

Prefacio

Estrategia tecnológica

Gonzalo León Serrano

«La futura era GNR (genética, nanotecnología, robótica) no nacerá debido solamente a la explosión exponencial de la computación, sino debido a la interacción y al gran número de sinergias que resultarán de múltiples avances tecnológicos entrelazados entre sí».

Raymond Kurzweil, *La singularidad está cerca*.

Los factores estratégicos¹ junto con los geopolíticos han sido históricamente considerados como elementos claves en el devenir de las naciones en un área geográfica determinada. Algunos de estos factores han estado siempre presentes en el análisis y explicación de los grandes acontecimientos que han conformado el mundo que conocemos, como así ha ocurrido a lo largo de la

¹ Otro concepto ligado es el de geoestrategia. El diccionario de la Real Academia de la Lengua Española define «geoestrategia» como «Estrategia basada en el conocimiento y análisis de las condiciones geográficas de una región» (<https://dle.rae.es/?w=geoestrategia>). Aunque, en un principio, el concepto fue vinculado casi por completo al campo militar, hoy en día la definición de geoestrategia es más general, y se entiende como toda organización racional que lleva a cabo diversas acciones con el objetivo de mejorar su posicionamiento internacional teniendo en cuenta las restricciones geográficas a las que está sometida.

historia con la presión demográfica, el acceso a los recursos naturales o fuentes de energía, o el control de las rutas comerciales.

Otros factores, por el contrario, solo han adquirido recientemente una visibilidad e importancia decisiva, como sucede con los pasados cambios climáticos, para explicar la génesis de acontecimientos del pasado y poder anticipar visiones o confrontaciones geopolíticas y estratégicas futuras. Su efecto en las grandes migraciones ocurridas a nivel regional o subregional o el hundimiento de civilizaciones en base a la información y conocimiento paleoclimático del que no se disponía anteriormente y que ahora apoya decisivamente el trabajo de los historiadores, aporta luz a acontecimientos cuya explicación no era sencilla sin incluir esta dimensión.

Para algunos autores (Kaplan, 2013) la posición geográfica de los países, su orografía, fronteras naturales o condiciones climáticas influyen en su evolución más allá de lo que ellos mismos suponen. El subtítulo del libro de Kaplan *La venganza de la geografía*, «Cómo los mapas condicionan el destino de las naciones», es revelador de su punto de vista. Un país, y la sociedad que vive en el mismo, salvo algunos pueblos nómadas, puede evolucionar desde múltiples puntos de vista, lo que no puede hacer es cambiar fácilmente de lugar sin arriesgar a perder sus raíces.

Sin reducir la importancia de los factores indicados, existe otro elemento, superpuesto a los anteriores, que últimamente ha adquirido una importancia decisiva sobre el que se desea focalizar el presente documento: la relevancia estratégica del desarrollo de la tecnología. De hecho, el proceso de desarrollo tecnológico y el uso posterior de tecnologías disruptivas para la generación de productos y servicios avanzados se ha convertido en un vector fundamental para explicar el posicionamiento estratégico de los países y su capacidad de influencia sobre otros en un entorno globalizado.

Jean-Pisany Ferry (2019), en un reciente artículo publicado en el periódico *Financial Times*, decía que «Los tiempos están cambiando. La carrera por las nuevas tecnologías se intensifica, Europa ya no puede basar su defensa en EE. UU., la rivalidad entre EE. UU. y China está remodelando las relaciones internacionales, las políticas nacionales de migración han fallado en enfrentarse a la presión, hay necesidad de cambiar la marcha hacia la descarbonización». Es notable ver cómo esa carrera por las nuevas tecnologías ya aparece como un elemento destacado en la

consideración de los cambios geoestratégicos necesarios en la sociedad.

