

## Entre proyecciones a futuro e incertidumbre: el conocimiento anticipatorio en el desarrollo de dos sectores tecnológicos en Argentina

### RESUMEN

El futuro, como objeto de conocimiento y acción, constituye una dimensión crucial de las actividades científicas y tecnológicas. En el presente trabajo se analiza de manera comparativa el rol del “conocimiento anticipatorio” –es decir, el conocimiento sobre el futuro- en los casos de dos sectores tecnológicos en Argentina: las tecnologías energéticas y las nanotecnologías. Se muestra que, en lugar de encontrar, en los casos estudiados, una sola manera de anticipar el futuro, se encuentran dos micro-regímenes de conocimiento anticipatorio. En el caso de las tecnologías energéticas, los conocimientos anticipatorios funcionan como un instrumento de gobernanza que permite evaluar comparativamente las opciones técnicas y establecer prioridades de inversión en función de consideraciones políticas y de un conjunto de indicadores y técnicas de planificación (modelos y escenarios). En el caso de las nanotecnologías, en cambio, los conocimientos anticipatorios que guían las acciones presentes presentan un nivel de imprecisión mucho más alto, ya que requieren que los científicos y tecnólogos proyecten aplicaciones potenciales que no pueden definir de manera precisa. Sin embargo, constituyen recursos estratégicos que dan una coherencia a las múltiples líneas de investigación y acciones de política de CTI que estructuran las comunidades tecnocientíficas en este campo emergente.

**PALABRAS-CLAVE:** Anticipación. Expectativas. Futuro. Conocimiento. Tecnología. Argentina.

**Matthieu Hubert**

[mhubert@unsam.edu.ar](mailto:mhubert@unsam.edu.ar)

Investigador adjunto del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y del Laboratorio de Investigaciones en Ciencias Humanas (LICH) de la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM) (Argentina).

**Ana Spivak L'Hoste**

[anaspivak17@yahoo.com.ar](mailto:anaspivak17@yahoo.com.ar)

Investigadora independiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), en el Centro de Investigaciones Sociales (CONICET-IDES) (Argentina).

## INTRODUCCIÓN

Las anticipaciones atraviesan muchas de las actividades de ciencia, tecnología e innovación (CTI) (BROWN; MICHAEL, 2003; BORUP et al., 2006). Pueden concretarse en promesas, previsiones, modelos, escenarios o narrativas sobre posibles futuros sociotécnicos. Sus efectos sobre las dinámicas científicas y tecnológicas son tan masivos que algunos autores hablan de la emergencia de un “régimen de promesas tecnocientíficas” (JOLY, 2010) como característica central de las tecnociencias actuales. En particular, la promoción de nuevas tecnologías – especialmente las llamadas “tecnologías emergentes”- va acompañada de expectativas y promesas que van desde las más concretas a las más remotas, desde las proclamaciones de nuevas revoluciones tecnológicas por venir hasta las profecías de riesgos potenciales mayores (BENSAUDE-VINCENT, 2015).

En ese artículo nos preguntaremos sobre el rol del “conocimiento anticipatorio” (NELSON et al., 2008; AYKUT et al., 2019) –es decir, el conocimiento sobre el futuro- en el desarrollo de dos sectores tecnológicos en Argentina: las nanotecnologías y las tecnologías energéticas. Para eso, analizaremos las concepciones y los usos del futuro en esos dos sectores, retomando el concepto de “micro-régimen de conocimiento anticipatorio” (DOLEZ et al., 2019) –es decir, un ensamblaje de prácticas, técnicas, estrategias, imaginarios e infraestructuras destinados a producir conocimientos sobre el futuro.

Mostraremos que, en lugar de encontrar, en los casos estudiados, una sola manera de anticipar el futuro, encontramos dos micro-regímenes que articulan de manera distinta proyecciones a futuro e incertidumbre. En particular, veremos que los conocimientos anticipatorios, en el caso de las tecnologías energéticas, funcionan como un instrumento de gobernanza que permite evaluar comparativamente las opciones técnicas y establecer prioridades de inversión, mientras que los conocimientos anticipatorios que se producen y usan en el caso de las nanotecnologías son más imprecisos pero constituyen recursos estratégicos que dan una coherencia a líneas de investigación dispersas y permiten la coordinación de múltiples acciones de política de CTI.

Para discutir esas cuestiones, empezaremos, en la primera parte, por caracterizar cómo el futuro ha sido estudiado en los estudios sociales de la ciencia y la tecnología, y luego definiremos nuestra manera de usar el concepto de micro-régimen de conocimiento anticipatorio. En la segunda parte, presentaremos la metodología usada para analizar la producción y el uso de conocimientos anticipatorios en los dos sectores mencionados. En la tercera parte, estudiaremos los escenarios como instrumento de planificación del desarrollo del sector energético en Argentina. En la cuarta parte, examinaremos cómo se definió y se usó el futuro en el campo de las nanotecnologías en Argentina. En la última parte, concluiremos con algunos elementos de comparación entre los dos casos estudiados.

## EL FUTURO EN LOS ESTUDIOS SOCIALES DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGIA

Las actividades científicas y tecnológicas se caracterizan por su orientación general hacia el futuro y las anticipaciones que las acompañan han sido objeto de muchos estudios en los últimos veinte años (BROWN; MICKAEL, 2003; AYKUT et al., 2019)<sup>1</sup>. A modo de introducción, podemos considerar que los estudios sociales

de la ciencia y la tecnología (CTS) sobre el futuro se basan principalmente en las tres constataciones siguientes. Primero, el futuro, como objeto de conocimiento y acción, constituye una dimensión crucial del desarrollo de la ciencia y la tecnología, sobre todo en los campos emergentes de las tecnociencias como la genómica, la biología sintética, la robótica o la inteligencia artificial. Segundo, las anticipaciones se concretan en muchos índices empíricos (que sean previsiones cifradas, discursos de promesas o proyecciones a futuro, modelos o simulaciones matemáticas, escenarios, *roadmaps* o incluso narrativas sobre posibles futuros sociotécnicos, etc.) que son rastreables por técnicas clásicas de investigación de las ciencias sociales y, por lo tanto, constituyen un objeto de estudio válido para los estudios CTS. Tercero, la cuestión de la performatividad es central en esos mismos estudios, lo que significa que entender las dinámicas y lógicas de acción que explican los efectos de las anticipaciones en la realidad social constituye uno de sus principios desafíos.

