EE. UU., Rusia, la India y China para apoyar sus industrias, ni sus empresas disponen del capital suficiente para investigar y desarrollar esas tecnologías —o comprarlas donde se pueda— por su cuenta como hacen las empresas privadas estadounidenses o las públicas de los otros países».

La propuesta de la Comisión Europea de dotar a la industria de Defensa en la Unión Europea de las capacidades necesarias para incrementar su nivel de independencia tecnológica con 13.000 millones de euros para el periodo 2021-2027 dentro del Marco Financiero Plurianual de la Unión Europea (Comisión Europea, 2017b), negociándose actualmente, es la respuesta elaborada por la Unión Europea. Hasta qué punto va a influir en las decisiones de adquisición de sistemas de armas con tecnologías europeas ante la fuerte posición en contra de EE. UU. es algo que aún habrá que analizar con datos en los próximos años.

La Comisión se interesa por preservar la soberanía industrial europea y, en este sentido, se propone poner filtros a la entrada de inversiones extranjeras directas que puedan afectar a esa soberanía. Si prosperan las propuestas de la Comisión, apoyadas por Francia, Alemania e Italia, las industrias europeas podrían verse en el futuro sujetas a restricciones de inversiones si afectan a la soberanía tecnológica o a la autonomía estrategia europea (Arteaga y Simón, 2019).

Muy posiblemente, lograr la independencia tecnológica en un área puede implicar no mejorar en otras. Al fin y al cabo, los recursos humanos y materiales son limitados y las relaciones internacionales exigen contraprestaciones. Lo que sí ocurrirá es que este tema se ha convertido en sí mismo en un elemento clave de la política tecnológica e industrial de todos los países.

La geopolítica tecnológica del cambio climático

A lo largo del presente documento se ha considerado una situación estable desde el punto de vista de conflictos bélicos. La visión estratégica utilizada es considerada la propia de una época de paz (a pesar de la existencia de múltiples conflictos locales o regionales que, sin embargo, no han alterado significativamente la actividad mundial ligada al desarrollo tecnológico). No obstante, sí existe otro tipo de conflicto al que se enfrenta la humanidad en su conjunto con enormes repercusiones estratégicas al que debemos prestar atención creciente: el cambio climático. No existe nada más estratégico que la protección del propio planeta y afianzar el valor de la tecnología en ese contexto²⁷.

El impacto del cambio climático sobre la Tierra es un fenómeno multidimensional cuyas consecuencias afectan y se ven afectadas por múltiples factores. No obstante, todos los países, lentamente, comienzan a comprender la relevancia estratégica de sus efectos y la necesidad de abordarlo de forma conjunta: no existen soluciones unilaterales. Las consecuencias del cambio climático no conocen fronteras. Por esta razón se ha considerado más adecuado abordar en este capítulo el problema y las tecnologías de mitigación relacionadas.

Aunque pueden existir discrepancias entre los modelos sobre la elevación de la temperatura del planeta en los próximos años (en el supuesto de persistir las emisiones actuales de gases invernadero), lo que no parece ya discutible es que se está produciendo ese incremento y que las emisiones de gases invernadero generados por la combustión de combustibles fósiles (fundamentalmente carbón, petróleo y gas) tienen gran parte de la culpa de ello²⁸. La figura 180 procedente de la NASA indica el cambio de temperatura global media en 2014-2018 comparada con el promedio basal entre 1951 y 1980, de acuerdo al Instituto Goddard de Estudios Espaciales de la NASA.

²⁷ En el pasado, únicamente la tecnología nuclear (ya sean armas nucleares o accidentes en centrales nucleares de generación energética) ha generado efectos medioambientales relevantes (más allá de la pérdida de bienes humanos y materiales) persistentes en el tiempo, aunque localizados geográficamente. El resto solo tiene potenciales efectos locales.

²⁸ El porcentaje de población «negacionista» ha descendido abruptamente en los últimos años; si persiste una discusión del efecto del hombre en este proceso o si también se ve condicionado por causas naturales.

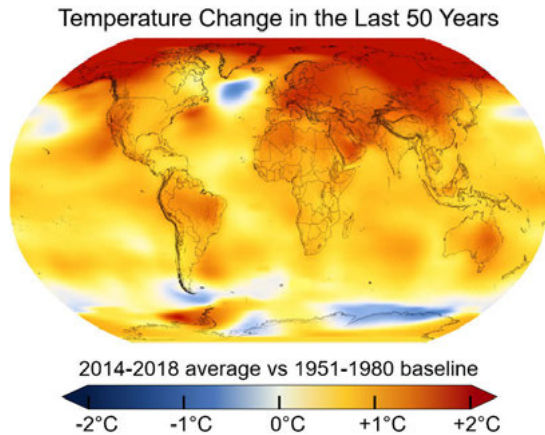


Figura 180. Cambio de temperatura en los últimos cincuenta años (fuente: NASA).

Limitar el calentamiento global a 1,5 °C comparado con los 2 °C proyectados para reducir los incrementos de la temperatura de los océanos, además de los incrementos asociados en la acidificación y disminución de los niveles de oxígeno del océano (alta confianza). Consiguientemente, la propuesta de limitar el calentamiento global a 1,5 °C permite reducir riesgos a la biodiversidad marina, pesquerías y ecosistemas, así como sus funciones y servicios, tal y como se ha visto en los recientes cambios en hielo ártico y los ecosistemas coralinos de agua templada (alta confianza).

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf

De hecho, como indica la figura 181, no parece que podamos volver a la situación preindustrial. El escenario representado por la curva roja indica la situación a la que se llegaría si no se hiciera nada (*BAU, business as usual*): la temperatura en el año 2100 sería cinco grados más de la temperatura media actual.

El escenario de «mitigación» (curva naranja) supone un nivel intermedio de emisiones sin emisiones negativas, en la que la temperatura media subiría en 2100 3 °C y luego casi se mantendría.

El escenario denominado de «eliminación del dióxido de carbono» (*CDR*), representado por la curva verde, supone emisiones que serían moderadas, pero con eliminación a largo plazo del CO₂; con él, a final de siglo, la temperatura seguiría subiendo

hasta 3 °C, aunque, a largo plazo (en el 2300!), se habría reducido a 1,5 °C.

Finalmente, el escenario de gestión de la radiación solar (*SRM*), curva azul, es el único que podría llegar a limitar la subida de temperatura en 2100 a 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales que es el incremento máximo que sería aceptable sin perjuicios importantes.

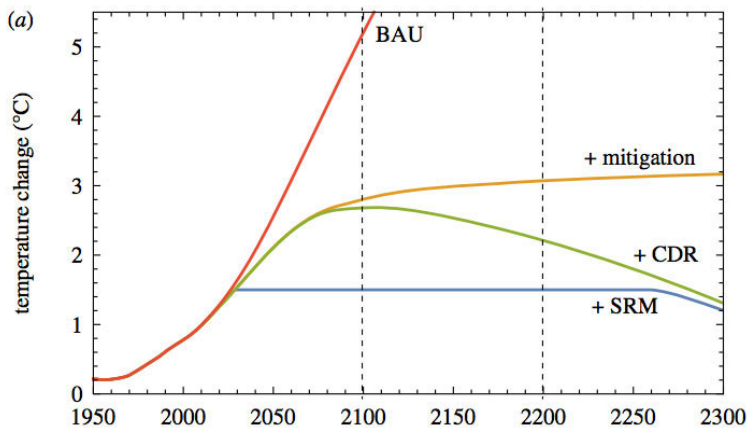


Figura 181. Incremento medio global de la temperatura sobre niveles preindustriales en un rango de posibles escenarios²⁹ [fuente: MacMartin et al. (2018)] (<https://www.carbonbrief.org/explainer-six-ideas-to-limit-global-warming-with-solar-geoengineering>).

La figura 182 refleja el incremento de emisiones de CO₂ hasta 2017, tanto por tipo de combustible fósil como por país. En el caso de combustible es relevante la importancia que sigue aún teniendo el carbón, que para muchos países sigue siendo esencial para calefacción y para la generación de energía térmica. Costará mucho tiempo eliminar su uso, aunque la figura muestra una cierta ralentización del consumo en 2017.

En la figura 182 se puede ver que aunque la Unión Europea ha frenado estas emisiones, no ha sucedido lo mismo con otros paí-

²⁹ Business As Usual (BAU), que asume que no se hacen esfuerzos de mitigación (RCP8.5); *mitigation*, que supone emisiones moderadas (RCP4.5) sin emisiones negativas, Carbon Dioxide Removal (CDR), que asume emisiones moderadas con eliminación a largo plazo del CO₂; y Solar Radiation Management (SRM), que es la misma que el escenario CDR pero también incluye SRM para limitar las temperaturas a 1,5 °C en 2100.

ses; de nuevo, China y EE. UU. aparecen en primer lugar. Esta consideración hace difícil emprender acciones eficaces si no se cuenta con el concurso de estos países.

