

EL FACTOR CIENTÍFICO - TECNOLÓGICO EN INTELIGENCIA Y PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA

Enrique Morales Rodríguez*

RESUMEN

El factor científico-tecnológico (C y T) es uno de los cinco del poder nacional. Al igual que los demás, debe prestar medios para el logro de los objetivos del Estado y del Gobierno, pero también en muchos casos puede tener un papel en la propia planificación estratégica. Este eventual rol consiste en la previsión de futuros avances científicos y técnicos, sus impactos en los ambientes interno y externo y las implicancias estratégicas que resulten, a estudiarse durante el diagnóstico. En la fase política, la ocurrencia de ciertos hechos portadores de futuro dependerá de las capacidades tecnológicas de los diversos actores. El factor C y T tendrá un papel clave en este análisis. En la fase estratégica, esta rama del poder puede tener un rol significativo en la previsión de ciertos obstáculos. La rama C y T del Poder, en la planificación estratégica actuará integrado e interactuando con otros factores. En este trabajo se busca analizar las modalidades que puede tomar esta actuación.

Palabras clave: planificación estratégica, científico-tecnológico, inteligencia estratégica, diagnóstico, análisis escenarios.

ABSTRACT

The scientific-technological factor (S & T) is one of the five factors of national power and as such, it is expected to provide the necessary means for the achievement of State and Government's objectives. Additionally, in many cases it can have a role in strategic planning itself. This ultimate role consists of the prediction of future scientific and technical advances, their impacts on the internal and external environment and the deriving strategic implications to be explored during the diagnosis phase. In the political phase, the occurrence of

* Ingeniero Químico y Químico Farmacéutico. Especializado en tecnología nuclear y seguridad nuclear en la República Argentina. Se desempeñó en la actividad privada, en las áreas de minería, irradiación ionizante y otras. Docente e investigador en las Facultades de Química e Ingeniería. Asesor desde 2010 de la Autoridad Reguladora Nacional en Radioprotección (ARNR) del Ministerio de Industria, Energía y Minería. Docente del Centro de Altos Estudios Nacionales (CALEN) en Ciencia y Tecnología desde 2014. Correo electrónico: ef_morales@hotmail.com.

certain events announcing future outcomes will depend on the technological capabilities of the various actors. The S & T factor plays a key role in this analysis. In the strategic phase, this branch of power can play a significant role in anticipating certain obstacles. In strategic planning, the S & T factor will act integrated and interacting with other factors. This paper seeks to explore the different modalities in which that interaction could take place.

Keywords: strategic planning, scientific-technological, strategic intelligence, diagnosis, scenario analysis.

Introducción

El método para el planeamiento estratégico, cuya meta siempre es el logro de los objetivos fundamentales por el poder nacional, define a este como “una conjunción interdependiente de voluntades y medios volcados para alcanzar una finalidad”. A efectos de facilitar su valoración y aplicación, lo desglosa en cinco factores (CALEN, s.f., Tomo I, p. 15):

- Político
- Económico
- Psicosocial
- Militar
- Científico – Tecnológico

Este despiece del poder nacional en diversas ramas – siempre integradas bajo un mando único – corresponde a la diversa naturaleza de los efectos que cada una puede producir. El rol de éstas es, pues, brindar al poder nacional de medios en diversos ámbitos para el logro de los objetivos. En el caso de C y T, por ejemplo, es la creación (o el fomento de esta) de conocimiento e innovación científica y técnica nacional, una de sus principales metas. Complementando lo anterior, la capacidad de introducción, regulación y gestión sostenible en el país de proyectos de infraestructura de gran porte, es otro de los principales medios que este factor aporta (CALEN, s.f., Tomo II, pp. 62-63). Las capacidades de los diversos factores del poder irán evolucionando en el tiempo. En la fase diagnóstico del método de planificación estratégica, siempre se realiza el análisis del poder, del que surgen las capacidades de cada rama del poder para un fin determinado.

Sin perjuicio de este rol principal como medios del poder, la metodología estratégica prevé que aquellas también participen en la planificación.

En este trabajo analizaremos posibles modalidades por las que C y T pueden hacer aportes en inteligencia y planificación estratégica y estudiaremos algunos ejemplos.

El factor Científico-Tecnológico en Fase Diagnóstico

En el análisis del ambiente y de su posible evolución, esta rama del poder tiene gran potencial para proyectar futuros avances en esas áreas, tanto internos como externos. Si bien en este análisis es muy difícil realizar pronósticos inequívocos, el estudio de las tendencias de evolución del conocimiento pueden fijar las pautas para la determinación de escenarios probables e improbables. Estas velocidades de avance se pueden manifestar, por ejemplo, a través del número anual de publicaciones científicas y concesión de patentes, dentro de un horizonte temporal en que tales comportamientos puedan mantenerse. En la era actual, es muy habitual que un producto tecnológico innovador se logre por avances sucesivos e integrando conocimientos preexistentes en diversas áreas. De aquí que el citado análisis de tendencias debe hacerse con mirada amplia y en una amplia gama de campos simultáneamente. A modo de ejemplo, avances en terapia genética¹ aplicada a la salud humana, pueden depender tanto de nuevos conocimientos científicos y técnicos en genética, bioquímica y virología, como de desarrollos innovadores en nanotecnología. Nuevos logros en algunos o todos estos campos a su vez pueden ser impulsados o facilitados por productos innovadores en informática e inteligencia artificial. Dentro de cada uno de estas disciplinas, a su vez, muchas veces el ritmo de expansión del conocimiento científico marca el del avance tecnológico, como se puede observar, por ejemplo, para el creciente campo de la Inteligencia Artificial, en la Fig. 1.