Harro van Lente y Arie Rip (1998) fueron pioneros en estudiar los mecanismos que articulan anticipaciones y financiamiento de la ciencia y la tecnología – mecanismos que permiten basar la toma de decisiones en niveles razonables de previsibilidad y orientar las trayectorias de I+D (investigación y desarrollo). En ese artículo, estudiaron cómo lo que comienza como una opción técnica puede ser etiquetado como una promesa, luego puede funcionar como un requisito a ser alcanzado y, posteriormente, como una necesidad que los inversores apoyen y sobre la cual los tecnólogos trabajen. Demostraron que esas traducciones no ocurren automáticamente, sino que son el resultado de las acciones e interacciones entre científicos, tecnólogos, empresas y administraciones públicas. A partir de este artículo fundacional, los estudios CTS han examinado en detalle: cómo las anticipaciones permiten comparar tecnologías alternativas una con otra y, así, por ejemplo en el caso energético, orientar la matriz energética; cómo permiten estimar las probabilidades de éxito o fracaso de un proyecto científico, tecnológico y/o industrial; y, más generalmente, cómo permiten evaluar los beneficios socio-económicos potenciales de nuevos desarrollos industriales y, así, legitimar inversiones privadas o públicas (BORUP et al., 2006; NELSON et al., 2008).

Como continuación de esas investigaciones, el concepto de “micro-régimen de conocimiento anticipatorio” (DOLEZ et al., 2019) que movilizamos en nuestro artículo también permite analizar en qué medida y cómo las anticipaciones modelan los procesos de innovación y desarrollo tecnológico. Dolez et al. (2019) definen ese concepto como un ensamblaje de prácticas, técnicas, estrategias, imaginarios destinados a producir conocimientos sobre el futuro. Lo consideran como necesario para articular diferentes niveles (micro y macrosocial) y dimensiones de análisis (contexto discursivo, organización social, prácticas de los actores involucrados) que quedan disociados en las conceptualizaciones y teorizaciones desarrolladas anteriormente. Así, por ejemplo, mientras el nivel nacional suele ser el nivel pertinente para analizar los imaginarios sociotécnicos (JASANOFF; KIM, 2009), la escala de las visiones (HEDGECOE; MARTIN, 2003) puede variar de un proyecto tecnológico al otro. En cambio, la noción de micro-régimen de conocimiento anticipatorio se inspira en el concepto de “régimen de conocimiento” de Dominique Pestre (2003), que inscribe la micro-historia de la producción de conocimiento en el marco más amplio de la regulación socioeconómica y los estilos de razonamiento. Mientras que el enfoque de Pestre pone de relieve las interacciones entre ciencia, política y la sociedad en un nivel macro-social, la noción de micro-régimen toma en cuenta el nivel más local de

estudio de los programas y prácticas de investigación y desarrollo. Como lo plantean Dolez et al. (2019), los “micro-régimenes de conocimiento anticipatorio” son maneras de articular la co-producción de “grandes futuros” (*big futures*) (por ejemplo, el relato sobre el cambio climático o la creencia en la idea de progreso) junto con “pequeños futuros” (*little futures*) (sobre, por ejemplo, el desarrollo de tal o cual proyecto tecnológico).

En lo que sigue, aplicamos el concepto de micro-régimen de conocimiento anticipatorio a dos sectores tecnológicos que recibieron, en Argentina como en otros países, un importante apoyo en los últimos años. Veremos que, en lugar de encontrar una sola manera de construir el futuro, encontramos, en los casos estudiados, dos micro-régimenes de conocimiento anticipatorio que guían las acciones presentes de una manera distinta. Mostraremos, en particular, que, en el micro-régimen de las tecnologías energéticas, los conocimientos anticipatorios se basan en un ensamblaje de técnicas de prospectiva cada vez más sofisticadas e integradoras, mientras que, en el micro-régimen de las nanotecnologías, las nuevas aplicaciones que proyectan los científicos y tecnólogos están definidas de manera imprecisa y temporal y, por lo tanto, quedan abiertas a reformulaciones ulteriores.

## METODOLOGIA

La investigación sobre la cual basamos los resultados presentados en este artículo propone estudiar las anticipaciones de los actores vinculados con el desarrollo de las nanotecnologías y las tecnologías energéticas en Argentina. A esos fines se llevó adelante, para cada caso, un abordaje que combinó la búsqueda y el análisis de fuentes y documentos de distinto origen (legales, institucionales, informativos, etc.) con diversas técnicas de orden cualitativo como la observación y la realización de entrevistas semidirigidas y abiertas a esos mismos actores (científicos, tecnólogos y expertos en los temas considerados, miembros de organizaciones internacionales, administrativos y funcionarios públicos). Se parte de la base de que estas técnicas cualitativas permiten la elaboración de descripciones detalladas de situaciones, eventos, personas e interacciones procurando captar el sentido que los actores dan a sus actos, ideas y al mundo que les rodea (ALVAREZ-GAYOU JURGENSON, 2003). Por lo tanto, el proceso de investigación adoptado para realizar la comparación entre los casos mencionados es de tipo inductivo, del caso práctico a la discusión teórica, focalizando específicamente en las expectativas y proyecciones a futuro de los actores vinculados con el desarrollo de las nanotecnologías y las tecnologías energéticas en Argentina<sup>2</sup>.

Aunque ambos casos se refieren a tecnologías emergentes (o alternativas) portadoras de visiones de futuros fuertemente impactados por las innovaciones propuestas, los casos seleccionados se han elegido más por sus contrastes que por sus similitudes. De hecho, para las tecnologías energéticas, ya sea para reclamar un mejor acceso a la electricidad o para respetar los compromisos internacionales sobre el cambio climático, se multiplican los llamamientos a la transición energética (HUBERT; SPIVAK L’HOSTE, 2021). Si bien esos discursos se refieren inevitablemente a una crítica del sistema energético existente, también se inscriben en un cambio no sólo deseado sino ya en marcha, lo que lo haría aún más inevitable. Sin embargo, estos llamamientos no describen con precisión el

contenido, el alcance y el ritmo que debe imponerse a esta transición. Para debatir las formas que debería adoptar la transición energética y, por consiguiente, el futuro deseable del sector energético, los expertos y los actores encargados de las políticas energéticas tratan de desarrollar conocimientos e instrumentos que les permitan no solo imaginar sino también prever y planificar los posibles futuros de este sector.