Al proceso de desarrollo tecnológico y la difusión combinada de varias tecnologías complementarias en un periodo de tiempo relativamente corto se les ha denominado convencionalmente «olas tecnológicas»²; algunas tecnologías características de una determinada «ola» se han difundido de manera casi simultánea en el tiempo con un efecto multiplicador de cambios profundos en la sociedad. La figura 1 (Natural Edge, 2004) describe esquemáticamente el proceso de desarrollo tecnológico en «cinco olas tecnológicas», cada una de ellas ligada a un conjunto de tecnologías clave que modificaron la sociedad de su tiempo.

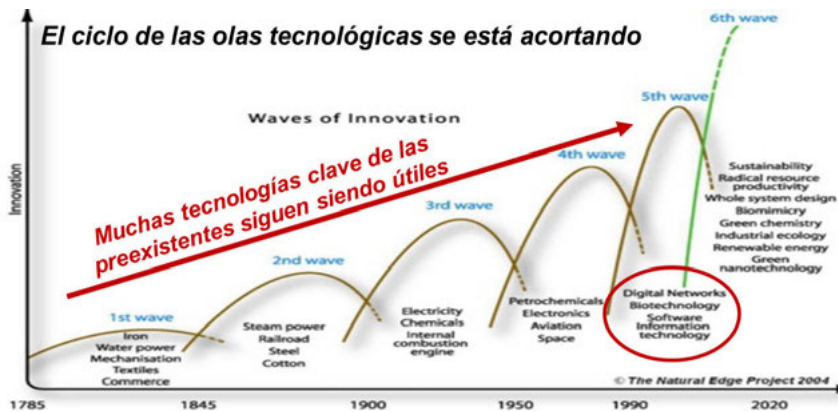


Figura 1. Olas tecnológicas (fuente: adaptado de «The Natural Edge Project», 2004) (<https://research.qut.edu.au/tnep/>).

Vivimos en la cresta de una ola (la quinta) asociada a la profunda penetración de «redes digitales», «biotecnología» y «aplicaciones de las tecnologías de la información». La sexta ola está generándose en estos momentos, aunque el conjunto de tecnologías distintivas no esté todavía totalmente consolidado; algunas de las tecnologías emergentes que se analizarán en el presente do-

² Más precisamente, podrían denominarse «olas de innovación tecnológica» porque lo que está detrás de ello no solo es la emergencia de una determinada tecnología por disruptiva que esta sea, sino la innovación en el mercado y en la sociedad derivada de la difusión de productos y servicios avanzados basados en ella con efectos muy profundos en la forma en la que trabajamos, nos relacionamos y comportamos en la sociedad. Olas que barren muchos de los supuestos de la construcción de una sociedad en un momento histórico determinado y que configuran el futuro... hasta que sean reemplazados o modificados por el uso de los productos de la siguiente ola de innovación tecnológica.

cumento forman o formarán parte de esa sexta ola tecnológica, una vez desarrolladas y difundidas completamente en las próximas una o dos décadas.

Un elemento que conecta con la visión estratégica, que se analizará en detalle posteriormente, es su contribución a la globalización de nuestra sociedad. De hecho, la tecnología ha formado siempre parte de los factores facilitadores de las diferentes fases del proceso de globalización desde el siglo XV hasta la actualidad (véase figura 2) (Círculo de Empresarios, 2019); los países que las han dominado han sido también los que se han aprovechado más de ello. Ahora, en pleno proceso de desarrollo de la denominada «cuarta fase de la globalización» (cercana a lo que antes hemos denominado sexta ola), caracterizada por la expansión de bienes y servicios digitales, es el control del conocimiento y el acceso a las nuevas tecnologías, sobre todo, las digitales, las que aseguran este proceso de globalización a una escala sin precedentes



Figura 2. Infografía - Globalización (fuente: Círculo de Empresarios. Octubre 2019).

