

LIDERANDO LAS TRAYECTORIAS SOCIO-TÉCNICAS DEL SECTOR NUCLEAR ARGENTINO: GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN DESDE EL ESTADO

JAVIER CANTERO

Universidad Nacional de General Sarmiento, Instituto de Industria (IdeI), Argentina
jcantero@ungs.edu.ar

NATALIA GONZALEZ

Universidad Nacional de General Sarmiento, Instituto de Industria (IdeI), Argentina
ngonzalez@ungs.edu.ar

DAIANA DIAZ

Universidad Nacional de General Sarmiento, Instituto de Industria (IdeI), Argentina
ddiaz@ungs.edu.ar

RESUMEN

A diferencia de la *idée reçue* acerca del liderazgo empresarial de la gestión de I+D, el sector nuclear argentino se destaca por la conformación de un núcleo duro de organizaciones públicas cuya red está estructurada en torno a la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Desde mediados del siglo XX, Argentina incursiona en el sector nuclear y de manera sostenida, con ciertas invariancias y cambios, desarrolla trayectorias socio-técnicas que responden al triángulo de Sabato, coherente con el modelo de triple hélice liderado por el Estado.

El presente trabajo aborda el proceso de gestión de I+D en un sector altamente riesgoso y confiable, haciendo foco en la naturaleza diacrónica de las trayectorias socio-técnicas. Junto con las nociones del análisis socio-técnico, el ecléctico marco teórico construido se nutre de ciertos conceptos de la economía de la innovación (e.g. procesos de I+D, modelo de triple hélice) y de la teoría de la alta confiabilidad (i.e. HRT según las siglas anglosajonas de High Reliability Theory).

Desde el punto de vista metodológico se trató de superar la clásica oposición entre investigación hipotético-deductiva e inductiva mediante un proceso de construcción teórica a través de un caso de estudio. Se recurrió a la entrevista semi-estructurada como instrumento de intervención junto con la utilización de fuentes documentales referidas al sector nuclear argentino.

Cuatro son las trayectorias socio-técnicas que surgen del análisis del sector: trayectoria de desarrollo científico-técnico e institucional; de reactores experimentales/investigación; de aplicaciones medicinales, biológicas, industriales y agroindustriales y de centrales nucleares de potencia.

Finalmente, el presente trabajo plantea dos temas de discusión. En primer lugar, un análisis

diacrónico de las trayectorias socio-técnicas del sector nuclear argentino. En segundo lugar, los desafíos del sector bajo análisis a partir de los cambios políticos a nivel nacional y la adopción de políticas pro-mercado.

Palabras clave: Trayectoria socio-técnica – Proceso de I+D – CNEA (Comisión Nacional de Energía Atómica) – Sector nuclear argentino – High Reliability Organizations (HROs).

1. INTRODUCCION

Liderar la I+D en el sector nuclear argentino es una cuestión estatal. En efecto, desde su origen en Argentina, el Estado asumió el rol principal en el desarrollo de la energía nuclear dada su naturaleza estratégica, riesgosa y de alto impacto en el desarrollo industrial endógeno. Parafraseando a Scott Sagan¹, el desarrollo del sector nuclear argentino es demasiado importante como para dejárselo a los empresarios.

El presente trabajo aborda el proceso de gestión de I+D en un sector altamente riesgoso y confiable, haciendo foco en la naturaleza diacrónica de las trayectorias socio-técnicas. Junto con las nociones del análisis socio-técnico, el ecléctico marco teórico construido se nutre de ciertos conceptos de la economía de la innovación (e.g. procesos de I+D, modelo de triple hélice) y de la teoría de la alta confiabilidad (i.e. HRT según las siglas anglosajonas de High Reliability Theory).

Trayectoria socio-técnica es una noción que se revela pertinente para comprender la lógica de funcionamiento e interacción de un sector industrial tan riesgoso como demandante de procesos de I+D tendientes al logro de la alta confiabilidad. En ese sentido, el análisis de la historia del sector nuclear argentino permite identificar cuatro trayectorias socio-técnicas: 1) desarrollo científico-técnico e institucional; 2) desarrollo de reactores experimentales o de investigación; 3) aplicaciones medicinales, biológicas, industriales y agroindustriales y 4) desarrollo de centrales de potencia.

Las trayectorias socio-técnicas del sector nuclear argentino, además de presentarse como constructo teórico, no están reificadas institucional, organizacional y/o tecnológicamente. Evolucionan de manera no lineal y pueden verse afectadas tanto por factores políticos a nivel nacional como por los eventos, tendencias y catástrofes a nivel internacional. De ahí que se arribe a la conclusión de que la robustez institucional del sector nuclear argentino, los recientes logros alcanzados y su historia de aportes al sistema científico-tecnológico y de innovación deberán enfrentar no sólo los desafíos científico-tecnológicos propios de un sector industrial de alto riesgo sino especialmente condiciones políticas imperantes, adversas al desarrollo industrial endógeno, y factores contextuales a nivel internacional de cuestionamiento acerca de la compatibilidad con la idea de desarrollo sustentable.