Al contrario, a pesar de las expectativas y proyecciones que suscitan, las nanotecnologías se han desarrollado rápidamente desde principios de la década de 2000 sin ser objeto de una hoja de ruta adaptada a las condiciones locales de un país (semi) periférico como Argentina<sup>3</sup>. En ese sentido, el futuro de las nanotecnologías es mucho más abierto, ya que suscitan promesas que pretenden dar soluciones tecnológicas a problemas actuales muy diversos, desde la reducción del uso de energía y de productos contaminantes hasta el mejoramiento de las tecnologías de información y comunicación y de la seguridad de los alimentos que consumimos (VINCK; HUBERT, 2017; BERGER et al., 2021). Por lo tanto, existe una amplia dispersión de las agendas de investigación bajo el mismo término de nanotecnología(s) y, como veremos en las secciones siguientes, los conocimientos anticipatorios producidos en ese marco presentan un grado de imprecisión mucho más alto, en comparación con el caso de las tecnologías energéticas.

## EL FUTURO PLANIFICADO DE LOS ESCENARIOS ENERGETICOS

En el sector energético, se implementaron varios instrumentos y técnicas de planificación para conocer, controlar y orientar el futuro (AYKUT, 2019). Es el caso, en el contexto argentino, de la Plataforma Escenarios Energéticos, que fue concebida en 2011 como un mecanismo participativo para alimentar el Plan Nacional de Energía. En esta parte, mostraremos que, en este caso, la producción y el uso de conocimiento anticipatorio se basa en un ensamblaje de indicadores, modelos y escenarios que permiten evaluar comparativamente las opciones técnicas y establecer prioridades de inversión en función de prioridades políticas.

### La producción del conocimiento anticipatorio y sus limitaciones

La plataforma fue lanzada por la Fundación Avina<sup>4</sup>, después de una primera experiencia similar en Chile, y se realizaron tres “rondas” seguidas en 2012, 2015 y 2018, cada una con un horizonte temporal distinto (respectivamente 2030, 2035 y 2040). Se constituyó un Comité ejecutivo formado por cuatro organizaciones universitarias y no gubernamentales en las dos primeras “rondas”, al cual se sumó, en la última ronda, el entonces Ministerio de Energía y Minería (MINEM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)<sup>5</sup>. Ese Comité convocó instituciones y organizaciones de la sociedad civil, de la academia y del mundo empresarial para ser “escenaristas” –es decir, para proponer escenarios de evolución de la matriz energética<sup>6</sup>.

Para definir los aspectos metodológicos y técnicos del ejercicio de escenarización, se constituyó un Comité Técnico compuesto por cuatro expertos designados por consenso por las organizaciones del Comité ejecutivo. Ese Comité es el responsable operacional del ejercicio. En particular, maneja el programa informático *Long-range Energy Alternative Planning* (LEAP), una herramienta que

ha sido creada por el Instituto Ambiental de Estocolmo y que es uno de los más usadas a nivel mundial para evaluar escenarios energéticos que incorporen variables ambientales en su análisis. Cada escenarista configura conceptualmente su escenario en una planilla Excel, la cual puede ser procesado por el modelo LEAP.

“Esta interacción [entre el modelo LEAP y la planilla Excel] permite a los escenaristas no familiarizados con el modelo obtener el máximo provecho del mismo sin tener que realizar un aprendizaje profundo del LEAP, ayudándolos a concentrarse en las decisiones, sin perderse en los detalles de la modelización”<sup>7</sup>.

¿Qué conocimiento anticipatorio permite el uso de este tipo de modelo? Más allá de las divergencias propias de cada escenario (sobre las cuales volveremos en el apartado siguiente), cabe mencionar que los escenarios producidos a través del programa no son predictivos, ya que dependen fuertemente de los “supuestos comunes, parámetros y variables de entrada” (BELJANSKY et al. 2018: 17). Esos “supuestos comunes, parámetros y variables de entrada” son hipótesis concordadas sobre la evolución futura de algunos factores claves: demanda, eficiencia energética, precios y volúmenes de gas natural, costo de las emisiones de gases de efecto invernadero, etc. Están siendo constantemente revisados, de una ronda a otra, y evaluar la valoración de cada uno es una parte central del proceso deliberativo entre escenaristas y miembros del Comité técnico. Así, en la última ronda, por ejemplo, resultó difícil llegar a un consenso sobre la evolución futura de dos parámetros, como lo plantea el Comité técnico en su informe final:

“Es destacable el consenso alcanzado sobre la mayoría de las cuestiones metodológicas asociadas a este ejercicio. Sin embargo, también resulta una señal de alta relevancia la falta de consenso sobre la evolución de precios de producción de gas natural local y sobre el costo de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que resultó en que por primera vez en la historia de la Plataforma se solicite al Comité Ejecutivo que defina la evolución de una variable: el costo de las emisiones. Las principales causas de estas divergencias se encontrarían en primer lugar en la gran heterogeneidad de valores establecidos en las fuentes consultadas, al carácter altamente político que tienen estas definiciones, y a su influencia para el desarrollo a mediano y largo plazo de las diferentes tecnologías” (BELJANSKY et al. 2018: 18).

Dicho de otra manera, y más allá de las divergencias propias de un escenario al otro, el conocimiento anticipatorio que se puede producir en el marco de este tipo de ejercicio de anticipación es altamente dependiente de hipótesis muy discutibles (y discutidas en el marco del ejercicio) y de factores de “carácter altamente político” —es decir, en este caso, de definiciones y tendencias futuras que se basan sobre un consenso forzado por el Comité ejecutivo. Además de esta mención, las limitaciones del modelo están subrayadas por algunos escenaristas como, por ejemplo, la Fundación Vida Silvestre que matiza su propio escenario en razón de esas mismas limitaciones: “nuestra propuesta de escenario representa la mejor adaptación de nuestra visión al modelo y a los parámetros acordados para la planificación, pero no refleja nuestra verdadera intención” (BELJANSKY et al., 2018: 94).