¹ La *terapia genética*, consiste en la transferencia de genes (fragmentos de ácido desoxirribonucleico, ADN), a determinado tipo de células del cuerpo humano que cursan alguna patología, con el objetivo de mitigarla. Se pueden transferir genes que protejan de cierto daño, que reemplacen algún gen defectuoso o que provoquen la muerte de modificaciones dañinas, como las cancerosas, por ejemplo. Lograr esta transferencia, es una de las mayores dificultades de esta prometedora terapia. A tal fin, se intenta el uso de virus modificados y de *nanomáquinas* –estructuras artificiales de tamaño en el orden de algunas millonésimas de milímetro– para lograr el transporte del material genético hacia las células objetivo (Arregui, Beltrán y Rojo, 2009, pp. 2-6).



Figura 1. Evolución del número de publicaciones científicas y familias de patentes relacionadas con Inteligencia Artificial en el mundo.

Fuente: World Intellectual Property Organization (WIPO) Technology Trends 2019: Artificial Intelligence.

Como se observa, durante lapsos de tiempo acotados, hay ritmos de evolución fijos. Esto lleva a visualizar que hay también correlaciones previsibles entre las velocidades de crecimiento de los conocimientos científicos y tecnológicos. El análisis de estas tendencias –permanentemente actualizadas– en ocasiones permite pronosticar el surgimiento de futuros productos tecnológicos innovadores en áreas de interés estratégico. La conversión de estos nuevos conocimientos técnicos en medios propios concretos, será un tema a analizar por el equipo de planificación. El factor C y T puede colaborar estableciendo probabilidades de ocurrencia para dichos avances técnicos en diversos horizontes temporales. Por otra parte, también dicho factor deberá pronosticar el potencial impacto social de estos previsibles productos innovadores. Asimismo, competirá a esta rama del poder, evaluar si tecnologías hoy conocidas pueden tener un impacto social distinto en el futuro, en el contexto de las necesidades que se prevean. Este análisis se deberá realizar tanto a nivel nacional como regional e internacional, procurando en primer lugar la obtención anticipada de bienes o servicios técnicos para los que se prevea un impacto social importante en la nación. De este análisis, junto con una estimación de las posibilidades de acceso de los diversos actores externos a los productos tecnológicos, podrán surgir también posibles oportunidades y amenazas del ambiente externo.

La conversión de un avance científico o tecnológico en un recurso o medio estratégico, es un proceso largo y en el que pueden surgir múltiples obstáculos. Éstos serán más numerosos, cuanto mayor es la expansión o alcance que se pretenda dar a tal tecnología. La disponibilidad o carencia en un país de ciertos recursos naturales o humanos e infraestructura técnica, entre otros, son factores claves a este respecto. Cuando se busca aprovechar a nivel nacional los avances logrados en el país, C y T debe trabajar con los factores político, económico, psicosocial y militar, para prever desde tempranas etapas los potenciales obstáculos y delinear las posibles respuestas. En dicho trabajo coordinado, C y T, también puede participar en la producción de Inteligencia relacionada con la expansión futura de recursos tecnológicos en el exterior. Las implicancias internas de estos avances externos, así como la previsión de fortalezas y debilidades que surjan, también requerirán un importante trabajo de inteligencia estratégica, con relevante participación de C y T. El impacto positivo que pueda tener a nivel nacional el uso de la innovación tecnológica – ya propia o extranjera– es el primer factor a analizar, entre muchos otros.

Existen abundantes ejemplos históricos de países en vías de desarrollo, muy dependientes del comercio de materias primas. A partir del surgimiento de nuevas tecnologías creadas en el extranjero, muchos de dichos países se encontraron con escenarios tanto favorables como desfavorables. A mediados del siglo XIX y principios del XX, la República de Chile era el principal exportador mundial de nitrato de sodio², muy valorado por ser la base tanto de explosivos, como de los fertilizantes para agricultura usados en aquella época. El impacto social y militar de esta sustancia era, pues, enorme. Al tener casi el monopolio de este recurso natural, entonces, Chile disponía de una fortaleza económica y geopolítica muy alta. Las exportaciones de nitrato de sodio constituían antes de la Primera Guerra Mundial el 70 % del total y el 30 % del producto bruto interno del país (González Miranda, Calderón y Artaza, 2016, p. 86). Pero luego de que en 1918, Fritz Haber ganara el Premio Nobel de Química por su método de síntesis de amoníaco a partir de nitrógeno e hidrógeno³, rápidamente se

² La nomenclatura química para esta sustancia es: NaNO_3 . También denominado “nitrato de Chile”, por su abundancia en este país, en yacimientos ubicados en el Norte (Nitrato, 2023).

³ El nitrógeno se encuentra en el aire de la atmósfera de cualquier país y el hidrógeno puede producirse también en todas partes. Por otra parte, a partir del amoníaco se puede fabricar nitrato de sodio por el denominado “proceso Ostwald”, ya patentado en 1902. Así, el conocimiento de las reacciones químicas descubiertas por Haber, asociado a otras tecnologías surgidas en la época, impulsó el desarrollo de la infraestructura industrial para obtener nitratos

expandió en Europa y resto del mundo la industria de producción de nitratos sintéticos. Esta disponibilidad propia para los países más desarrollados, provocó que las exportaciones chilenas de salitre se desplomaran en 1919, a la cuarta parte en volumen y la quinta en valor real respecto al año anterior (González Miranda, Calderón y Artaza, 2016, p. 87).