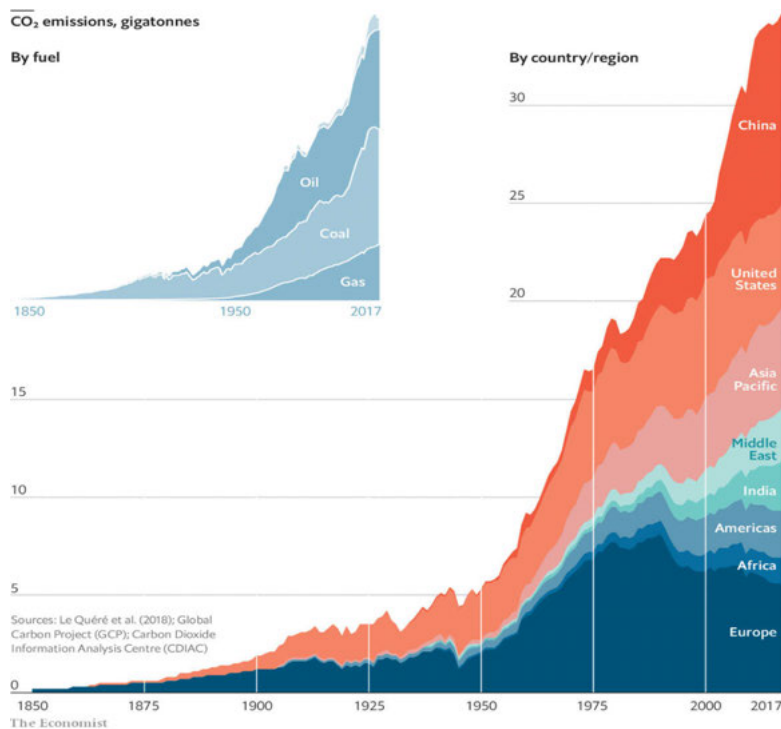


Figura 182. Evolución de las emisiones de CO2 (en gigatoneladas) por país/región y la contribución por tipo de combustible fósil (fuente: https://www.economist.com/briefing/2019/09/21/the-past-present-and-future-of-climate-change?utm_campaign=subscriber-thankyou-retention&utm_medium=email&utm_source=salesforce-marketing-cloud&utm_content=best-of-article-link2&utm_term=2019-12-26).

En reacción a la situación actual, las Naciones Unidas (Resolución 66/288 de 2012) han planteado diecisiete objetivos específicos de desarrollo sostenible (véase figura 183)³⁰ abordando un conjunto muy amplio de aspectos a conseguir hasta 2030 (169 metas).

³⁰ El 25 de septiembre de 2015, 193 países se comprometieron con los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas y su cumplimiento para el año 2030. Cada país ha establecido su agenda propia para hacer realidad algunas de las casi doscientas medidas asociadas. En el caso español toda la información puede encontrarse en <https://www.agenda2030.gob.es/es>

La tecnología no aparece explícitamente. Aunque el noveno objetivo alude directamente a la industria, innovación e infraestructura y podría considerarse directamente ligado, la tecnología puede asociarse a la mayor parte de ellos a la hora de conseguir las metas del objetivo concreto. Ya sea para retrasar la evolución de la subida de temperatura media del planeta o de la elevación del nivel de los mares y la elaboración de modelos más precisos para poder predecir cuándo se llegará a los temidos puntos de no retorno, la tecnología jugará un papel clave en la estrategia planetaria de mitigación.



Figura 183. Objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas (fuente: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>).

En esta sección únicamente nos interesa analizar la influencia del cambio climático en la evolución de tecnologías emergentes y cómo el desarrollo de estas tecnologías puede afectar a mitigar las consecuencias indeseables del cambio climático.

Probablemente, la preocupación creciente de la población mundial, de su presión sobre los Gobiernos y la evidencia compartida de que sus efectos (ya) se están percibiendo forzará a pensar en tecnologías específicas, acelerar su desarrollo mediante la priorización de recursos y confiar en que las soluciones lleguen a tiempo.

Conceptualmente, las consecuencias perniciosas del cambio climático³¹ van a afectar al desarrollo de tecnologías emergentes,

³¹ Sin entrar en la discusión de las estimaciones de periodos relativos a la elevación media de las temperaturas en los próximos años del presente siglo (los modelos indican de 2 a 5 °C, dependiendo de las acciones que se pongan en marcha), puesto que

porque en la medida en la que la sociedad sea consciente del riesgo existente presionará de forma creciente a las autoridades y agencias de financiación de la investigación e innovación para buscar y acelerar la difusión de tecnologías que puedan mitigar los aspectos indeseables (sequías, inundaciones, migraciones climáticas, etcétera); ello conllevará probablemente a un incremento de las inversiones públicas y una priorización en el desarrollo y difusión de determinadas tecnologías, dotándoles de recursos materiales y humanos que permitirán alcanzar la meseta de productividad en plazos más breves.

Pero también el desarrollo previsto de las tecnologías identificadas en este documento está afectado por los impactos previsibles del cambio climático y los potenciales desastres naturales derivados. A medio plazo se producirán movimientos migratorios que afectan a los recursos humanos disponibles en determinadas regiones o la necesidad de trasladar de emplazamiento a determinadas instalaciones (p. ej. debido al aumento del nivel de los océanos) o a modificar las rutas de aprovisionamiento.

También pueden encontrarse aspectos positivos locales en las consecuencias del cambio climático que, algunas veces, actúan de contrapesos para la adopción de soluciones drásticas o las retrasan inconscientemente; por citar un par de ejemplos: los casos de la apertura a la navegación marítima de la ruta ártica, al menos, durante muchos más meses, con enormes consecuencias económicas y estratégicas, o la posibilidad de convertir millones de hectáreas en Siberia o Mongolia en terreno agrícola productivo para el crecimiento de cereales duros.

Inicialmente, podría pensarse en que las tecnologías relacionadas con el cambio climático deberían estar asociadas a tres ámbitos: energía, transporte y medio ambiente. En realidad, el impacto es mucho más amplio y afecta a la evolución de tecnologías relacionadas con la agricultura y la producción de alimentos, con la salud y el bienestar, con la educación, con la construcción, con la producción industrial, y muchas otras.

La figura 184, tomada de un estudio realizado por el Morgan Stanley Institute y la Unidad de Inteligencia Económica de *The Economist* en 2017 (Butter *et al.*, 2027), identifica cinco sectores fundamentales responsables de las emisiones globales de gases

los modelos climáticos a largo plazo disponibles actualmente todavía no son suficientemente precisos, lo que es innegable es la necesidad de actuar.

de efecto invernadero y, por tanto, los sectores clave para el empleo de tecnologías de mitigación de sus efectos.

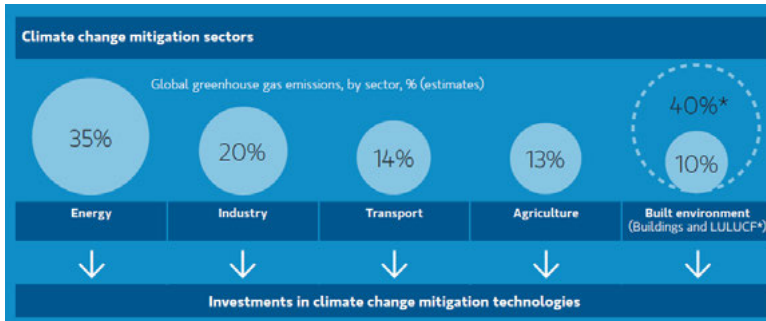


Figura 184. Sectores clave para la mitigación del cambio climático (fuente: Butter et al., 2027).

De ese mismo estudio, la figura 185 identifica algunas oportunidades de inversión en el desarrollo de soluciones tecnológicas relacionadas con el cambio climático con ejemplos extraídos de determinados países en los que existen políticas públicas y condiciones de mercado que lo hacen factible. Este análisis se basa en el uso de tecnologías existentes y maduras cuyo «mercado» crecerá fuertemente. En definitiva, se intenta demostrar que alrededor del cambio climático se generaran oportunidades de negocio en varios sectores clave.