## El uso del conocimiento anticipatorio

El ejercicio de escenarización se traduce en varios resultados. Primero, cada uno de los escenaristas redacta, bajo la forma de un texto corto (tres páginas en promedio), la “visión” que guio su propio escenario. Esa visión permite a cada uno justificar sus decisiones y orientaciones en materia de producción y uso de energía. Luego, se cuantifican los escenarios sobre la base de una serie de dieciséis indicadores económicos<sup>8</sup>, ambientales<sup>9</sup> y sociales<sup>10</sup>, lo cual permite evaluar la evolución del sistema energético planteado en cada escenario, realizar comparaciones entre ellos y brindar una imagen sintetizada de las características de cada uno. Finalmente, se revisa las visiones y comparaciones para establecer una serie de “coincidencias” y “divergencias” entre los escenarios propuestos (BELJANSKY et al., 2018).

La conjunción de estas coincidencias y divergencias construye una serie de recomendaciones en el que se transmiten varias ideas sobre lo que debería suceder (las coincidencias) y lo que sigue abierto a un debate más profundo (las divergencias). Por ejemplo, se naturaliza el crecimiento de las tecnologías renovables (en particular, la generación eólica y solar) en la matriz energética proyectada para 2040: “El fuerte crecimiento de renovables en relación con la situación de potencia instalada actual sucede en todos los escenarios, siendo en alguno de ellos la variable más relevante de la matriz final”<sup>11</sup>. Al contrario, la producción de gas natural y de petróleo no convencional genera posiciones opuestas:

“mientras que algunos escenaristas (...) apuestan fuertemente a que el nivel de producción local supere la demanda y haya exportación de gas a la región por ductos o como GNL, otros escenaristas, por el contrario, no apuntan al desarrollo de Vaca Muerta con niveles de producción altos que conlleven a precios de gas bajos debido a cuestionamientos ambientales, o bien porque consideran que son inviables los niveles de inversión y requerimientos de infraestructura necesarios” (BELJANSKY et al., 2018: 9).

Otra característica de ese ejercicio de anticipación y proyecciones a futuro es la coexistencia de escenarios de diversificación incremental de la matriz energética con escenarios de fuerte reorientación de la matriz energética. Por ejemplo, coexiste la matriz propuesta por la Asociación de Grandes Usuarios de la Energía Eléctrica de la República Argentina (AGUEERA) en conjunto con la Unión Industrial Argentina (UIA), que apunta a “costos competitivos que favorezcan el desarrollo industrial”, con la matriz propuesta por la Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN) en conjunto con la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN), que apunta fuertemente a la energía eólica sin “invertir en nuevos desarrollos en energía nuclear, en grandes represas hidroeléctricas, ni en la explotación de hidrocarburos” (BELJANSKY et al., 2018) – es decir, coexisten escenarios conservadores y escenarios de ruptura en el mismo ejercicio de anticipación. De esa manera, los resultados pueden inspirar conjuntamente la confianza de expectativas realistas y la ambición de una transformación profunda de la matriz energética.

En ese sentido, el objetivo del ejercicio de anticipación es simplificar el complejo proceso de transformación de la matriz energética en unas trayectorias predecibles, convenciendo así a los inversores y la administración pública. El



método de escenarización construye un conocimiento anticipatorio que selecciona una diversidad de escenarios, lo cual permite excluir otros escenarios posibles sin justificación. Abre algunas opciones tecnológicas y cierra otras. Unir estos escenarios en un mismo ejercicio que legitima y consensua a través del proceso participativo y de la caución de una experticia técnica considerada como confiable es una manera de acerrojar (*lock-in*) el futuro (CARDON, 2020) —es decir, una manera de asegurarse que se puede conocer y controlar el futuro, apartando otros futuros posibles.

Finalmente, el conjunto de escenarios que sintetiza este ejercicio impone la idea de un sólido conocimiento anticipatorio de la matriz energética que, a pesar de las incertidumbres sobre las evoluciones económicas y de las innovaciones susceptibles de modificar el abanico de opciones técnicas, permite presentar el futuro como dependiente de las decisiones tomadas por los escenaristas en cada momento de la trayectoria elegida. Desafiando la contingencia, la casualidad y las posibles bifurcaciones, traduce la visión del futuro del sector energético de cada escenarista en una trayectoria recta y bien trazada. En ese sentido, cualquier sea el escenario privilegiado, lo importante es la afirmación de la confianza que se puede atribuir a este conocimiento anticipatorio —una confianza que pasa, por un lado, por la naturalización del modelo de simulación usado (y de sus “supuestos comunes, parámetros y variables de entrada”) y, por otro lado, por la identificación de opciones tecnológicas, de políticas públicas y de oportunidades de inversión favorables, en función de las prioridades económicas, ambientales o sociales de cada uno de los escenaristas. De esa manera, este tipo de ejercicio dibuja un conocimiento anticipatorio bajo control de las técnicas de anticipación (modelo, indicadores, etc.) y de las decisiones tomadas por los escenaristas.

## EL FUTURO ABIERTO DE LAS NANOTECNOLOGIAS

Los principales enfoques que caracterizan las nanotecnologías difieren mucho de uno al otro. El enfoque descendente de las tecnologías derivadas de la industria microelectrónica para reducir las dimensiones de los circuitos integrados es considerablemente diferente del enfoque ascendente de los programas de inspiración química destinados a la fabricación de nano-objetos funcionalizados, átomo por átomo (VINCK; HUBERT, 2017; BERGER et al., 2021). Esos dos enfoques difieren también de los programas de nanomedicina destinados a vectorizar los medicamentos para que lleguen sólo a las células enfermas (LOUVEL, 2020; SOTO-VAZQUEZ et al., 2022) o de los proyectos destinados a la fabricación de nanomáquinas moleculares. Sin embargo, una escala común, el nanómetro, reúne este conjunto de investigaciones bajo la misma categoría, ya que, en todos los casos, se trata de manipular la materia en la escala nanométrica. Por lo tanto, predomina una amplia dispersión de las agendas de investigación bajo el término de nanotecnología(s) y, como veremos, los conocimientos anticipatorios producidos en ese marco presentan un grado de imprecisión mucho más alto, en comparación con el caso de las tecnologías energéticas. En esa sección, mostraremos que ese fenómeno de dispersión de las agendas, unido a la imprecisión de los conocimientos anticipatorios producidos, puede observarse tanto a nivel de las políticas de CTI como a nivel de las investigaciones científicas.