Con el tiempo, otros desarrollos tecnológicos extranjeros, abrieron nuevas oportunidades para Chile. El motor eléctrico (en sus versiones industriales y a gran escala) se empezó a usar en la década de 1880⁴. La bombilla incandescente fue inventada en Estados Unidos de América por Thomas Edison en 1879, una época muy cercana a la antes mencionada. A partir de estas creaciones, con obvio impacto social y económico, en Europa y Estados Unidos de América se comenzaron a desarrollar redes eléctricas de potencia con amplio alcance geográfico. Desde principios del siglo XX, el uso de estos dispositivos empezó a crecer lenta pero sostenidamente en todo el mundo. Luego de 1950, el crecimiento de la población mundial fue vertiginoso, sumado a la elevación del nivel de vida medio y al surgimiento de artefactos electrónicos con impacto socioeconómico masivo, como las herramientas informáticas. Esto provocó que el consumo global de los citados dispositivos eléctricos y muchos otros creciera a gran velocidad, requiriendo gigantescos suministros de cobre e impulsando vertiginosamente las exportaciones chilenas⁵. Existen proyecciones que prevén el futuro del mercado del cobre y posibles posiciones de Chile en él, una de las cuales se aprecia en la Fig. 2, junto con la evolución histórica.

sintéticos a escala masiva (TRIPLÉNACE, 2023). Esto permitió que las industrias de explosivos y agropecuaria, se hicieran independientes de proveedores extranjeros, brindando a Europa y otros países desarrollados, una gran fortaleza socioeconómica y resultando en una gran debilidad económica y geopolítica para Chile.

⁴ Ya en la década de 1820, los trabajos de M. Faraday, P. Barlow, W. Sturgeon y otros, crearon los primeros prototipos que fueron la base de los motores eléctricos. Sin embargo, recién luego de 1880, las contribuciones de N. Tesla, Faraday, W. von Siemens y otros permitieron la expansión de las redes eléctricas para uso energético, sustituyéndose las máquinas de vapor y los tranvías tirados por caballos por sus sustitutos accionados por estos motores (Motor Eléctrico, 2023).

⁵ Siendo el cobre un metal conductor de la electricidad para el que de momento no hay alternativas viables para uso en gran escala y contando Chile con algunas de las principales reservas globales, su posición como primer exportador mundial es sólida desde hace varias décadas (Kerr, 2014).

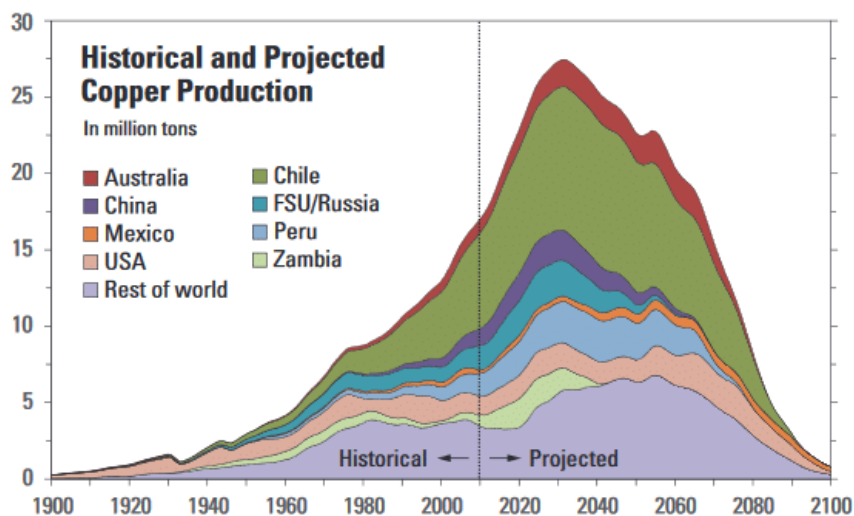


Figura 2. Evolución histórica de la producción de cobre (1900 – 2010) y proyecciones a futuro (2010 - 2100), discriminadas por países productores.

Fuente: Kerr, R. (2014). The coming copper peak. *Science* (343), pp. 722-724.

Estas proyecciones se basan en ciertos supuestos de evolución de la población mundial y desarrollo socioeconómico global, previsiones a futuro del reciclado de metales. La estrategia de países productores de cobre, debe analizar todas las posibles previsiones para estas variables. Por supuesto, distintos escenarios de adopción global de ciertos dispositivos como vehículos eléctricos, entre otros, también tendrán enorme incidencia en estas previsiones de consumo. Por otra parte, las características técnicas de los yacimientos de cobre, serían un aspecto a analizar, en conjunto con otros factores económicos, medioambientales y más allá del volumen de las reservas.

A modo de otro ejemplo que involucra en buena medida a nuestro país, se puede recordar que las primeras impresoras para equipos informáticos a nivel doméstico, comenzaron a surgir en el mundo sobre fines de la década de 1980, cercano en el tiempo al surgimiento de diversas modalidades de “packing”⁶. La expansión en el uso de estos avances, disparó el consumo mundial de ciertos tipos de papel, lo que a su vez incidió en el comercio de celulosa –material base versátil, fácilmente transportable, del que se puede obtener diversos papeles, productos de packing y otros (Forestry Economics

⁶ Packing: expresión en inglés que significa: empaque o empackado. Refiere a procesos de envasado aséptico de muchos alimentos y bebidas en envases similares al cartón. Este tipo de embalaje tiene ventajas para el consumidor, económicas por la facilidad de transporte y medioambientales.

and Policy Div., 2006). Las exportaciones se establecieron desde regiones con potencial para hacerlo, hacia Europa, Estados Unidos de América, República Popular China, como se puede apreciar en el punto de inflexión, alrededor del año 1990 en la Fig. 3.