Como indica la figura 2, cada fase de globalización ha tenido unos países que emergieron como líderes de esa época apoyados por su saber hacer y su tecnología. Si la globalización 3.0 tuvo a EE. UU. como líder indiscutido, la fase de globalización 4.0, como se verá repetidamente en esta monografía, responderá a un liderazgo bipolar entre EE. UU. y China, con el concurso de otros países en algunas de las tecnologías fundamentales.

Obviamente, no todas las tecnologías emergentes existentes, ni los productos y servicios basados en ellas, tienen este carácter estratégico; algunas, más allá de su relevancia para un sector de aplicación determinado o para guiar la evolución de determinadas entidades, no han provocado ninguna repercusión a escala global con consecuencias en la toma de posición nacional o en la relación de poder global entre grandes potencias; tampoco han

estimulado la puesta en marcha o modificación de políticas comerciales internacionales, o de grandes programas de desarrollo tecnológico apoyadas por la existencia de normas (estándares) internacionales *de iure* o *de facto*, ni promovido alianzas internacionales, ni provocado cambios en el sistema educativo para la generación significativa de recursos humanos con los conocimientos apropiados en muchos países, o lo harán en plazos muy breves.

Otras, por el contrario, sí tienen este valor. Este documento se centra en estas últimas, a las que denominaremos «tecnologías emergentes con repercusiones estratégicas».

Tampoco he pretendido abordar otras (muchas) tecnologías, conocidas y empleadas en el siglo XX o anteriores, que siguen teniendo un carácter estratégico, pero que han perdido el carácter de «emergentes» desde hace tiempo. Como ejemplo, nadie duda de la relevancia estratégica de la tecnología de extracción y procesamiento del petróleo o gas natural para la obtención de combustibles fósiles³, de la generación de energía nuclear de fisión, de la metalurgia de materiales metálicos, de la informática convencional, o del desarrollo de la aeronáutica subsónica (comercial o militar); su efecto estratégico en el devenir de nuestra sociedad ha sido abordado muchas veces y nos seguirán acompañando muchos años. En todas ellas se suceden continuamente innovaciones incrementales, pero no se trata de innovaciones disruptivas que afecten a cambios en la estrategia tecnológica de los países.

El foco del presente documento se sitúa en aquellas tecnologías y sistemas tecnológicos (estos últimos integrando diversas tecnologías, algunas de ellas emergentes, acompañadas por otras ya consolidadas como las citadas) que aún se encuentran en proceso de desarrollo con aplicaciones disruptivas, y que tienen o van a tener a muy corto plazo, en mi opinión, una relevancia estratégica en el sentido definido anteriormente.

Es importante destacar que no se trata de presentar una descripción técnica detallada de las tecnologías seleccionadas, sino de un análisis de su relevancia estratégica, actual o futura. La inclusión de la base científica o de algunos elementos técnicos de

³ Aunque la tecnología de fracturación hidráulica (*fracking*) haya contribuido a alterar los precios del petróleo y la situación de dependencia y poder de algunas potencias exportadoras (caso de EE. UU.) con otros productores habituales (p. ej. los países de la OPEP).

las tecnologías seleccionadas se ha hecho únicamente a efectos de poder interpretar mejor las razones de su relevancia estratégica, no se pretende con ello sustituir a la descripción de sus fundamentos científico-técnicos que deberá encontrarse en otro tipo de textos.

En muchos informes y análisis realizados en el pasado se ha querido ver la repercusión estratégica de la tecnología desde el punto de vista de su relación con el sector de la defensa y la seguridad ligada al valor que posee para asegurar la supremacía en la confrontación militar frente a posibles enemigos⁴. Para comprender, sin embargo, el fenómeno de la relevancia estratégica de la tecnología en su integridad se debe adoptar una visión mucho más amplia: la de su papel en el «impacto socioeconómico y su efecto en el reequilibrio de poder entre grandes potencias». El vector del uso militar de estas tecnologías juega en ello un papel disuasorio o de acompañamiento, según los casos, pero no es el único, ni el que acelera o ralentiza el desarrollo de la tecnología.