Investment Opportunities to Watch		
	Energy	<ul style="list-style-type: none"> Large-scale wind and solar power in US, India, China and Saudi Arabia Small-scale, off-grid solar where energy infrastructure is underdeveloped Efficiency technologies world-wide
	Agriculture	<ul style="list-style-type: none"> Livestock methane reduction innovations in agriculture-heavy economies Efficient seeds and crop varieties in Sub-Saharan Africa and South Asia Mechanization of agriculture process in Rwanda, Kenya and Bangladesh
	Built environment	<ul style="list-style-type: none"> Green building development and refurbishment in major cities Vertical farming in Brazil, Indonesia, Australia, Kenya and Bangladesh Remote sensing systems to monitor deforestation in Brazil
	Transport	<ul style="list-style-type: none"> Rapid electric vehicle take-up in developed markets Public transportation initiatives/biodiesel innovations in Brazil and Argentina Longer term opportunities for green transport in low-income economies
	Industry	<ul style="list-style-type: none"> Carbon capture and storage technologies across the globe High efficiency industrial power generation in Bangladesh Innovations to decouple industrial production and emissions in the advanced economies

Figura 185. Oportunidades de inversión en sectores clave (fuente: Butter et al., 2027).

Algunas tecnologías son conocidas desde hace mucho tiempo como ocurre con la desalinización del agua del mar en zonas desérticas costeras. La figura 186 muestra una de las mayores del mundo en Israel que proporciona agua potable a más de un millón y medio de personas, aproximadamente el 20 % de la demanda de agua potable para ciudades en Israel.



Figura 186. Obtención de agua potable en la planta de desalinización de IDE Technologies Sorek en Israel (fuente: https://www.ide-tech.com/en/our-projects/sorek-desalination-plant/?data=item_1).

Deseamos adoptar, no obstante, una visión más amplia, imbricando las tecnologías de mitigación del cambio climático en un contexto general. La figura 187 representa este contexto en el que el impacto del cambio climático va a transformar la situación geopolítica actual en otra diferente en plazos más breves de lo que podemos suponer (en mi opinión en menos de veinte años).



Figura 187. Contexto de la estrategia tecnológica relacionada con el cambio climático (fuente: elaboración propia).

Se ha querido representar en la figura 188 una dimensión de tecnologías emergentes relacionadas cuya evolución se verá afectada por el nivel de inversiones y las regulaciones que los países

conjuntamente (las únicas que pueden tener un efecto real sobre el planeta) sean capaces de poner en marcha³². Se ha querido clasificar estas posibles tecnologías en cuatro grandes grupos:

- Tecnologías que ayudan a la reducción de gases contaminantes. Es evidente que el objetivo de sustitución de combustibles fósiles está en el origen de muchas de las energías renovables existentes. Seguirán desarrollándose y mejorando sus prestaciones.
- Tecnologías que ayudan a predecir y modelizar la evolución del clima. Mejora continua de modelos climáticos, apoyados por supercomputadores más potentes, series temporales de datos más precisas y técnicas de inteligencia artificial.
- Tecnologías que ayudan a reducir desastres naturales derivados del cambio climático. Se trata de la aplicación de nuevos conceptos de ingeniería civil para el establecimiento de barreras flotantes, desvío de corrientes superficiales y subterráneas, construcción resistente, protección de zonas costeras, etcétera.
- Tecnologías que ayuden a geotransformar el planeta. Se trata del desarrollo de un nuevo tipo de tecnologías (también conocido como geingeniería) capaces de provocar cambios sustanciales en áreas muy extensas modificando la radiación solar; aún se encuentran en fase conceptual, pero pueden ser factibles a largo plazo si su desarrollo se encauzase adecuadamente.

Del conjunto de tecnologías emergentes que se ha presentado en este documento únicamente algunas de ellas juegan un papel relevante directo en relación con el cambio climático, aunque puedan establecerse relaciones con todas ellas. La figura 188 ha identificado la inteligencia artificial, los sensores (medioambientales), las células solares, los vehículos eléctricos (y las baterías asociadas) y los nanosatélites como algunas de las tecnologías emergentes que pueden ayudar a mitigar los impactos negativos del calentamiento del planeta. Su influencia se ha posicionado en baja, media y alta, así como el tiempo estimado para su disponibilidad en corto, medio y largo.

³² Las dificultades en la pasada Cumbre del Clima celebrada en Madrid en diciembre de 2019 para acordar la puesta en marcha del mercado de emisiones (artículo 6.º del Acuerdo de París), retrasada hasta la próxima Cumbre de Glasgow, demuestra las dificultades de llegar a acuerdos globales por las consecuencias económicas asociadas.

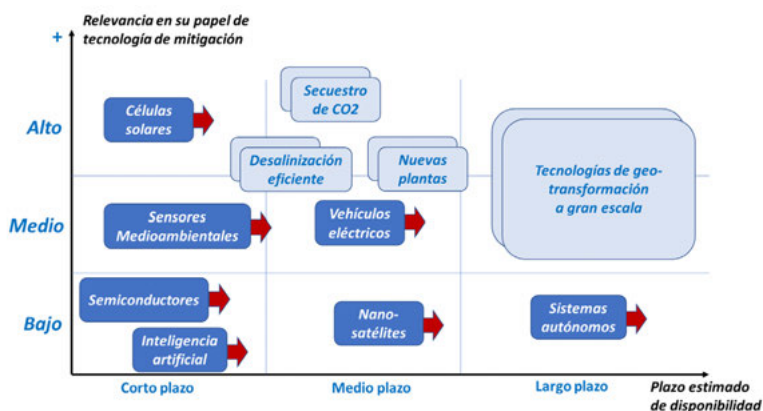


Figura 188. Disponibilidad de tecnologías emergentes y su relevancia en relación con el cambio climático (fuente: elaboración propia).

Brevemente, las razones de su influencia son las siguientes:

- Semiconductores y el cambio climático. La existencia de circuitos integrados más potentes permitirá construir supercomputadores capaces de ejecutar modelos climáticos más complejos y con una mayor seguridad en predicciones a largo plazo superando las limitaciones actuales.
- Inteligencia artificial y el cambio climático. Tecnologías que ayuden a optimizar el consumo energético y reducir emisiones en entornos domésticos, industriales o públicos.
- Sensores medioambientales y cambio climático. Conocimiento de variables medioambientales mediante sensores de bajo coste integrados en dispositivos de usuario (p. ej. teléfonos móviles) que, entre otras ventajas para crear una nueva generación de servicios públicos, empodera al ciudadano para tomar un papel activo.
- Células solares y cambio climático. Eliminación progresiva del uso de combustibles fósiles en todos los sectores (posiblemente junto a otras tecnologías como la eólica).
- Vehículos eléctricos. Reducción de las emisiones de CO₂ en el supuesto de combinarse con tecnologías renovables para la generación de electricidad.
- Nanosatélites y cambio climático. Establecimiento de redes de observación de fenómenos meteorológicos y de impacto del cambio climático en el planeta.

Se han incluido también en la figura 187 otras tecnologías que no han sido abordadas en el presente documento. Su repercusión estratégica únicamente aparece al incorporar la perspectiva del cambio climático. Así, soluciones de secuestro de CO₂, aún poco empleadas, pueden tener un enorme impulso al hilo de los mercados internacionales de CO₂.

También se ha incluido la emergencia de técnicas de desalinización eficiente (no olvidemos que el planeta tiene tres cuartas partes de agua que ante una previsible reducción de precipitaciones en grandes áreas del planeta será esencial) (CAP-NET, 2018) y la adaptación genómica de plantas (CRISPR puede jugar aquí un papel relevante) para resistir estrés hídrico (falta de agua) y térmico (subida de temperaturas) que asegure la suficiente producción de alimentos en el futuro.