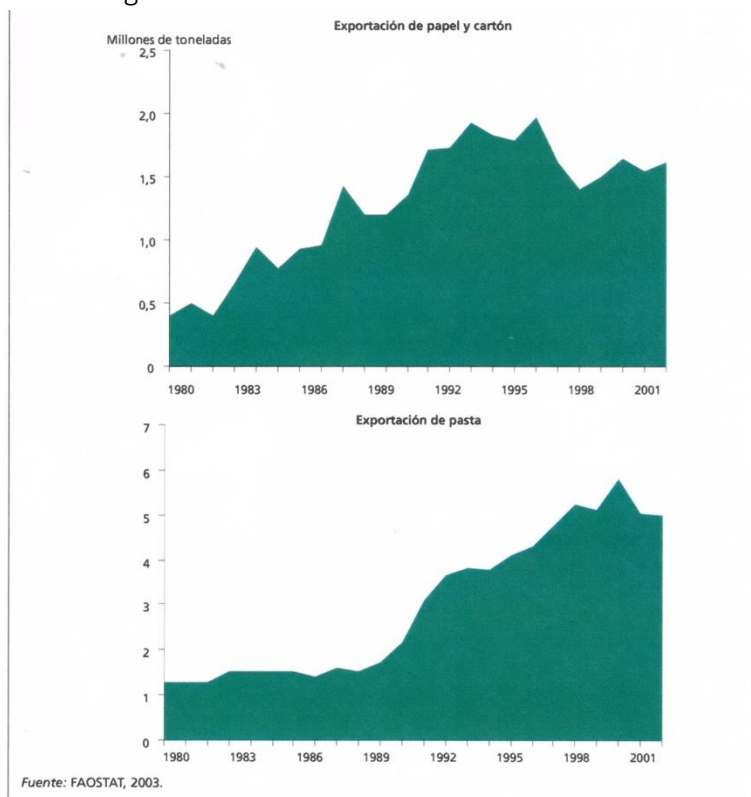


Figura 3. Evolución (1980 – 2003) de las exportaciones de papel, cartón y pasta de celulosa de América Latina y el Caribe.

Fuente: (Forestry Economics and Policy Div., 2006). Tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina y el Caribe, p. 29.

En nuestro país, la Ley 15.939 de 28/12/1987 (“Ley forestal”), fomentó la forestación a nivel nacional, pasando la superficie de bosques productivos artificiales, de 48.000 há en 1987 a 1:450.000 há en 2012, un ritmo de crecimiento 17 veces mayor al promedio de América Latina. Las mega industrias de celulosa instaladas en nuestro país desde 2007, representan el segundo producto de exportación nacional (Uruguay XXI, 2021, p. 4). El sustento de esta actividad agroindustrial, basada en esta expansión de la superficie forestada, es la vertiginosa demanda mundial por derivados de celulosa.

Se ha señalado ya en reiteradas oportunidades las consecuencias que puede tener para la industria cárnica, principal bien de exportación (Uruguay XXI, 2021), de Uruguay, el posible surgimiento de las denominadas “carnes artificiales”. En años recientes se han logrado avances técnicos importantes en este campo; se ha manifestado que estos alimentos sintéticos apuntan a segmentos de consumidores a los que no se dirige la producción cárnica uruguaya (Kadim, 2015, p. 222). La expansión a nivel social de una creciente conciencia sobre temas medioambientales y de cuidado de los animales, retroalimentan las inversiones destinadas a lograr aún mayores avances. Pronósticos acerca del desarrollo futuro de las carnes artificiales y su eventual impacto sobre Uruguay deben entonces, considerar con mirada muy amplia muchos aspectos técnicos, económicos y sociales a escala nacional, regional y global.

Estos ejemplos, ilustran la compleja interrelación de aspectos a analizar y la necesidad de que todos los factores del poder trabajen en forma integrada en la previsión anticipada de oportunidades y amenazas que puedan surgir del desarrollo tecnológico externo. Este trabajo coordinado deberá extenderse a la elaboración de las definiciones estratégicas necesarias para responder a esos diversos escenarios de la manera más favorable a los objetivos fundamentales del Estado. Desde luego, no menos importante es la prospectiva que se haga sobre el trabajo nacional realizado en investigación y desarrollo científico-tecnológico y el pronóstico de sus eventuales logros. La gestión de estos a fin de plasmarlos en medios disponibles para el poder nacional, deberá analizar con visión estratégica, las fortalezas que crearán y las debilidades que eliminarán.

El factor Científico-Tecnológico en Fase Política

En esta Fase, se establecen Hechos Portadores de Futuro (HPF) y escenarios derivados de ellos. Muchos HPF ocurrirán en esferas políticas, económicas y militares y los peritos de estas áreas tendrán un papel clave en su enunciación. Sin embargo, la definición exacta de algunos eventos futuros, puede depender de las capacidades tecnológicas concretas de los diversos actores. En el pronóstico de aquellos, tendrá gran importancia el factor C y T, por lo que éste, en conjunto con los otros factores, puede participar decisivamente en el enunciado de los HPF. También, la evolución de fenómenos naturales (por ejemplo: vinculados al medio ambiente) incidirá en la probabilidad de ciertos escenarios. La previsión anticipada del curso de estos

sucesos será decisiva, por lo que la C y T también tendría una mirada importante para aportar.

Al establecer las matrices de intereses y estrategias de actores, el factor C y T puede analizar planes que sean públicos, a la luz de capacidades tecnológicas conocidas o previsibles. En ocasiones, este análisis facilitará la estimación de probabilidades para algunos escenarios. La presunción de estrategias que no sean públicas, eventualmente puede también establecerse con base en la prospectiva de dichas capacidades y de los demás factores. A este respecto, es importante destacar que una decisión estratégica –ya propia o de otros actores– técnicamente sólida y con suficiente respaldo interno, puede verse socavada por acciones políticas y/o psicosociales de terceros que causen efectos económicos, militares u otros. Estas potenciales vulnerabilidades, ilustran la importancia de un análisis que incluya la mirada integrada desde todos los factores del poder nacional.