Desde mi punto de vista, la dimensión clave de la repercusión estratégica de la tecnología es «la búsqueda y defensa del progreso socioeconómico y su mejora relativa»; es ella la que motiva la adopción de medidas por parte de las grandes potencias: así, facilitar o no el acceso a determinados conocimientos o recursos tecnológicos (p. ej. mediante la subida o bajada de aranceles a determinados productos), fortalecer estrategias de diversificación y alianzas con socios tecnológicos situados en cualquier parte del mundo para avanzar más deprisa y compartir riesgos (p. ej. basados en el uso de modelos de innovación abierta), o la creación de programas internacionales de apoyo a la formación de recursos humanos (p. ej. con programas masivos de becas de movilidad y sistemas de visado selectivo), se ha convertido en una constante que supera el ámbito institucional y se imbrica en el geopolítico y en las relaciones internacionales.

Otro elemento clave para entender la relevancia estratégica es que muchas tecnologías con un carácter dual han mutado el vector de desarrollo militar inicial por otro civil. La consecuencia

⁴ Un ejemplo típico es la explicación de la expansión de los hititas desde la meseta de Anatolia en el siglo XVII antes de J. C. hacia Oriente Medio hasta chocar con el Imperio egipcio debido a la superioridad de su tecnología de la metalurgia del hierro que permitió construir armas de hierro más potentes frente a las de bronce, empleados por otros pueblos limítrofes. Seguramente, coadyuvado por otros factores, algunos militares, como el empleo táctico del carro ligero y, probablemente, empujados también por factores de cambio climático regionales.

de este hecho junto al fenómeno de la globalización hace que el conocimiento tecnológico esencial fluya de una forma mucho más rápida, intensa y, salvo excepciones, menos costosa. Será imparable y situará la necesidad de entender su evolución en el núcleo de la toma de decisión en términos socioeconómicos y geopolíticos.

En un mundo multipolar, también la dimensión de generación de conocimiento tecnológico y de desarrollo de tecnologías emergentes, sacudido por relaciones complejas de «coopetición»⁵ entre países, la emergencia de nuevos actores no estatales con acceso a tecnologías y sistemas tecnológicos sofisticados (drones, inteligencia artificial, nanosatélites, herramientas *software* de ciberataque, etcétera), combinado con una penetración global de las tecnologías de la información y las comunicaciones, el acceso ubicuo a información digital por los ciudadanos, nuevos procesos acelerados por la miniaturización de sistemas tecnológicos y por el movimiento de personas con conocimientos tecnológicos especializados en zonas geográficas no totalmente controladas, eleva la relevancia del factor de seguridad y defensa en el proceso de desarrollo tecnológico.

Las tecnologías emergentes transformarán el mundo y nuestra obligación será saber en qué dirección. Como Sanjurjo (2011) decía: «es necesario comprender cómo la ciencia y la tecnología contribuirá a definir la distribución de poder e influencia para analizar los diferentes clústeres de tecnología que serán críticos para mapear el futuro». Pero no todas las que se encuentran en desarrollo terminan en buen puerto (es decir, introducidas en el mercado o en la sociedad y utilizadas por usuarios potenciales), ¿en cuáles debemos apostar en un futuro cercano?

El presente documento aborda un conjunto reducido de tecnologías y sistemas tecnológicos que han sido seleccionadas por el impacto estratégico que ya tienen o por el que, previsiblemente, van a tener en un periodo relativamente corto de pocos años desde mi punto de vista. Para ello, se recurre a una visión conceptual del concepto de «relevancia estratégica potencial» en base a datos procedentes de fuentes públicas, y se asumen determinadas estimaciones de su evolución a corto y medio plazo utilizando previsiones procedentes de informes de vigilancia tecnológica existentes y de mi propia apreciación.