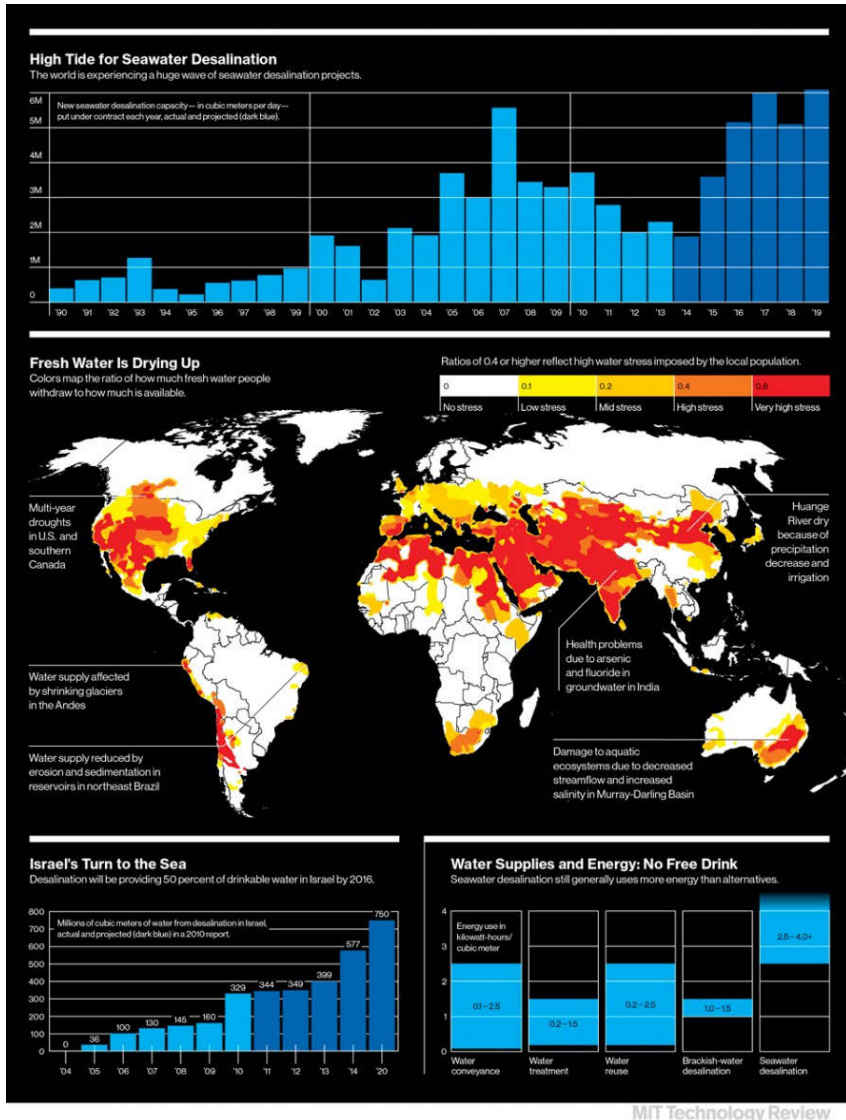
En el caso de la desalinización, la técnica más empleada actualmente denominada osmosis inversa, por la que se hace circular el agua del mar por unas membranas para eliminar la sal, es demasiado costosa y se requieren nuevas tecnologías mucho más eficientes. La figura 189 (Talbot, 2015) refleja la situación en 2015 con foco en Israel que ha impulsado la I+D.

Las tecnologías indicadas previamente son aplicables a pequeña escala (como ejemplo, una planta desaladora genera agua potable para una zona geográfica costera muy limitada, aunque se puedan replicar instalaciones similares en muchas zonas).

Más a largo plazo, aparecen en el horizonte otras posibles tecnologías denominadas globalmente como de geotransformación a gran escala. Su aparición puede resolver o mitigar problemas derivados de inundaciones a gran escala, crear barreras a la desertificación a escala continental o disponer de tecnologías de «megadesalinización», y ya se han propuesto varios enfoques posibles³³.

Estas tecnologías son conocidas como «ingeniería climática o geingeniería», término referido a intervenciones del hombre para modificar el sistema climático de la Tierra. El informe publicado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC) considera la geingeniería como un plan B si el incremento de temperatura no es manejable mediante la simple reducción de emisiones de gases invernadero (IPCC, 2018).

³³ <https://www.carbonbrief.org/explainer-six-ideas-to-limit-global-warming-with-solar-geoengineering>



MIT Technology Review

Figura 189. Situación de desalinización de agua de mar (fuente: Talbot, 2015).

Este enfoque tiene actualmente dos grandes líneas posibles de actuación: eliminación del dióxido de carbono (*carbon-dioxide removal, CDR*) y la gestión de la radiación solar (*solar radiation management, SRM*). *CDR* pretende atacar la raíz del calentamiento global eliminando de la atmósfera los gases de invernadero. Las técnicas del tipo *SRM* no modifican la concentración de los gases de invernadero, pero

compensan su impacto relegando la luz del Sol sobre la Tierra. La figura 190 resume el papel que pueden jugar diversas técnicas aún en fase conceptual o muy exploratoria como el uso de aerosoles o reflectores gigantes en la estratosfera para reflejar la radiación solar.

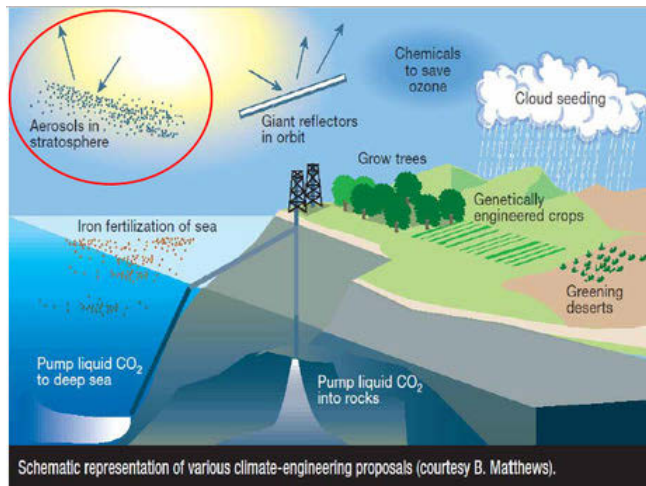


Figura 190. Algunas tecnologías de gestión de la radiación solar (fuente: <https://justmeint.wordpress.com/2011/12/05/solar-radiation-management/>).

La Inyección de Aerosoles Estratosféricos (IAE) se considera la forma más económica y práctica de SRM, de acuerdo a sus promotores. Incluye la propagación de «polvo» mineral a alturas de entre 15 y 20 km en la estratosfera para reducir la luz solar y disminuir la temperatura. Este «polvo» podría ser inyectado por mangueras (como un volcán artificial) o por globos, o bien ser distribuido por aviones especialmente equipados. Entre el amplio rango de impactos y riesgos que esto presenta se encuentran una mayor pérdida de la capa de ozono, disrupción en los patrones de precipitación y el «shock de terminación», que es el abrupto cambio en la temperatura que sobrevendría si llegaran a suspenderse, por factores humanos, técnicos o de financiación, las inyecciones estratosféricas.

Los estudios revisados sugieren que el SRM podría restaurar la temperatura media global a niveles preindustriales, o mantenerla por debajo de los 2 °C hasta finales de siglo, que es el sueño del Acuerdo de París, pero también podría alterar drásticamente los ciclos hidrológicos globales. Los cambios en la precipitación serían muy visibles, con impactos potencialmente severos en regiones altamente pobladas, con enormes superficies de cultivo y consecuencias graves para la agricultura, la disponibilidad de agua, la biodiversidad y la producción de energía.

La mayoría de los modelos revisados muestran que ya sea que los sulfatos se inyecten en el hemisferio norte o sur, la lluvia se reduciría en promedio entre 4,5 % y 13 % en todo el planeta. El escurrimiento superficial disminuiría un 22 %, lo que reduciría la cantidad de agua y nutrientes disponibles en el suelo, pero no evitaría la pérdida de hielo en los polos o el incremento del nivel del mar. En general, aunque se lograra llevar la temperatura planetaria a niveles previos a la revolución industrial, se deteriorarían las condiciones de vida de miles de millones de personas.

<https://www.nodal.am/2019/12/implicaciones-de-la-geoingenieria-manejo-de-la-radiacion-solar-por-keren-hernandez/>

En mi opinión, es lícito otorgar a la tecnología un papel relevante para ayudar a resolver un problema geoestratégico que afecta al conjunto de la humanidad. Si se dispusiera de tecnologías adecuadas no emplearlas sería suicida, no desarrollarlas también.

Eso no implica que no se puedan o deban tomar otras medidas hacia la descarbonización del planeta con decisiones compartidas a nivel político, pero será difícil convencer a países en desarrollo que detengan su desarrollo porque se ha llegado a una situación provocadora por otros países desarrollados que hicieron uso de tecnologías contaminantes en el pasado. Sería posible abordarlas bajo un macroconcepto de competitividad sostenible como preconiza la Unión Europea (Comisión Europea, 2019d).

Las opciones derivadas, en gran medida basadas en modelos teóricos, han sido criticados por no estar probados, ser arriesgados y ofrecer una falsa promesa de salvación en un momento en el que los políticos necesitan tomar decisiones difíciles. Este último aspecto merece una reflexión adicional. ¿Quién y en nombre de quién decidiría ponerlas en marcha?