A modo de ejemplo, se realizó una prospectiva de escenarios para una estrategia energética uruguaya a 2050. Se analizaron, entre otras, las implicancias que podrían tener sobre aquella, el cumplimiento global del Acuerdo de París (2015) sobre mitigación del cambio climático y las modalidades por las que se lograra este deseable objetivo universal (Morales, 2022, pp. 121-127). Así, surgieron posibles escenarios en que un uso mundial masivo de baterías como forma de almacenar excedentes de energías renovables, podía derivar en una vulnerabilidad para Uruguay. Ésta surgiría de la dificultad de acceder, en ese contexto, a minerales clave (cobalto, litio y otros) claves a este fin, que serán muy demandados a nivel global si estas formas de generación eléctrica se expandieran en todo el mundo. Se señaló que, de ocurrir grandes avances en la tecnología de baterías, esta vulnerabilidad podría desaparecer. Siguiendo con este ejemplo, se estudió el almacenamiento energético en forma de hidrógeno. Éste tiene potencial aplicación en transporte y otros, en lo que es clave la tecnología de celdas de combustibles⁷, cuya expansión requeriría un drástico aumento en el suministro de platino y otros metales preciosos. De ocurrir esa descollante demanda mundial por éstos,

⁷ Celda de combustible: dispositivo electroquímico en el cual el hidrógeno, en lugar de ser quemado, se combina con oxígeno en una especie de pila, convirtiendo eficientemente toda su energía química en eléctrica. Ésta luego es usada como tal o alimenta un motor que mueve un vehículo. Las celdas de combustible contienen significativas cantidades de metales preciosos como platino, el contenido de este típico actual en un vehículo liviano, es de 40 g. (MERCK, 2021).

podría amenazar el uso de celdas de combustible en Uruguay, por razones obvias de suministro del metal precioso. Esta vulnerabilidad no existiría en situaciones hipotéticas de cambios en la tecnología de aquellas o de disponibilidad de platino. Al mismo tiempo, se reiteró que la demanda de hidrógeno a nivel mundial podría facilitar la exportación de este vector energético generado en Uruguay⁸, si se superaban ciertos obstáculos técnicos relativos al transporte de este gas.

En otra publicación, se analizaron algunos factores clave para un eventual programa nuclear uruguayo, surgiendo que un escenario de amplia cooperación internacional o regional en apoyo técnico y suministro de algunos insumos críticos, sería muy favorable (Morales, 2021, pp. 18, 20 y 21). El logro de acuerdos políticos bilaterales o multilaterales, sería entonces una condición esencial para un programa como el mencionado.

El factor Científico-Tecnológico en Fase Estratégica

En la fase estratégica, el papel de la C y T dependerá mucho del tema del que se trate. Para ciertas acciones, carencias propias –ya actuales o previsibles a futuro– pueden terminar convirtiéndose en obstáculos importantes dentro de la estrategia. Estas carencias pueden ser de capacidades tecnológicas o de infraestructura, de recursos naturales y/o humanos, científicos y técnicos. El factor científico-tecnológico deberá prever estos obstáculos y proponer alternativas para encararlos. Limitaciones como las mencionadas pueden, a veces, subsanarse mediante entendimientos con actores externos, que resulten en acuerdos de cooperación. Para delinearlos de manera que sean adecuados a los objetivos fundamentales, deben preverse implicancias económicas, de soberanía y otras. Todos los factores del poder trabajarán entonces en forma integrada para asesorar respecto a un formato de acuerdo que sea sostenible y del que no surjan vulnerabilidades.

Es muy importante que el factor C y T –al igual que todos– tenga una mirada muy amplia, que incluya al Estado y al escenario externo en las actividades de inteligencia estratégica. Por ejemplo, eventos de muy diversa índole como el desarrollo socioeconómico a niveles global, regional o nacional, el curso de sucesos naturales y otros, pueden crear situaciones en las que surjan

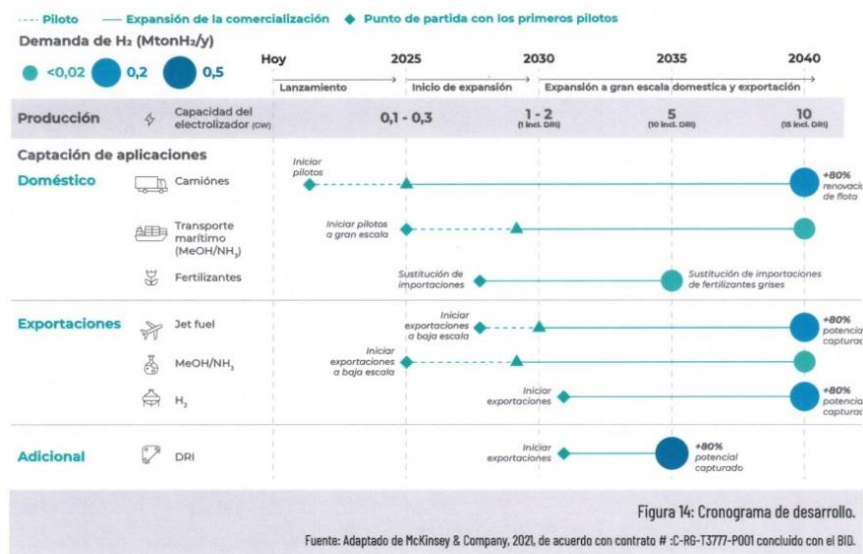
⁸ Esta exportación sería clave para sostener una estrategia energética nacional muy dependiente de fuentes renovables variables. Esto debido a que permitiría gestionar adecuadamente excedentes de producción, si estos no pudieran usarse en el país mediante uso de baterías u otros dispositivos de almacenamiento (Morales, 2022, pp. 126-127).

obstáculos serios para actores externos. Esas limitaciones incidirán –a veces de manera decisiva– en acuerdos geopolíticos o comerciales previstos o ratificados. Del mismo modo, escenarios que sean favorables para ciertos actores externos clave, también pueden serlo a nivel nacional, si permiten asegurar o ampliar los resultados de acuerdos con aquellos.