Como analizan Rip y Voß (2013), términos como "nanotecnología" han surgido como parte de un nuevo régimen de "ciencia estratégica". Según los autores, esos "términos-paraguas" (RIP; VOß, 2013) tienen un doble papel en la gobernanza de tecnologías emergentes<sup>12</sup>. Por un lado, conllevan una promesa que permite movilizar recursos e inversiones para nuevos campos de investigación y desarrollo. Por otro lado, implican una presión creciente sobre los actores de la ciencia y la tecnología para que tomen en cuenta el potencial aplicativo de sus investigaciones.

Se puede aplicar el mismo tipo de análisis al lugar que ocupan las nanotecnologías en el plan Argentina Innovadora 2020, que define el programa de CTI para el país en 2020. En este plan, las nanotecnologías están calificadas como "Tecnología de Propósito General", lo cual "implica una conceptualización novedosa para las políticas de CTI, que supone la identificación de oportunidades de intervención en entornos territoriales específicos a partir de la articulación de tecnologías de propósito general (TPG) con sectores productivos de bienes y servicios" (MINCYT, 2012: 41). Con esa definición, conceptualizada desde la economía de la innovación, se asume que la política de CTI impulsada a escala nacional se iba, por un lado, a estructurar alrededor de tres TPG (una de ellas siendo las nanotecnologías, con biotecnologías y TICs) y, por otro lado, a orientar hacia una multitud de sectores (agroindustria, ambiente y desarrollo sustentable, energía, industria y salud), siguiendo objetivos socio-económicos muy amplios:

"Este abordaje [el enfoque de las TPG] se orienta a aprovechar las potencialidades que ofrecen las TPG para generar saltos cualitativos en términos de competitividad productiva, mejoramiento de la calidad de vida de la población y posicionamiento en términos de tecnologías emergentes y desarrollos tecnológicos esperables en el mediano y largo plazo" (MINCYT, 2012: 41).

Como lo sugiere ese último extracto del plan Argentina Innovadora 2020, la noción de TPG implica una orientación del futuro de la política de CTI particularmente abierta y plástica —es decir, implica un conocimiento anticipatorio difuso y borroso. Puede adaptarse de manera diferente según las proyecciones a futuro de cada organización o institución que lo moviliza y no se traduce, en términos de planificación, en la definición de prioridades específicas y precisas (HURTADO et al. 2017). Al proporcionar suficiente flexibilidad para acomodar y apoyar una diversidad de puntos de vista, se convierte en una "categoría-frontera"—es decir, una categoría lo suficientemente porosa y ambigua para reunir un gran número de actores y tecnologías previamente dispersos (GOULET; HUBERT, 2020). La dinámica que ha surgido en torno a esa categoría-frontera ha sido aprovechada, como veremos en el apartado siguiente, como un medio para hacer avanzar las investigaciones de varias especialidades y comunidades tecnocientíficas, sin producir conocimientos anticipatorios que proporcionen objetivos precisos.

### El conocimiento anticipatorio en las investigaciones tecnocientíficas

Como a nivel de las políticas de CTI, las expectativas y anticipaciones a nivel de las investigaciones tecnocientíficas sugieren la idea de un futuro abierto e indeterminado. De hecho, la capacidad de manipular los ensamblajes atómicos a voluntad —lo cual constituye el relato dominante de promoción de las

nanotecnologías- abre el abanico de posibilidades y permite imaginar la fabricación de nuevos nano-objetos y funcionalidades, sin límite preestablecido. Muchos de los avances tecnocientíficos se describen como un primer paso que revela un horizonte de posibilidades y de aplicaciones potenciales. La introducción del libro de divulgación de Galo Soler Illia, un reconocido científico argentino en el campo de las nanotecnologías, ofrece una buena ilustración de esa idea de apertura infinita hacia nuevas soluciones tecnológicas e, in fine, hacia una transformación profunda de las sociedades:

“En el inicio del siglo XXI, asistimos a una revolución en la manera de entender el mundo que nos rodea. La nanotecnología nos da la posibilidad de dominar la materia de una forma antes no pensada, trabajando en la escala del nanómetro, la escala de longitud típica de los átomos y las moléculas y de los fenómenos cuánticos de la materia. Eso tiene enormes consecuencias en nuestra cultura: podremos producir nuevos materiales con propiedades increíbles, que sirvan para desarrollar energías más limpias y sustentables; proteger el medio ambiente; realizar nuevos alcances en medicina, comunicaciones, biotecnología y muchos campos más, que van a definir el futuro” (SOLER ILLIA, 2009: 5).

Más allá de los efectos retóricos de las promesas que se encuentran en esos discursos públicos (KÖRBES; INVERNIZZI, 2020), el futuro movilizado en los proyectos de investigación en nanotecnologías no se refiere a una cronología establecida. Se trata más bien de un futuro potencial, abstraído de un contexto cronológico determinado. Así, un experimento exitoso se presenta como una “prueba de concepto” (BENSAUDE-VINCENT; SIMON, 2019) que se podría integrar, más adelante, en un dispositivo más complejo como un MEMS o *Micro Electro Mechanical System* (es decir, un microsistema que incluye uno o varios elementos mecánicos de tamaño micrométrico y que usa la electricidad como fuente de energía para realizar una función de sensor y/o accionador).