En todo caso, supone emplear tecnologías cuyos efectos secundarios no son totalmente conocidos y con efectos no limitados a una zona geográfica local por lo que la aplicación del «principio de precaución» será relevante para conocer hasta qué punto la humanidad desea arriesgar empleando una tecnología que no es posible probar a pequeña escala y con efectos a largo plazo desconocidos. Quizás sea pronto para plantear estas cuestiones cuando una gran parte de la población mundial lo ve aún como algo no inmediato. El riesgo es no estar preparados.

Lo que sí está ocurriendo es un posicionamiento de todos los países avanzados en incrementar los recursos de I+D relacionados con la

lucha contra el cambio climático, tanto en la mejora de los modelos climáticos como en el desarrollo de tecnologías específicas de mitigación. El nuevo programa de investigación de la Unión Europea, Horizonte Europa, pretende destinar el 30 % de los recursos previstos en 2021-2027 (alrededor de 100.000 millones de euros) a este tema.

También la iniciativa privada se ha movilizado. La presión sobre las empresas del sector de energía para que reaccionen y contribuyan a buscar soluciones irá creciendo. Como ejemplo, los miembros de la Breakthrough Energy Coalition (BEC) (<https://www.b-t.energy/>), formada por empresas e individuos³⁴, se han comprometido a invertir más de 1.000 millones de dólares en nuevas tecnologías en los próximos veinte años. Para ello han creado el fondo Breakthrough Energy Ventures (<https://www.b-t.energy/ventures/>) con el objetivo de «invertir en tecnologías capaces de reducir como mínimo medio gigatón de gases de invernadero anualmente, alrededor del 1 % de las emisiones globales estimadas en 2050». No se trata de «donaciones», sino con el objetivo declarado de generar un retorno financiero a las inversiones.

Una preocupación derivada, sobre todo, al emplearse fondos públicos, es asegurar que el acceso a tecnologías para reducir la dependencia del CO₂ o para mitigar sus consecuencias redunde en beneficio de la población mundial: es decir, las tecnologías de mitigación deberían estar abiertas y accesibles a todos los países. Ello llevaría a un modelo de transferencia de tecnología abierta cuyo marco legal debería ser acordado en los organismos multilaterales correspondientes. Queda trabajo por realizar en este sentido desde una óptica de partenariado público-privado como el problema del acceso a medicamentos para el tercer mundo ha demostrado en las pasadas décadas.

En definitiva, existen muchas preguntas abiertas que reflejan su relevancia estratégica; algunas de ellas son las siguientes:

- ¿Qué organización multilateral, país o países van a asumir el liderazgo? Los problemas de puesta en marcha de los acuerdos de París por los países firmantes (o su abandono como es el caso de EE. UU.) son indicadores de las dificultades.
- ¿En qué condiciones se financiará su desarrollo? En este ámbito, el recurso al empleo de sistemas de imposición medioam-

³⁴ Entre ellos se encuentran Jeff Bezos, CEO de Amazon; Jack Ma, CEO de Ali Baba; Michael Bloomberg, CEO de Bloomberg; Bill Gates, CEO de Bill&Melisa Gates Foundation; o/y Richard Branson, CEO de Virgin, por citar algunos.

biental con objeto de acelerar la transición puede ser útil en un contexto de reflexión sobre prioridades públicas.

- ¿Se plantean partenariados público-privados?, ¿qué roles asumirá cada parte? ¿Quién asumirá las consecuencias? Aquí, experiencias como la de BEC pueden ser empleadas como modelo.
- ¿Qué hacer con los derechos de propiedad intelectual?, etcétera. Es evidente la necesidad de un equilibrio entre el empleo de modelos de ciencia abierta con los de asegurar la explotación de los esfuerzos económicos procedentes de la iniciativa privada.

Soy consciente de las dificultades existentes, pero también de la responsabilidad geoestratégica interterritorial e intergeneracional asociada que exige una respuesta. Hará falta consensuar una gobernanza climática global efectiva y ejecutiva más allá de las declaraciones políticas para las que no estamos aún preparados ¿Sabremos crearla?

Conclusiones

El interés de la sociedad por las consecuencias de las tecnologías emergentes se ha incrementado enormemente en todo el mundo. Indicador de ello es la evolución de la cobertura en los medios de comunicación en los últimos cinco años recopilados por CB Insights (2020) tal y como se puede ver en la figura 191. Ya no es algo marginal de interés para unos pocos especialistas, se ha convertido en un elemento clave, para bien y para mal, en la vida de todos los ciudadanos.

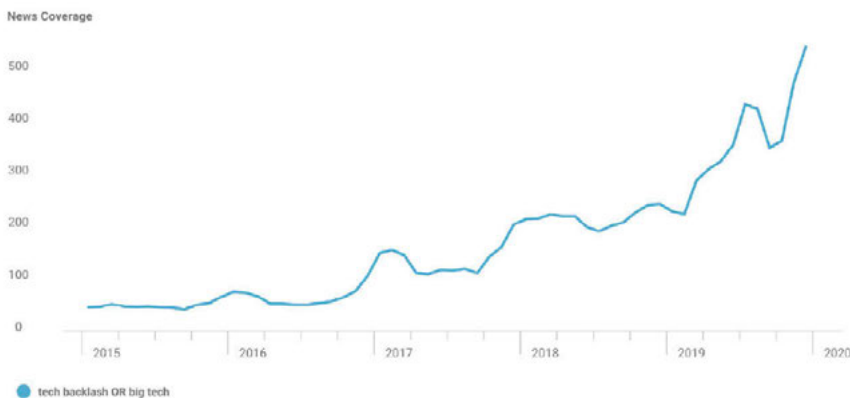


Figura 191. Evolución de noticias sobre tecnologías emergentes en el periodo 2015-2019 (fuente CBI Insights, 2020).

Este incremento del interés de la sociedad en la tecnología también se manifiesta en el incremento de los recursos dedicados a su desarrollo, en la inversión en nuevas empresas de base tecnológica o en la visión de su valor estratégico para empresas, instituciones y gobiernos de todo tipo.

El presente documento ha elaborado una «visión multidimensional de la relevancia estratégica de la tecnología» en términos generales atendiendo a su nivel de maduración y adopción en un determinado sector o sectores socioeconómicos; para ello, se ha presentado un modelo conceptual de perfil de relevancia estratégica de una tecnología conjugando ocho dimensiones complementarias cuya valoración, cualitativa, evoluciona con el tiempo.

Posteriormente, el análisis se ha focalizado en un conjunto reducido de tecnologías y sistemas tecnológicos emergentes con interés estratégico extrayendo el perfil de relevancia de cada uno de ellos (en muchos de ellos con estimación de su evolución hasta 2030); su análisis no se ha centrado exclusivamente en los aspectos científico-tecnológicos, sino en su impacto en la toma de decisiones por Gobiernos y corporaciones con una visión geopolítica sobre su previsible evolución futura.

Seguidamente, se ha abordado el concepto de dependencia e independencia tecnológica y sus consecuencias en el posicionamiento de los países y las actuaciones para reducir esa dependencia. En este contexto se ofrece una visión tecnológica hacia el futuro focalizada en el efecto del cambio climático y el papel que pueden jugar las tecnologías para mitigarlas.

He intentado utilizar las fuentes de información más recientes posibles, empleando hiperenlaces a noticias e información reciente cuando he creído necesario indicar cómo esta información llega a los medios de comunicación y ciudadanos; de todas maneras, se trata de tecnologías emergentes cuya evolución es continua y nuevos descubrimientos, decisiones gubernamentales e institucionales, e impactos sociales se producen diariamente. El panorama ofrecido no es, ni podrá ser, estático. Se trata simplemente de ofrecer una imagen poliédrica del impacto estratégico de la tecnología.

La batalla (tecnológica) por el control de las tecnologías emergentes consideradas claves continuará en el futuro entre las grandes potencias en un mundo multipolar como el actual; de forma aún más intensa esta batalla provoca y está provocada por una aceleración del proceso de desarrollo de esas tecnologías y,

al mismo tiempo, por una reducción del ciclo de vida útil de los sistemas desarrollados con la misma. Las decisiones de carácter tecnológico de Gobiernos, empresas e instituciones serán más frecuentes en el futuro; las veremos cada vez más presentes en las agendas de los organismos en los que se adoptan decisiones políticas, económicas y de defensa y seguridad³⁵.

Además, el conjunto de posibles escenarios futuros que se abre con el desarrollo de las tecnologías emergentes se incrementa. En la formulación de escenarios futuros plausibles la dimensión tecnológica influye, no solo debido a la información objetiva que lo alimenta, sino también por la percepción y el deseo como ciudadano por muy experto que se sea (véase la figura 192). El futuro está por construir y es una labor colectiva.