A modo de ejemplo, ya se recordó la perspectiva preliminar realizada sobre el uso de hidrógeno procedente de fuentes renovables (Morales, 2022, pp. 123-127). Se analizó su uso como vector energético en Uruguay y el mundo y las eventuales implicancias para la estrategia uruguaya. El 19 de julio de 2022, se puso a consulta pública la “Hoja de Ruta del Hidrógeno Verde en Uruguay” (MIEM, 2022). Este documento analiza diversas hipótesis de consumo de hidrógeno y sus derivados⁹ tanto a nivel doméstico como internacional. En este último caso, se estudia el potencial exportador de Uruguay. La hoja de ruta prevé, en su “Ambición 2040” que el uso nacional de vehículos provistos de celdas de combustible, llegue a 17.500 (el 75 % del total) en el año 2040. De acuerdo a lo analizado en (Morales (2022, pp. 124-127), de una necesidad de 40 g. de platino para cada vehículo con celda de combustible, se requerirían en este escenario, unos 700 kg de este metal, stock accesible, mediante importaciones espaciadas en el tiempo, realizadas hasta esa fecha. Dicho stock sería destinado ya a celdas de combustible fabricadas en el país o en el extranjero. Esto sería suficiente para cumplir la citada “Ambición 2040” salvo que en simultáneo (Morales, 2022, p. 126), una demanda de platino descollante a nivel mundial, provocara un colapso en los suministros o precios inaceptables desde la perspectiva nacional. De la producción para el mercado externo, la citada hoja de ruta prevé exportaciones en el orden de 200.000 ton/año de hidrógeno puro, 200.000 ton/año de e-Jet Fuel y 20.000 ton/año de e-Metanol, al año 2040, como surge de la Fig. 4.

⁹ A partir del hidrógeno pueden sintetizarse toda una gama de sustancias químicas, por ejemplo amoníaco para uso en fertilizantes. Asimismo, es también posible elaborar metanol y algunos hidrocarburos, potencialmente aprovechables como combustibles, con ventajas respecto al propio hidrógeno, ya que no tienen los problemas de almacenamiento a presión, necesidad de celdas electroquímicas, ya mencionados. Estos vectores energéticos se suelen denominar *e-combustibles*. Por ejemplo, se puede obtener a partir de hidrógeno y anhídrido carbónico una mezcla de hidrocarburos similar al keroseno, aplicable en motores de aviación conocida como *e- Jet Fuel* (MIEM, 2022, p. 9).

Estas fases y las metas asociadas pueden verse reflejadas en el siguiente cronograma de crecimiento:



Hoja de ruta del hidrógeno verde en Uruguay |

Figura 4. Escenarios de ambición y su evolución (2022 – 2040) previstos, de producción de hidrógeno y derivados en Uruguay, discriminados por mercado de destino.

Fuente: MIEM. (Junio de 2022). *H2U Hoja de ruta del hidrógeno verde en Uruguay*, p. 39.

Estas previsiones se basan en la captura de fracciones entre el 3 % y el 4 % de los diversos mercados que se supone existirían a nivel global a esa fecha, por lo que el objetivo es razonable desde ese punto de vista. La perspectiva estratégica deberá considerar también las probabilidades de que el tamaño de los mercados mundiales sea el previsto. Sobre esta situación pueden influir diversos factores de desarrollo o carencias tecnológicas, creando obstáculos o escenarios favorables. El transporte de hidrógeno puro a grandes distancias puede presentar dificultades logísticas y económicas, derivadas de la necesidad de transportarlo a alta presión en recipientes muy pesados (Morales, 2022, p. 124). Sin embargo, el uso de tecnologías innovadoras es una alternativa, por ejemplo, la conversión de hidrógeno puro en sustancias como el hidruro de litio y aluminio¹⁰ (Laboratorium Discounter, 2022). Para el transporte, el uso de esta

¹⁰ La nomenclatura química para el hidruro de litio y aluminio es: LiAlH₄. Procesos a escala industrial en que el hidrógeno se trata a altas presiones, permiten convertirlo en LiAlH₄, el que luego puede ser transportado como un sólido y reconvertido a hidrógeno gaseoso en el lugar

forma sólida, resuelve los problemas del hidrógeno gas, aunque pueden surgir numerosas complejidades técnicas. Además, el hidrógeno útil transportado en esta forma es apenas el 10 % del peso total de la carga. Se podría, como otra alternativa, analizar la exportación, vía gasoducto a Argentina (Morales, 2022, p 127). La prospectiva estratégica deberá, pues, analizar los distintos escenarios y sus probabilidades, con base en las alternativas tecnológicas. Entre éstas se deberán considerar las existentes, las previsibles y sus respectivas implicancias en las estrategias de los actores, en este caso, los potenciales mercados internacionales. Las exportaciones de e-Metanol y e-Jet Fuel, dependerán tanto de su demanda a nivel global como de la facilidad para producirlos en Uruguay. Estos aspectos pueden estar interrelacionados. Sin duda, es previsible a futuro una enorme demanda mundial de carburantes para motores de combustión interna, que no originen emisiones de anhídrido carbónico, como los e-combustibles. Esto se puede prever con certeza, ya que el sector transporte seguirá creciendo y el mundo deberá proponerse limitar el cambio climático para subsistir. Los motores de combustión interna son los más abundantes en el mundo y toda la infraestructura y logística requerida por su fabricación y uso ya existe. Así, alimentar aquellos con vectores energéticos como el e-metanol, sería una alternativa muy conveniente y de fácil aplicación. Sin embargo, la eficiencia energética de los e-combustibles es muy limitada: 15 %¹¹. Queda pues claro que es técnicamente factible usar excedentes de energías intermitentes como la eólica o solar para obtener hidrógeno. Sin perjuicio de ello, la conversión de éste en e-combustibles, necesita un suministro energético renovable muchísimo mayor. Si los volúmenes comercializados son muy grandes, pueden surgir obstáculos económicos para el país productor y/o consumidor de dichos vectores energéticos. Por otra parte, la creación de toda esa infraestructura de generación renovable puede también originar desafíos a nivel global y/o nacional, por ejemplo, de suministros de insumos críticos¹².

de destino final. Ambos procesos son complejos y requieren especiales precauciones de seguridad al tratarse de materiales explosivos en contacto con agua (Laboratorium Discounter, 2022).