En ese sentido, la prueba de concepto es una etapa intermediaria hacia una aplicación; apunta a explorar nuevas formas de diseño técnico que permiten imaginar aplicaciones potenciales relacionadas con la instrumentación de la materia en la escala nanométrica. Se trata, por ejemplo, de “nanoantenas plasmónicas y superficies metálicas nanoestructuradas aplicadas a la detección molecular por espectroscopía Raman”, de “criogeles superabsorbentes con nanopartículas metálicas para nanofiltración en el tratamiento y desinfección de aguas” o de “nanofertilizantes de síntesis verde para una mayor eficiencia en el uso de los nutrientes” (Objetivos de becas doctorales y posdoctorales, tal cual se plantean en convocatorias a candidatos para el CONICET en 2019). En esos ejemplos de proyectos doctorales y posdoctorales, se convocan las nanotecnologías como una herramienta para resolver problemas o desarrollar nuevas aplicaciones en sectores muy diversos, desde la filtración de agua y la fertilización de plantas y suelos hasta la salud mental: “El objetivo general del proyecto es evaluar nuevas estrategias terapéuticas basadas en las nanotecnologías, para prevenir y/o limitar la aparición de síntomas neuropsiquiátricos, como secuela de la neuroinflamación ocasionada por la dependencia al alcohol” (convocatoria a beca doctoral del CONICET 2019).

Cuando se observa a nivel de proyectos interinstitucionales e interdisciplinarios más amplios, se puede traducir la noción de prueba de concepto

con el concepto de “plataforma tecnológica”, que apunta a una escala mayor de integración e complejidad tecnológica (HUBERT; VINCK, 2022). Es el caso, por ejemplo, de los proyectos financiados por los Fondos Argentinos Sectoriales (FONARSEC) que apuntan a la implementación de una “plataforma de nanosensores y bionanoinsumos para diagnóstico de enfermedades infecciosas” o de una “plataforma tecnológica para el desarrollo y producción de nanotransportadores inteligentes para fármacos”. De la misma manera, los proyectos europeos que cuentan con la participación de grupos argentinos enfocan sobre la fabricación de “nanotransportadores multifuncionales para microscopía no lineal: nuevas herramientas para biología y medicina” o de “nanomateriales para el control enzimático de la toxicidad por estrés oxidativo y la generación de radicales libres” (Proyectos europeos RISE Marie Curie 2020<sup>13</sup>).

En todos esos casos, las pruebas de concepto y plataformas tecnológicas no son objetivos predeterminados en una trayectoria recta, como lo sugieren los escenarios energéticos estudiados en el apartado anterior. Al contrario, abren un campo de posibles diseños para lograr propiedades funcionales controladas. Señalan que hay una pista de investigación, un posible camino a explorar. En ese sentido, los conocimientos anticipatorios que apuntan a la fabricación de pruebas de concepto y plataformas tecnológicas no están esperando confirmación o negación, porque no forman parte de un enfoque científico clásico sino más bien de un enfoque de diseño técnico, donde los obstáculos son trampolines para rebotar hacia desarrollos tecnológicos más sofisticados (BENSAUDE-VINCENT; SIMON, 2019). Finalmente, los conocimientos anticipatorios de las nanotecnologías no indican objetivos muy precisos; son nebulosos y abiertos a las adaptaciones, en función del avance de cada desarrollo experimental y de los perfeccionamientos de los instrumentos de fabricación y caracterización de la materia a esa escala.

## CONCLUSION

¿En qué medida los micro-regímenes de conocimiento anticipatorio difieren en los dos sectores tecnológicos estudiados? En el caso de las tecnologías energéticas, la implementación de escenarios es similar al enfoque que propone la prospectiva, ya que su objetivo es construir una visión del futuro al servicio de la acción presente, apoyándose sobre decisiones supuestamente racionales. En ese sentido, los conocimientos anticipatorios que se producen en los ejercicios de escenarización funcionan como un instrumento de gobernanza de la tecnología. Permiten evaluar comparativamente las opciones técnicas y establecer prioridades de inversión en función de prioridades políticas (económicas, ambientales o sociales) y de un ensamblaje de indicadores y técnicas de planificación (modelos y escenarios) cada vez más sofisticadas e integradoras –es decir, una combinación de previsiones (extrapolaciones del pasado y presente hacia el futuro) y predicciones (imaginación e implementación virtual de posibles opciones) que proporciona objetivos que siguen una lógica que los actores involucrados consideran como racional.

En el caso de las nanotecnologías, en cambio, los conocimientos anticipatorios que guían las acciones presentes presentan un nivel de imprecisión mucho más alto, ya que requieren que los científicos y tecnólogos proyecten aplicaciones potenciales que no pueden definir de manera muy precisa; esas aplicaciones

potenciales (o “pruebas de concepto”) están abiertas a reformulaciones posteriores que dependen de modificaciones, adaptaciones y perfeccionamientos de dispositivos experimentales que siguen imprevisibles. En ese sentido, los conocimientos anticipatorios de las nanotecnologías no trazan una línea recta (o varias líneas rectas) hacia un futuro deseable, sino que sirven más bien para arrastrar el presente (BENSAUDE-VINCENT, 2015). Constituyen elementos movilizados, bajo el término unificador de “nanotecnología”, que dan una coherencia a líneas de investigación dispersas y permiten la coordinación de múltiples acciones de política de CTI que estructuran de manera durable las comunidades de investigación en nanotecnologías<sup>14</sup>. Más que proporcionar objetivos precisos a alcanzar, esos conocimientos anticipatorios ofrecen posibilidades y oportunidades que alimentan y legitiman un presente caracterizado por una efervescencia de nuevas orientaciones científicas y una multiplicación de los instrumentos de política de CTI.

## Between future projections and uncertainty: anticipatory knowledge in the development of two technological sectors in Argentina

### ABSTRACT

The future, as an object of knowledge and action, constitutes a crucial dimension of scientific and technological activities. The present article analyses the role of “anticipatory knowledge” –i.e. knowledge about the future- in the cases of two technological sectors in Argentina: energy technologies and nanotechnologies. The comparative analysis enables the identification of two micro-regimes of anticipatory knowledge. In the case of energy technologies, anticipatory knowledge works as a governance tool that allows for the comparative assessment of technical options and the definition of investment priorities which depends on political considerations and an assembly of indicators and planning techniques (models and scenarios). In the case of nanotechnologies, on the other hand, the anticipatory knowledge that guides the present actions presents a much higher level of imprecision, since it requires that scientists and technologists project potential applications that they cannot define precisely. However, it constitutes a strategic resource that gives coherence to the multiple lines of research and STI policy actions that structure the techno-scientific communities of this emerging field.