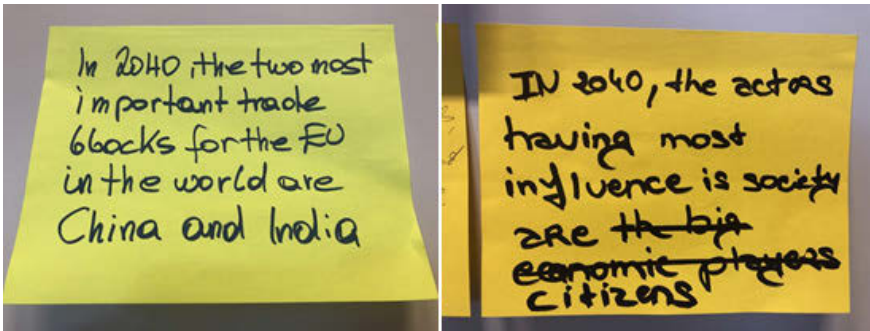


Figura 192. Visiones del futuro por los participantes en un seminario de prospectiva tecnológica (fuente: <https://blogs.ec.europa.eu/eupolicylab/how-do-we-build-scenarios-in-a-foresight-exercise/>).

El rápido crecimiento económico que países con tecnologías intermedias experimentaron durante los años noventa y primeros de este siglo se ralentizó debido a la crisis económica y financiera global. Los datos indican que el crecimiento de la productividad disminuyó fuertemente desde la última década. Este hecho sugiere una incapacidad del modelo socioeconómico vigente que condujo a gran parte del crecimiento previo caracterizado por una combinación de varios factores tales como la rápida expansión de las cadenas de suministros globales que impulsaron inversiones directas del exterior elevando las cifras del comercio internacional y los precios locales de productos de consumo.

³⁵ Como ejemplo de este creciente interés, Dinamarca creó en 2017 un «ministro embajador digital» para poder hablar y negociar con las grandes empresas tecnológicas multinacionales. Hoy, todos los jefes de Gobierno se reúnen con los directivos de estas grandes empresas.

Sostener en el futuro altos niveles de crecimiento económico sostenido requerirá un cambio en el modelo de crecimiento a un nuevo modelo cada vez más ligado a la innovación y, especialmente, a la innovación tecnológica. Cambios de modelo que son fáciles de proponer y defender, pero muy difíciles de implementar con las «luces cortas» que caracterizan el proceso de toma de decisión actual.

Desde el punto de vista social, debemos ser conscientes de que el desarrollo tecnológico no es neutro. Afecta al progreso de las naciones y a las personas que las habitan, y también genera desigualdades y dependencias con aspectos socioeconómicos duraderos. Los aspectos éticos y los derivados del nivel de riesgo asumido y asumible por la sociedad han condicionado, y lo seguirán haciendo en el futuro, el desarrollo de tecnologías avanzadas con efectos sistémicos.

Por este motivo será necesario que las sociedades avanzadas se doten de nuevos marcos legislativos y regulatorios, actualicen los pre-existentes y dispongan de una población suficientemente formada e informada que asegure que el uso de la tecnología respete un conjunto de normas éticas y valores colectivos libremente asumidos.

Este proceso, sin embargo, no se desarrollará de igual forma en todos los países y momentos; va a depender de la capacidad y voluntad política de proponer reglas de juego comunes y hacerlas respetar, teniendo en cuenta los contextos culturales en los que se apliquen. Los valores occidentales de decisión democrática, aplicados al papel y reglas de juego con los que deberá utilizarse la tecnología no serán los únicos sobre la mesa, competirán en el futuro con otros modelos como el de China.

Es verdad que muchos de los conflictos tecnológicos actuales pueden encuadrarse en la «zona gris»³⁶ en la que los bandos participantes (ya sean empresas, ciudadanos y Gobiernos) en conflictos no declarados no están siempre bien identificados, ni conducen necesariamente a situaciones de guerra directa con pérdidas humanas y materiales; pero sus consecuencias socioeconómicas y de modulación de la opinión y comportamientos de los ciudadanos pueden ser muy elevadas y persistentes.

A lo largo del texto se ha visto cómo el desarrollo tecnológico no solo contribuye al «poder duro» (*hard power*) de los países con

³⁶ Zona del espectro de los conflictos donde predominan las actuaciones situadas al margen del principio de buena fe entre Estados (*bona fide*), que pese a alterar notablemente la paz no cruzan los umbrales que permitirían o exigirían una respuesta armada (CCDC, 2019).

su aplicación directa en el desarrollo de sistemas de armas o en el uso de tecnologías para poder ejercer una presión directa u obtener información del contrincante, sino que también emerge como un elemento cada vez más ligado al denominado «poder blando» (*soft power*)³⁷ por el que los países pretenden influir en el comportamiento de otros (Nye, 2011) para lograr que su comportamiento y decisiones vayan en la línea deseada, promoviendo partenariados a largo plazo a los que, más o menos voluntariamente, se suman otros países. El desarrollo de la Iniciativa *Belt and Road* iniciada por China y a la que me he referido anteriormente es un ejemplo de la puesta en marcha de este poder blando al que se suman muchos otros países.

Estos partenariados tecnológicos deben analizarse con cuidado para anticipar consecuencias que afecten a las capacidades futuras en plazos mucho más breves de lo que se puede haber pensado. Un ejemplo de ello es la reciente alianza tecnológica entre Rusia y China complementando sus capacidades tecnológicas en varios ámbitos que ha causado preocupación por lo que supone de partenariado entre regímenes autoritarios y ha motivado la alerta con propuestas específicas de actuación (Bendett y Kania, 2019).

EE. UU. y Australia, junto con sus socios y aliados, deberían monitorizar y mitigar las actividades de transferencia de tecnología y actividades de investigación colaborativa que puedan implicar robo de propiedad intelectual (IP) y actividades extralegales incluyendo la expansión de mecanismos de compartición de información. Esta colaboración debería incluir coordinación en controles de exportación, análisis de inversiones y restricciones contra la colaboración con implicaciones militares o instituciones problemáticas en China y Rusia (Bendett y Kania, 2019).

La forma habitual de medir el «poder blando» de un país presta, en mi opinión, una atención muy reducida al impacto de la tecnología (como hace, por ejemplo, el Índice de Presencia Global de Elcano)³⁸. Será necesario revisar esas métricas puesto que muchas de las decisiones y posicionamientos futuros de los países

³⁷ El concepto de poder blando se debe a Joseph Nye, quien promovió ese concepto en 2004. También desarrolló la idea de «poder inteligentes» (*smart power*), que definió como la capacidad de combinar poder blando y duro en una estrategia exitosa y que las Administraciones demócratas de Clinton y Obama han empleado.

³⁸ El Índice de Presencia Global de Elcano, o el definido por el Institute for Government y la empresa Monocle en 2010, que utiliza un marco de cinco subíndices incluyendo cultura, diplomacia, educación, empresa/innovación y gobernanza, son ejemplos de este tipo de métricas.

van a estar ligados a la tecnología de manera creciente a lo largo del tiempo. Ya no es solo una expresión de la diplomacia de la ciencia (Aukes *et al.*, 2019) como se entendía hasta hace pocos años: sus límites no están circunscritos al conocimiento científico libremente difundido, penetra en la difusión y el uso de tecnologías particulares y se convierte en un elemento transversal de la diplomacia moderna.

De vuelta a Europa, esta discusión sobre los escenarios tecnológicos futuros nos afecta plenamente. En un reciente documento publicado por el Real Instituto Elcano (Feas y Steinberg, 2019) se aboga por una continuación del proceso de integración europea con objeto de evitar una pérdida de relevancia. Solo de esa manera se conseguirá disponer del «poder blando europeo» suficiente para influir en la batalla tecnológica mundial. Conseguirlo o no dependerá de la voluntad conjunta de los europeos y su determinación para conseguirlo.

Como el mundo, al mismo tiempo, será cada vez más asiático y menos europeo, más Indo-Pacífico y menos Atlántico, y con recurrentes pulsiones nacionalistas que corroerán las débiles estructuras de la gobernanza económica global, la única opción para la Unión Europea pasa por aumentar su autonomía estratégica, mejorar sus poderosos instrumentos de política económica exterior —de los que la política comercial es solo uno— y seguir construyendo, en palabras del Tratado de Roma, una «Unión cada vez más estrecha». De lo contrario, sus países —todos ellos demasiado pequeños para poder desempeñar un papel relevante en un mundo de grandes potencias— se verán lentamente condenados a la irrelevancia, a la pérdida de prosperidad y, en último término, al sometimiento a alguno de los nuevos imperios que dominen la geopolítica internacional en el siglo XXI.