¹¹ Esto se debe a que las diversas reacciones químicas de conversión son muy *endotérmicas*. Las reacciones endotérmicas necesitan un importante suministro de energía externa en forma de calor o electricidad, para que puedan ocurrir. Se estima que en el mejor de los casos, la energía que un kilogramo de e-combustible líquido aporte al funcionamiento de un vehículo, sea el 15 % de la empleada para la fabricación de esa cantidad de e-combustible (Yugo y Soler, 2019, p. 14).

¹² Por ejemplo, los paneles solares fotovoltaicos requieren hasta 20 g de plata metálica por m²

Posiblemente, el mercado de e-combustibles se desarrolle, pero llegue a un límite, que pueda considerarse sostenible. La demanda final global de tales energéticos y la fracción que se podría captar para exportaciones, deberían, pues, analizarse considerando todos los diversos escenarios. De este análisis surgiría el impacto externo sobre la estrategia energética uruguaya. La hoja de ruta antes mencionada, por supuesto, considera para el sector del hidrógeno algunos escenarios de riesgos tecnológicos, sociales, de competitividad y de mercado, entre estos últimos una “Adopción más lenta de lo esperado del hidrógeno descarbonizado” (MIEM, 2022, p. 42).

Interacción del factor Científico-Tecnológico con otros Factores del Poder

El rol de la C y T en planificación e inteligencia estratégicas, se ejercerá en conjunto y coordinadamente con todos los otros factores. De las propias políticas públicas internas, surgirán necesidades futuras, muchas de las cuales corresponderá a la C y T preverlas con suficiente anticipación. Cuando aquellas no surjan claramente de las políticas públicas, la C y T deberá abordar el tema en conjunto con los otros factores.

Como se mencionó, obstáculos, amenazas u oportunidades a las políticas internas pueden depender del surgimiento de capacidades tecnológicas externas o de su expansión. El factor C y T debe analizar con los otros factores las correlaciones entre las políticas internas y las del ambiente externo, así como su probable evolución. Del análisis estratégico podrán surgir hechos portadores de futuro que incidan sobre estas correlaciones.

Por otra parte, en la estrategia nacional, la previsión de potenciales conflictos futuros (comerciales, geopolíticos, militares), es esencial. La C y T también puede tener participación importante en esta actividad de Inteligencia, siempre en conjunto con los otros factores del poder. La expansión en el uso de ciertas tecnologías, puede poner gran presión sobre recursos naturales o de infraestructura, situaciones que, en ciertas hipótesis, crearían conflictos entre diversos actores. Por otra parte, éstos pueden ser evitados o distendidos por el surgimiento de ciertas tecnologías innovadoras o la mejora y expansión de otras

de panel, como conductor eléctrico; el uso en paneles solares ya en 2018 consumió el 8% del suministro global de plata (World Energy Trade, 2022). En visión del autor, si toda la energía necesaria para fabricar grandes volúmenes de e-combustibles fuera solar, empezarían a surgir problemas en el suministro de este metal. Algo similar ocurriría con el neodimio, disprosio y otros metales usados en los generadores de campo magnético (electromagnetos) de los aerogeneradores eólicos.

ya existentes. Situaciones bélicas o de tensión creadas por cualquier causa, en ocasiones afectarán directa o indirectamente¹³ al país propio. La disponibilidad de ciertas tecnologías puede hacer desaparecer algunos motivos de conflicto, lo que siempre será positivo a nivel mundial.

A modo de ejemplo, el cobalto es un recurso natural crítico para las baterías usadas en vehículos eléctricos y muchos dispositivos electrónicos que previsiblemente tendrán enormes aumentos de consumo a futuro (Morales Rodríguez, 2019, p.2). La República Democrática del Congo, es el primer productor mundial de cobalto (U.S. Geological Survey, 2019, p. 51). Una afección global por este recurso, puede reforzar o crear nuevos conflictos comerciales. (Searcey, Forsythe y Lipton, 2021). En una región ya azotada por tensiones de larga data, nuevos conflictos militares tampoco serían descartables en esta hipótesis.

El agua ha sido, y con razón, denominada “el petróleo del siglo XXI” (World Economic Forum, 2017), debido a la explosión demográfica, que origina demandas crecientes de agua potable. En paralelo, el cambio climático y las actividades agropecuarias/industriales, reducen la disponibilidad y/o calidad de los cuerpos de agua dulce. Estas necesidades multiplicadas de recursos escasos, pueden resultar en fuertes tensiones locales o regionales, originadoras de conflictos. La desalinización de agua de mar es una respuesta posible en muchas regiones y existen tecnologías probadas para realizarla al nivel de consumo de grandes poblaciones. Sin embargo, en tales escalas estos procesos presentan enormes costos económicos y energéticos y potenciales impactos ambientales¹⁴, por lo que su aplicación masiva tiene límites (Birnbaum, 2021). Se prevén avances futuros en tecnologías de desalinización o de procesamiento y reúso de aguas residuales. La desinfección de agua por UV u ozono¹⁵, también está en rápido crecimiento (World Economic Forum, 2017). Ambos tipos de

¹³ Como ocurre en gran parte del mundo, debido al conflicto entre la Federación Rusa y Ucrania.

¹⁴ Además del impacto ambiental derivado de las grandes cantidades de energía necesarias, la salmuera concentrada que queda luego de la separación del agua desalinizada, se retorna al mar. Si no se toman precauciones especiales de dilución en el vertido, esta solución densa que precipita al fondo del mar y es tóxica para muchas formas de vida, puede provocar serios perjuicios en los ecosistemas marinos (Birnbaum, 2021).

¹⁵ UV: sigla en inglés para *ultraviolet light* (luz ultravioleta). Ésta se ha aplicado en la eliminación de microorganismos patógenos en aguas de consumo humano. El ozono (forma de oxígeno que se expresa: O₃), se puede producir artificialmente y también tiene gran poder bactericida. El único residuo de su uso es oxígeno puro, por lo que es adecuado para desinfectar aguas de uso humano.

técnicas, pueden reducir necesidades de agua fresca en ciertas regiones, distendiendo conflictos.