**KEYWORDS:** Anticipation. Expectations. Future. Knowledge. Technology. Argentina.

---

<sup>1</sup> En este trabajo, consideramos únicamente los aportes de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología (CTS) sobre el futuro. Sin embargo, este tema ha sido objeto de muchos estudios por parte de otras ramas de las ciencias sociales y humanas (ver, por ejemplo, el trabajo de F. Hartog (2003) sobre los “regímenes de historicidad”). Por otra parte, en esa revisión bibliográfica no consideramos los estudios prospectivos, ya que constituyen en sí mismo un campo de estudio que se dedica a producir anticipaciones y previsiones; para este trabajo, consideramos este campo como parte de nuestro objeto de estudio –es el caso, en particular, de nuestro estudio sobre la plataforma escenarios estratégicos.

<sup>2</sup> Esta estrategia metodológica contrasta con otras, por ejemplo, que postulan a priori las normas y convenciones que animan los sectores estudiados (LANCIANO-MORENAT; VERDIER, 2004) o las que privilegian una mirada a los instrumentos de política pública para identificar, según una lógica de racionalidad estatal, los modos en que se construyen las agendas de problemas y soluciones de política pública (LASCOUMES; LE GALES, 2004).

<sup>3</sup> No fue el caso de todos los países. Los Estados Unidos, por ejemplo, propusieron, en el marco de la *National Nanotechnology Initiative*, una hoja de ruta que distingue cuatro “generaciones” de nanoproductos y nanodispositivos: “nanoestructuras pasivas”, “nanoestructuras activas”, “nanosistemas” y “nanosistemas moleculares con funciones emergentes” (HUBERT; VINCK, 2022).

<sup>4</sup> Avina es una ONG latinoamericana creada en 1994 por un empresario suizo para contribuir al desarrollo sostenible de la región.

<sup>5</sup> El Comité Ejecutivo de la tercera ronda ha quedado conformado, además del MINEM y del PNUD, por el Centro de Estudios de la Actividad Regulatoria Energética (CEARE) de la UBA, el Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA) y la Fundación Avina. La Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN), que fue parte del Comité en las dos primeras rondas, se retiró del Comité en la última ronda, ya que quiso participar como escenarista.

<sup>6</sup> Se hicieron seis escenarios en la primera ronda y nueve en la segunda y la tercera. En la última ronda, los escenaristas fueron: la Asociación de Generadores de Energía Eléctrica de la República Argentina (AGEERA); la Asociación de Grandes Usuarios de la Energía Eléctrica de la República Argentina (AGUEERA) en conjunto con la Unión Industrial Argentina (UIA); el Comité Argentino del Consejo Mundial de Energía (CACME); la Cámara Argentina de Energías Renovables (CADER); el Foro de Ecología Política (FEP); la Fundación Vida Silvestre (FVS); la Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN) en conjunto con la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN); el Grupo NOA (Salta y Jujuy); el Consejo Asesor de Política Energética de la Provincia de Córdoba (CAPEC).

<sup>7</sup> <https://www.escenariosenergeticos.org/metodologia/>

<sup>8</sup> Diversidad energética eléctrica, diversidad energética primaria, costo medio, costo total, eficiencia energética, independencia externa, balanza comercial.

<sup>9</sup> Emisiones de gases de efecto invernadero, intensidad de emisiones energía primaria, emisiones generación eléctrica, intensidad de emisiones sector eléctrico, emisiones de óxidos de azufre y de nitrógeno, uso de suelo, aspectos ambientales de hidrocarburos.

<sup>10</sup> Conflictividad y generación de empleo.

<sup>11</sup> <http://www.escenariosenergeticos.org/conclusiones/>

<sup>12</sup> El otro caso estudiado por los autores es el término “desarrollo sustentable”. Se puede relacionar la tesis del “termino-paragua” de Rip y Voß (2013) con el análisis que hace Wullweber (2015) de las nanotecnologías como “significante vacío” (LACLAU, 1996).

<sup>13</sup> <https://www.conicet.gov.ar/nueve-proyectos-donde-participa-el-conicet-obtuvieron-financiamiento-rise-marie-curie-2020/>

<sup>14</sup> Acciones de política de CTI como la creación de infraestructuras de investigación (plataformas técnicas), de redes de cooperación y de organismos de promoción las nanotecnologías (la Fundación Argentina de Nanotecnología, por ejemplo) (SURTAYEVA, 2019; HUBERT et al., 2021).

## REFERENCIAS

ÁLVAREZ-GAYOU JURGENSON, J. L. 2003. **Cómo hacer investigación cualitativa. Fundamentos y metodología**. Buenos Aires: Editorial Paidós.

AYKUT, S. 2019. Reassembling Energy Policy: Models, Forecasts, and Policy Change in Germany and France. **Science & Technology Studies** 32 (4): 13-35.

AYKUT, S.; DEMORTAIN, D.; BENBOUZID, B. 2019. The Politics of Anticipatory Expertise: Plurality and Contestation of Futures Knowledge in Governance – Introduction to the Special Issue. **Science & Technology Studies**, 32 (4): 2-12.

BELJANSKY, M.; KATZ, L.; ALBERIO, P.; BARBARAN, G. 2018. **Escenarios Energéticos Argentina 2040. Coincidencias y divergencias sobre el futuro de la energía en Argentina**. Informe co-editado por el Centro de Estudios de la Actividad Regulatoria Energética (UBA), el Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA), la Fundación AVINA y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Secretaría de Gobierno de Energía.

BENSAUDE-VINCENT, B. 2015. Promesses et régimes d'historicité en technosciences. En **Sciences et technologies émergentes: pourquoi tant de promesses?** editado por Marc Audétat, 49-67. París: Editions Hermann.

BENSAUDE-VINCENT, B.; SIMON, J. 2019. Introduction. Nanotechnoscience: The End of the Beginning. **Philosophia Scientiæ** 23 (1):, 5–17.