Feas y Steinberg (2019).

Para la Unión Europea será necesario impulsar el desarrollo de tecnologías que faciliten el mantenimiento de una economía moderna y competitiva al mismo tiempo que se respeten los derechos del individuo y las normas éticas del uso de sistemas tecnológicos (Espas, 2019). Si Europa no lo hace, otros lo harán de formas diferentes y alejadas de los principios y valores europeos.

Esta preocupación, desde un enfoque realista y conocedor de las limitaciones europeas, ha sido expresado por la nueva presidenta de la Comisión Europea Ursula von der Leyen al reconocer que «aún no es tarde para conseguir la soberanía tecnológica en al-

gunas áreas críticas» (Leyen, 2019); áreas citadas que han sido abordadas en la presente monografía.

En mi opinión, no bastará para ello con disponer de recursos económicos suficientes, sino disponer de un marco regulatorio adecuado y de una ambición política compartida por todos los Estados miembros. Como se ha insistido repetidamente, ocupar un lugar preminente en tecnologías emergentes no está al alcance de países aislados.

Puede ser demasiado tarde para replicar la creación de hiperjugadores (*hyperscalers*), pero no es demasiado tarde para conseguir la soberanía tecnológica en algunas áreas críticas. Para liderar el camino hacia la nueva generación de hiperjugadores invertiremos en cadena de bloques, computación de altas prestaciones, computación cuántica, algoritmos y herramientas para compartir y usar datos. Definiremos conjuntamente estándares para esta nueva generación de tecnologías que se convertirán en la norma global.

Ursula von der Leyen, presidenta de la Comisión Europea (2019).

En algunos ámbitos, como el de Defensa, los intentos europeos de reducir la dependencia con EE. UU. en la provisión de nuevos sistemas de armas tecnológicamente muy avanzados chocan con varios intereses cruzados. Por un lado, las dificultades internas de los Estados de la Unión Europea para asignar recursos al desarrollo de sistemas tecnológicamente muy avanzados con la distribución adecuada de compromisos financieros e industriales entre los países participantes y, por otra, la presión externa del propio EE. UU. para que la Unión Europea siga adquiriendo sistemas de armas procedentes de su industria de Defensa apelando a la relación en el seno de la OTAN³⁹; es decir, para seguir manteniendo una dependencia tecnológica con respecto a EE. UU.

No ayudan en este contexto las dificultades existentes actualmente en el proceso de aprobación de un presupuesto comunitario expansivo de la Unión Europea para el próximo periodo de perspectivas financieras 2021-2027, ni tampoco las decisiones

³⁹ La ambición inicial manifestada por la Comisión Europea de dotar la creación de un Fondo Europeo de Defensa con 13.000 millones de euros ha sido contestada por la presidencia del Consejo (Finlandia) en diciembre de 2019 con una cifra de 6.014 millones de euros, así como incluir 2.500 millones de euros en la iniciativa *Connecting Europe* para el desarrollo de redes militares. Aún es pronto para conocer cómo terminará la discusión presupuestaria durante 2020.

unilaterales tomadas por los Estados miembros en cuanto a su política de adquisición de armas. El proceso de salida del Reino Unido de la Unión Europea tampoco ayuda a configurar un contexto favorable.

La opinión de Jorge Domecq, director de la Agencia Europea de Defensa (EDA), señala la necesidad de coordinar la innovación ante la «amenaza híbrida» y no me parece muy optimista.

«A Europa le quedan entre cinco y diez años para evitar que desaparezca su industria de defensa y retener el *know how* y la capacidad tecnológica». El punto clave es que «las nuevas tecnologías cambian la organización y la forma de establecer la defensa. La inteligencia artificial va a cambiar la manera en que se desarrollan las misiones de forma automatizada; el *big data* facilita generar simulaciones, para la planificación, y la impresión 3D permitirá reducir dependencias logísticas».

Aunque en materia logística también es relevante que en Europa «hay muchas diferencias de armas. Tenemos cuatro tipos de tanques, por solo uno en EE. UU., y seis tipos de fragatas por una. Es absurdo que en una misión conjunta dos países aliados no puedan prestarse repuestos porque son incompatibles», añade. «Sin un aumento en inversión en I+D no habrá una base tecnológica para la defensa» (Jorge Domecq).

<https://innovadores.larazon.es/es/not/a-europa-le-quedan-de-5-a-10-anos-para-salvar-su-industria-de-defensa>

A lo largo del capítulo 2 se ha presentado el perfil de relevancia geoestratégica de las tecnologías seleccionadas y se han extraído unas consecuencias derivadas para cada una de ellas. En esta sección, desde un punto de vista global, y sin descender a los detalles de una tecnología concreta, es posible extraer un conjunto de consecuencias estratégicas de alto nivel que resuman los elementos fundamentales del análisis y sirvan de base para una discusión estratégica en el futuro.

Las consecuencias estratégicas identificadas a modo de conclusiones son las siguientes:

1. La tecnología juega un papel acelerado en el progreso socioeconómico de la sociedad, como siempre ha sucedido.
 - a) La diferencia es que ahora también lo juega en el posicionamiento geopolítico de los países porque de ello dependerá su futuro en una sociedad tecnológica como la

actual, en el que la evolución tecnológica y sus efectos sobre la sociedad es muy rápida.

2. El impulso al desarrollo de tecnologías emergentes capaces de generar valor para el ciudadano forma parte de la estrategia global a largo plazo de los países avanzados.
 - a) Esta visión requiere asignar inversiones públicas crecientes en los niveles bajos de madurez de la tecnología y elaborar políticas de innovación asumiendo los riesgos derivados en una penetración temprana de la tecnología.
 - b) Esta actitud se hace aun aceptando el riesgo de que el desarrollo de algunas de las tecnologías emergentes no llegue a alcanzar los objetivos previstos y el esfuerzo realizado sea baldío, o que aparezcan consecuencias derivadas no totalmente previstas que exijan reaccionar con prontitud con las normas legales adecuadas.
3. No existe posibilidad real de que una nación aislada pueda conseguir la autarquía tecnológica de forma continuada.
 - a) La aceleración de los ciclos de desarrollo de nuevas tecnologías y de su posterior obsolescencia tecnológica hace difícil que se pueda mejorar la posición global sobre una tecnología si no se ha participado intensamente en su proceso de generación. Ello obliga a adoptar posiciones proactivas y participación en desarrollos tecnológicos avanzados con otros socios.
 - b) Obviamente, cualquier país podrá beneficiarse del uso de la tecnología en cuestión mediante la adquisición de productos y servicios basados en la misma, pero con ello su relevancia como país será muy pequeña y se limitará a absorber nuevas tecnologías y convertirse en un mercado finalista de otros.
4. La casi imposibilidad de disponer en el seno de una única organización de todos los conocimientos requeridos para desarrollar sistemas tecnológicos avanzados (multitecnológicos) ha expandido el uso de modelos de innovación abierta.
 - a) En este modelo, socios tecnológicos situados en todos los países del mundo cooperan en el desarrollo de sistemas avanzados acelerando el flujo de generación de conocimiento.

- b) Las grandes empresas multinacionales han tejido una red de socios públicos y privados en todo el mundo con el fin de influir en su agenda de I+D. En el fondo, no hay fronteras en la atracción y adquisición de talento.
5. La supremacía tecnológica de EE. UU. en todas las tecnologías emergentes analizadas en la presente monografía sigue siendo real, aunque el acercamiento de China desde el comienzo de este siglo XXI hace que los dos países se disputen la hegemonía tecnológica en las dos próximas décadas.
- a) En algunas tecnologías como son las de comunicaciones móviles 5G, semiconductores y, en poco tiempo, en inteligencia artificial la situación entre EE. UU. y China es pareja.
 - b) Rusia sigue siendo relevante militarmente, pero no domina ninguna de las tecnologías emergentes transversales.
6. El establecimiento de programas de I+D supranacionales para acelerar el desarrollo tecnológico y facilitar su comercialización mediante partenariados público-privados es ya común y crecerá en la próxima década.
- a) En esta situación, los esfuerzos en I+D de países pequeños solo tendrán sentido en la medida en la que se trabaje conjuntamente en programas supranacionales y se realice una selección inteligente de las áreas prioritarias.
 - b) La Unión Europea ha adaptado este modelo como base de sus programas marco de investigación e innovación forzando cada vez más intensamente a la cofinanciación de actuaciones tecnológicas entre el presupuesto comunitario, los nacionales y regionales, y los procedentes de los recursos internos de instituciones públicas y privadas.
7. La Unión Europea deberá realizar un esfuerzo más intenso que el realizado hasta el momento para seguir desarrollando tecnologías emergentes, atrayendo inversiones y talento de todo el mundo si no quiere verse relegada.
- a) Europa, aunque sigue manteniendo una base científica muy potente y domina el desarrollo inicial de algunas de las tecnologías analizadas, no tiene la capacidad empresarial suficiente con el tamaño necesario para imponerse en etapas posteriores.
 - b) Ello implica asignar en el presupuesto comunitario un peso mayor al esfuerzo en investigación e innovación