La C y T entonces, junto con el resto de los factores, analizando el surgimiento o expansión de tecnologías innovadoras, podrá participar en la previsión de escenarios de ciertos tipos de conflictos y/o de desaparición de estos.

Conclusiones

Al factor científico – tecnológico del poder nacional, además de proveer medios para el logro de los objetivos nacionales, le cabe participar en actividades de prospectiva, planificación e inteligencia estratégica sobre diversos aspectos de la realidad. Este aporte puede tener lugar en todas las etapas del método de planificación estratégica del CALEN. Consistirá en la realización de proyecciones de evolución del conocimiento científico-tecnológico y de sus posibles aplicaciones, en todos los ámbitos internos y externos. Las probabilidades futuras de expansión (nacional, regional, global) de las tecnologías actuales, también pueden ser evaluadas por la C y T. En el análisis de las posibles implicancias para las políticas y objetivos propios de las diversas proyecciones que se hagan, también el factor científico – tecnológico podrá tener un papel importante. Éste, siempre será coordinado con los demás factores del poder nacional. Las características esenciales de estos análisis, se han descrito en este trabajo y se han brindado unos pocos ejemplos, históricos, contemporáneos y posibles a futuro.

Referencias

- Arregui, L., Beltran, H., y Rojo-Domínguez, A. (2009). La nanotecnología y la terapia genética. *Razón y Palabra*, (68), 1-8.
- Birnbaum, M. (28 de setiembre de 2021). Desalination can make saltwater drinkable — but it won't solve the U.S. water crisis [Publicación en blog]. *The Washington Post*. Recuperado de <https://www.washingtonpost.com/climate-solutions/2021/09/28/desalination-saltwater-drought-water-crisis/>
- Centro de Altos Estudios Nacionales (CALEN). (s.f.). *Manual de Estrategia*. Montevideo, Uruguay: Autor.
- Forestry Economics and Policy Division. (2006). *Tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina y el Caribe* (Estudios FAO: Montes). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

- González Miranda, S., Calderón, R., y Artaza, P. (2016). El fin del ciclo del salitre en Chile: la inflexión de 1919 como crisis estructural. *Revista de Historia Industrial*, (65), 83 - 110.
- Kadim, I.T., Mahgoub, O., Baqir, S., Faye, B., y Purchas, R. (2015). Cultured meat from muscle stem cells: A review of challenges and prospects. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 222-233.
- Kerr, R. (2014). The coming copper peak. *Science*, (343), 722-724.
- Laboratorium Discounter. (18 de octubre de 2022). Tabletillas de hidruro de litio y aluminio 95% [Publicación en blog]. Recuperado de <https://www.laboratoriumdiscounter.nl/es/quimicos/a-z/l/hidruro-de-litio-y-aluminio>
- Merck Group (MERCK). (1 de agosto de 2021). Fuel cell Vehicles with a heart inspired by blood [Publicación en blog]. Recuperado de <https://www.merckgroup.com/en/research/science-space/envisioning-tomorrow/scarcity-of-resources/sustainable-fuel-cells.html>.
- Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM). (Junio de 2022). H2U Hoja de ruta del hidrógeno verde en Uruguay [Publicación en blog]. Recuperado de www.hidrogenoverde.uy
- Morales Rodríguez, E. F. (2019, octubre). Nuclear shares in power and final energy consistent with 1,5 C scenarios - considerations for national climate strategies. Ponencia llevada a cabo en la International Conference on Climate Change and the Role of Nuclear Power de la International Atomic Energy Agency (IAEA), Viena.
- Morales, E. (2021). Consideraciones estratégicas sobre el desarrollo de un programa nucleoelectrico en Uruguay. *Revista Estrategia*, (8), 7-34.
- Morales, E. (2022). Opciones de estrategia energética uruguaya a 2050 – prospección de escenarios decisivos. *Revista Estrategia*, (9), 104-131.
- Motor Eléctrico. (2023, junio 6). En *Wikipedia*. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico#:~:text=El%20motor%20el%C3%A9ctrico%20es%20un,un%20estator%20y%20un%20rotor.
- Nitrato. (2023, febrero 3). En *Wikipedia*. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Nitrato>
- Searcey, D., Forsythe, M. y Lipton, E. (20 de noviembre de 2021). A Power Struggle Over Cobalt Rattles the Clean Energy Revolution [Publicación en blog]. *The New York Times*. Recuperado de

- <https://www.nytimes.com/2021/11/20/world/china-congo-cobalt.html>.
- Torras, L. (15 de septiembre de 2017). El agua: el petróleo del siglo XXI [Publicación en blog]. Recuperado de <https://es.weforum.org/agenda/2017/09/el-agua-el-petroleo-del-siglo-xxi/>
- TRIPLÉNACE. (Diciembre 2011). Producción de amoníaco por el método de Haber-Bosch. Recuperado de <https://triplenlace.com/2011/12/12/como-se-produce-amoniaco-proceso-haber-bosch>
- U.S. Geological Survey (USGS). (Febrero 2019). *Mineral Commodity Summaries - COBALT*. Reston, VA20192, Estados Unidos de América: U.S. Department of the Interior - U.S. Geological Survey.
- Uruguay XXI. (2021). *Informe Anual Comercio Exterior 2020*. Montevideo, Uruguay: Autor.
- World Energy Trade. (2022) ¿Cuánta plata necesita la industria de los paneles solares? [Publicación en blog]. Recuperado de www.worldenergytrade.com/metales/plata/cuanta-plata-necesita-la-industria-de-los-paneles-solares .
- Yugo, M. y Soler, A. (2019). A look into the role of e-fuels in the transport system in Europe (2030-2050). *Concawe Review*, 28(1), 4-22.