⁵ El término se refiere a la coexistencia de estrategias simultáneas de cooperación y competición.

Téngase presente que no se trata de revisar todas las tecnologías emergentes, sino focalizar el análisis solo en aquellas que, desde mi punto de vista conforman la evolución de la discusión estratégica actual y que son actualmente, o lo serán en el futuro próximo, tecnologías sobre las que gobiernos e instituciones supranacionales deberán preocuparse.

A lo largo del texto se proporcionan múltiples ejemplos que ilustran hasta qué punto se están produciendo consecuencias o decisiones tecnológicas estratégicas de calado. Algunas de ellas están directamente relacionadas con el ámbito de la defensa, y otras muchas no. Se han seleccionado ejemplos concretos actuales que, a pesar de que no necesariamente deban extrapolarse, ayudan a comprender el impacto potencial de la tecnología considerada.

El marco temporal en el que es posible realizar estimaciones precisas de la evolución de una tecnología no puede ser muy superior a diez años; más lejos en el tiempo las incertidumbres son muy elevadas, aunque sí pueden establecerse tendencias sobre los impactos geopolíticos derivados hasta 2040. Por ello, en muchos de los casos se ha realizado el análisis de relevancia estratégica de una tecnología en dos periodos temporales: el actual (2020) y el futuro cercano (2030). Más allá se han indicado «tendencias» cualitativas cuando los procesos en marcha para el desarrollo de una determinada tecnología lo permiten.

El documento se ha estructurado en base a tres grandes capítulos y cinco anexos (referencias y acrónimos, dos propuestas para pasar de modelos cualitativos a cuantitativos con el fin de medir el grado de relevancia estratégica de una tecnología y la dependencia tecnológica respectivamente, y otro último sobre la gestión de riesgos tecnológicos estratégicos):

- El capítulo 1 describe la repercusión estratégica del desarrollo tecnológico, explicitando los vectores fundamentales para ello. Se presta atención a factores relevantes como la madurez de la tecnología, su grado de difusión en una determinada comunidad (país, sector o región) y a los riesgos asociados. También se verá cómo es difícil mantener una supremacía tecnológica por mucho tiempo.
- El capítulo 2, el más extenso, detalla la situación de las tecnologías y sistemas tecnológicos identificados y el impacto estratégico que estos tienen, atendiendo a diversas dimensiones, entre ellas su vertiente dual o la relevancia en la supe-

rioridad militar. El enfoque seguido permite razonar sobre las dimensiones de relevancia estratégica identificadas y extraer las conclusiones pertinentes.

- El capítulo 3 aborda el concepto de interdependencia tecnológica desde el punto de vista estratégico, y las consecuencias derivadas de la necesidad de reducir la dependencia para un determinado país o sector de determinadas tecnologías emergentes. Se ha incorporado también una sección relativa a la estrategia tecnológica del cambio climático y sus consecuencias geopolíticas desde un punto de vista de interdependencia. Ello permite elaborar un conjunto de conclusiones.
- En el anexo 1 se incluyen las referencias empleadas a lo largo del texto.
- En el anexo 2 se listan los acrónimos empleados y su significado.
- En el anexo 3 se propone la elaboración de un Índice de Relevancia Estratégica Tecnológica (IRET) formado por un conjunto de dimensiones cuya obtención periódica se plantea como propuesta a desarrollar en el futuro.
- En el anexo 4 se propone un método para calcular la dependencia tecnológica: propuesta de medida de la Dependencia Tecnológica Estratégica de un país (DTE), para una tecnología o para un conjunto de ellas con el fin de iniciar una reflexión en este sentido y disponer de una base de comparación para la adopción de las medidas políticas o socioeconómicas necesarias.
- Finalmente, en el anexo 5 se aborda la gestión de riesgos tecnológicos con unas fases metodológicas generales y aplicando el método de gestión propuesto a una de las tecnologías tratadas en la monografía.