- para poder seguir siendo una referencia en el desarrollo tecnológico en dominios seleccionados, y modificar progresivamente la regulación comunitaria.
- c) Sin ello, varios sectores industriales de los que depende el empleo en la Unión Europea no podrán seguir el ritmo de desarrollo suficiente para asegurar su competitividad futura.
8. La capacidad de las grandes multinacionales para realizar inversiones en el desarrollo de tecnologías emergentes estratégicas supera la capacidad de muchos Gobiernos.
- a) La aparición de grandes multinacionales tecnológicas, en gran medida asociadas al sector TIC, han transformado el panorama empresarial en periodos de tiempo muy cortos y han generado relaciones de confrontación de poder con gobiernos en planos de igualdad efectiva (aunque no formal).
 - b) Preocupación creciente en los Gobiernos para regular los flujos de inversión y beneficios, ligados a prácticas impositivas por las que las grandes corporaciones tecnológicas (p. ej. basadas en plataformas digitales) no tributan en el país en el que han generados sus beneficios.
9. La mayor parte de las tecnologías emergentes tienen un valor dual, civil y militar, aunque el vector de su desarrollo es predominantemente civil.
- a) Pocas tecnologías emergentes se han desarrollado expresamente para asegurar la superioridad militar (como es el caso de sistemas hipersónicos o la de energía dirigida).
 - b) Algunas de las doctrinas de uso de tecnologías militares convencionales, como es el caso de la tecnología para armamento nuclear, sufrirán cambios relevantes debido a la emergencia de algunas tecnologías como las citadas anteriormente.
 - c) En los demás casos, el esfuerzo es el de trabajar, en paralelo si fuera posible, en la adaptación al entorno militar de las tecnologías de mayor interés.
10. La interdependencia tecnológica es un factor crítico que forma parte de las negociaciones internacionales de las grandes potencias y de los grupos tecnológicos multinacionales.

- a) Esta interdependencia es el origen del incremento de alianzas estratégicas, fusiones y adquisiciones de empresas y apoyo a la creación de nuevas empresas de base tecnológica con crecimiento global.
 - b) Los Gobiernos actúan, una vez más, teniendo presente los intereses de sus grandes empresas en las relaciones internacionales.
11. Los flujos de conocimiento sobre una tecnología, basados en el acceso libre a la información y la migración de personas con conocimientos especializados se encuentran con limitaciones geopolíticas.
- a) Disputa geopolítica entre una visión de «ciencia abierta» y otra de «ciencia controlada» cuando se trata de recursos públicos.
 - b) Estas limitaciones probablemente crecerán en el futuro por el deseo de las grandes potencias de controlar la información sensible y constituirán un elemento clave de la futura «diplomacia científica».
12. Las previsiones sobre las consecuencias del cambio climático harán que la Humanidad, esta vez sí como una acción colectiva global y coordinada, desarrolle tecnologías que ayuden a mitigar sus consecuencias.
- a) La irrupción de los objetivos de desarrollo sostenible en la agenda política y tecnológica global supone un cambio de actitud fundamentado en el reconocimiento de la gravedad del problema por parte de amplios estratos de la sociedad.
 - b) El avance en la búsqueda de soluciones tecnológicas sobre el planeta solo será posible cuando exista el convencimiento generalizado de que no existen soluciones locales y que únicamente una actuación global podrá tener éxito.
13. Es necesario conciliar el uso de tecnologías emergentes con el «principio de precaución» estableciendo regulaciones adecuadas que equilibren el avance de la innovación con la protección del ciudadano.
- a) Las regulaciones tecnológicas aparecen siempre después del desarrollo tecnológico cuando los Gobiernos intentan establecer límites a usos que se han demostrado perjudiciales a la sociedad.

- b) Anticiparse a los problemas potenciales, estableciendo límites regulatorios excesivos al desarrollo de nuevas tecnologías, cuando estos límites no son aceptados por todos los países, puede provocar situaciones de inferioridad tecnológica a medio plazo que será necesario analizar cuidadosamente, buscando el equilibrio más adecuado.
 - c) Esta visión regulatoria tiene una carga ideológica profunda, pudiendo llevar en la práctica a situaciones de infraregulación y de sobre regulación en ámbitos geográficos como se empieza a ver en el caso de CRISPR, bionanorobots o robótica inteligente que generarán mayores desequilibrios en el papel jugado por países determinados en el desarrollo de tecnologías emergentes.
14. Los poderes públicos deberán asegurar la difusión del conocimiento necesario para que el ciudadano sepa utilizar tecnologías emergentes en su vida diaria y evaluar sus consecuencias sociales.
- a) La alfabetización tecnológica, más allá del uso básico de las tecnologías de la información a la que muchas veces se reduce el término, se ha convertido en un elemento básico para disponer de ciudadanos informados.
 - b) Las sociedades que no sean capaces de trasladar ese conocimiento, en el nivel adecuado, al conjunto de los ciudadanos correrán el riesgo de que sus reacciones impidan adoptar las decisiones más adecuadas para no perder la relevancia en el contexto internacional.

En mi opinión, nos encontramos en un momento de inflexión en el que el incremento de la relevancia estratégica de muchas tecnologías emergentes, su dualidad civil-militar, y la creciente necesidad de ingentes recursos humanos y materiales para madurarlas y dominar el mercado conllevan la necesidad de una visión estratégica más amplia que la habitualmente existente.

El proceso llevará tiempo, aunque los plazos se acortan con cada generación tecnológica, el uso cotidiano de tecnologías que parece que están maduras no es inmediato. En algunos dominios, como el de las aplicaciones de estas tecnologías emergentes en el campo militar, el factor humano sigue siendo imprescindible y modulará su uso. Como dice Amos Yadlin⁴⁰ (Brende *et al.*, 2020)

⁴⁰ Executive Director, Institute for National Security Studies, Israel.

todo será más caro, irá más despacio y será menos efectivo de lo que se predice inicialmente. Pero, en mi opinión, ocurrirá, y unos países estarán más preparados que otros.

El argumento sobre los efectos limitados de las tecnologías digitales en un contexto militar está parcialmente basado en el «poder de los tres doses» formulado por el general israelí Isaac Gat. El primer «dos» es que el desarrollo y producción de cualquier nuevo sistema de armas es el doble de caro de lo que se estimó inicialmente. El segundo «dos» es que la innovación tarda el doble de tiempo para construir capacidades operativas significativas de las que se había propuesto, y el último «dos» es que los nuevos sistemas de armas tienden a ser solo la mitad de efectivo en el campo de batalla de lo que se había predicho.

Amos Yadin, *The Upcoming Technological Revolution on the Battlefield? Not So Fast.* (cap. 7 en Brende et al., 2020).

En todo caso, el desarrollo de tecnologías emergentes con relevancia estratégica como las analizadas en esta monografía es un proceso lento, cuya introducción en la sociedad requiere inversiones cuantiosas y asumir riesgos. El reconocimiento de las dificultades de cada una, pero también de su relevancia, está forzando a los países avanzados a considerar su mejor posicionamiento desde una visión de ecosistema innovador.

En el caso de tecnologías con una gran dualidad civil-militar con impacto en el desarrollo de sistemas de armas que ayuden a crear o mantener superioridad, este ecosistema de innovación tecnológica de Defensa implica la cooperación público-privada con la participación de universidades y centros de investigación públicos. Disponer de instrumentos adecuados para ello, asegurar la cooperación a largo plazo de entidades públicas y privadas, asegurar alianzas estratégicas a nivel internacional y asegurar los recursos económicos suficientes requiere la adopción de decisiones políticas.

Solo será posible si la sociedad en su conjunto acomete una reflexión sobre el papel que debe jugar la tecnología en su desarrollo. La presente monografía ha intentado ofrecer una base de información y análisis para realizar esa reflexión colectiva tan necesaria sobre la relevancia estratégica de las tecnologías emergentes. Espero que sea útil para ello.