BERGER, M.; CARROZZA, T.; BAILO, G. 2021. **Nanotecnología y sociedad en Argentina (vol. 1): para una agenda inter y transdisciplinaria**. Córdoba: RDU UNC Secyt- Celfi.

BORUP, M.; BROWN, N.; KONRAD, K.; VAN LENTE, H. 2006. The sociology of expectations in science and technology. **Technological Forecasting and Social Change**, 18 (3/4): 285-298.



BROWN, N.; MICHAEL, M. 2003. A sociology of expectations: retrospecting prospects and prospecting retrospects. **Technology Analysis and Strategic Management** 15 (1): 3-18.

CARDON, V. 2020. Bounded Futures: Growing a Boundary Foreknowledge Infrastructure in Food Security Research. **Science, Technology & Society** 25 (1): 38-66.

DOLEZ, A.; GRANJOU, C.; LOUVEL, S. 2019. On the Plurality of Environmental Regimes of Anticipation: Insights from Forest Science and Management. **Science & Technology Studies** 32 (4): 78-96.

GOULET, F.; HUBERT, M. 2020. Making a place for alternative technologies. The case of agricultural bio-inputs in Argentina. **Review of policy research** 37 (4): 535-555.

HEDGECOE, A; MARTIN, P. 2003. The drugs don't work: Expectations and the shaping of pharmacogenetics. **Social Studies of Science** 33 (3): 327-364.

HUBERT, M.; SPIVAK L' HOSTE, A. 2021. Los imaginarios sociotécnicos de las políticas de producción de energía eléctrica en Argentina. **Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad – CTS** 16 (47): 223-250.

HUBERT, M.; SPIVAK L'HOSTE, A.; BURTON, B. 2021. La convergencia tecnocientífica y sus traducciones político-institucionales, profesionales y organizacionales, **NÓMADAS** 55: 45-61.

HUBERT, M.; VINCK, D. 2022. De la ingeniería heterogénea a las transiciones sociotécnicas: el caso de las Micro y Nano Tecnologías (MNT). **Hipertextos. Capitalismo, Técnica y Sociedad en debate** 10 (17).

HURTADO, D.; LUGONES, M.; SURTAYEVA, S. 2017. Tecnologías de propósito general y políticas tecnológicas en la semiperiferia: el caso de la nanotecnología en la Argentina. **Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad – CTS** 12: 65-93.

JASANOFF, S.; KIM, S.-H. 2009. Containing the Atom: Sociotechnical Imaginaries and Nuclear Power in the United States and South Korea. **Minerva** 47: 119-46.

JOLY, P.-B. 2010. On the economics of techno-scientific promises. En **Débordements. Mélanges offerts à Michel Callon**, editado por Madeleine Akrich, Yannick Barthe, Fabian Muniesa y Philippe Mustar, 203-222. Paris : Presses des Mines.

KÖRBES, C.; INVERNIZZI, N. 2020. Science Communication on Nanotechnology in the Brazilian Media. **Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad — CTS 15 (45): 37-59.**

LANCIANO-MORENAT, C.; VERDIER, E. 2004. Dynamiques des régimes sociétaux d'enseignement supérieur et d'innovation. **Revue Internationale de Politique Comparée 11: 369-388.**

LACLAU, E. 1996. Why do empty signifiers matter to politics? En **Emancipation(s)**, editado por E. LACLAU, 34-46. London: Verso.

LASCOUMES, P.; LE GALES, P. 2004. **Gouverner par les instruments**. Paris: Presses de Sciences Po.

LOUVEL, S. 2020. **The Policies and Politics of Interdisciplinary Research: Nanomedicine in France and in the United States**. NY: Routledge.

MINCYT. 2012. **Argentina Innovadora 2020. Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. Lineamientos Estratégicos 2012-2015**. Buenos Aires: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.

NELSON, N.; GELTZER, A.; HILGARTNER, S. 2008. Introduction: the anticipatory state: making policy-relevant knowledge about the future. **Science and Public Policy 35 (8): 546-550.**

PESTRE, D. 2003. Regimes of knowledge production in society: Towards a more political and social reading. **Minerva 41 (3): 245-261.**

RIP, A.; VOß, J. P. 2013. Umbrella Terms as Mediators in the Governance of emerging Science and Technology. **Science, Technology & Innovation Studies 9 (2): 39-59.**

SOLER ILLIA, G. 2009. **Nanotecnología. El desafío del siglo XXI**. Buenos Aires: Eudeba.

SOTO-VAZQUEZ, R; ZAYAGO LAU, E; MALDONADO LOPEZ, L. A. 2022. Gobernanza de la nanomedicina: una revisión sistemática. **Mundo Nano 15 (28): 1-25.**

SURTAYEVA, S. 2019. **Análisis de la evolución de las capacidades locales y políticas públicas en nanociencia y nanotecnología en la Argentina (2003-2015)**. Tesis para la Maestría en Ciencia, Tecnología y Sociedad de la Universidad Nacional de Quilmes, Argentina.

VAN LENTE, H.; RIP, A. 1998. Expectations in Technological Developments: An Example of Prospective Structures to be Filled in by Agency. En **Getting New Technologies Together: Studies in Making Sociotechnical Order**, editado por Cornelis Disco y Barend Van Der Meulen, 202-230. Berlin: Walter de Gruyter.

VINCK, D. ; HUBERT, M. 2017. **Nanotechnologies, l'invisible révolution. Au-delà des idées reçues**. París: Le cavalier bleu.

WULLWEBER, J. 2015. Global politics and empty signifiers: the political construction of high technology. **Critical Policy Studies** 9 (1): 78-96.

**Recebido:** 14/03/2022

**Aprovado:** 24/03/2022

**DOI:** 10.3895/rts.v18n52.15249

**Como citar:** HUBERT, M.; SPIVAK L'HOSTE, A. Entre proyecciones a futuro e incertidumbre: el conocimiento anticipatorio en el desarrollo de dos sectores tecnológicos en Argentina. *Rev. Tecnol. Soc.*, Curitiba, v. 18, n. 52, p.1-18, jul./set., 2022. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/15249>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