¹Según el autor : “*In a world filled with nuclear power plants, oil supertankers and hydrogen bombs, safety is too important to be left to engineers and economists.*” (Sagan, 1994:228).

2. METODOLOGIA

Abordar el estudio de un sector industrial ontológicamente riesgoso aunque estratégico y confiable en la práctica plantea múltiples interrogantes (LaPorte & Consolini, 1991). ¿Cómo se conformó un sector industrial de punta en un país semi-industrializado y periférico? ¿Qué rasgos presenta el proceso evolutivo del sector nuclear argentino? ¿Resulta pertinente la utilización de la noción de trayectoria socio-técnica al sector bajo estudio? ¿Existe coherencia o un patrón decisorio en torno a las trayectorias socio-técnicas del sector? ¿Cómo se materializan las trayectorias socio-técnicas? ¿Cuáles son y cómo se distribuyen y asumen los roles durante los procesos de I+D insertos en las trayectorias socio-técnicas? ¿Cómo impactan los cambios políticos sobre las trayectorias socio-técnicas del sector nuclear argentino? Este es el conjunto de preguntas de investigación que se plantea en el presente trabajo.

En una primera instancia, la entrevista semi-estructurada fue el instrumento de intervención predominantemente utilizado. Fueron entrevistados *in situ* diversos interlocutores clave (e.g. responsables de planta, de seguridad industrial y de sala de control), dando lugar a más de veinte horas de entrevistas grabadas digitalmente, posteriormente desgrabadas y analizadas con el enfoque metodológico de la teoría fundada (Glaser & Strauss, 1967). En una segunda instancia se está desarrollando una serie de entrevistas semi-estructuradas con interlocutores clave pertenecientes a la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).

La información primaria fue complementada con una minuciosa recopilación y análisis bibliográfico sobre organizaciones de alta confiabilidad, sector nuclear argentino e innovación en organizaciones riesgosas. Se recurrió a fuentes de información secundaria como *papers* en revistas académicas, informes de organismos nacionales e internacionales del sector nuclear, el Plan Nuclear Argentino, los Planes Estratégicos de CNEA (2010-2019 y 2015-2025), publicaciones institucionales (especialmente de NA-SA) y artículos en medios periodísticos y de divulgación.

3. CONSTRUCCIÓN DEL MARCO TEÓRICO

Para el presente trabajo se adopta una perspectiva organizacional basada en los recursos (i.e. *Resource Based View*) de la gestión de HROs sin obviar las cuestiones onto-epistemológicas, esenciales para comprender su funcionamiento. En contraposición a las investigaciones centradas en los factores tecnológicos y humanos, nuestro estudio prioriza las variables organizacionales e inter-organizacionales. De hecho, el factor innovador de nuestro trabajo investigativo radica en la fertilización cruzada de la teoría de las organizaciones de alta confiabilidad, los estudios sobre las relaciones inter-organizacionales, la teoría de la innovación y la sociología de la tecnología.

3.1 Distinciones conceptuales esenciales desde la economía y los estudios organizacionales acerca de los procesos de innovación

Desde los escritos pioneros de Schumpeter (1912 [1934]), los procesos de innovación son concebidos como invención más explotación comercial de nuevos productos, procesos productivos, mercados y formas de organizar (Dodgson *et al.* 2008). Innovación también es

conocimiento tecnológico y comercial aplicado a nuevos productos para los consumidores; es una nueva forma de hacer algo que se comercializa (Porter, 1990).

Más allá de las definiciones de innovación, los investigadores establecieron ciertas distinciones para evaluar la naturaleza y alcance de los procesos innovativos. En esa línea, Freeman (1974) contrasta la innovación incremental a la radical a través de la naturaleza del cambio tecnológico y el grado de novedad (Dodgson *et al.*, 2008). Tushman y Anderson (1986; 1990) distinguen entre discontinuidades tecnológicas y progreso técnico incremental.

Siguiendo a Henderson y Clark (1990), las distinciones radical e incremental han contribuido a la caracterización de los procesos de innovación a pesar de ser nociones esencialmente incompletas. Focalizados en la explicación de “cómo innovaciones menores pueden tener grandes consecuencias competitivas”, el modelo propuesto por los autores, incluye dos tipos de innovación adicionales a las previamente mencionadas: modular y arquitectural. La primera es una innovación que cambia los conceptos centrales de diseño sin modificación alguna en los vínculos entre los conceptos centrales y los componentes. Inversamente, la innovación arquitectural produce cambios en los vínculos y refuerza los conceptos centrales existentes.

Abernathy y Clark (1985) desarrollan un modelo para analizar los impactos de la innovación sobre la competitividad. A partir del concepto de *transiliencia* (i.e. transilience en inglés), concebido como “la capacidad de una innovación para influir sobre los sistemas de producción y marketing establecidos” (Abernathy y Clark 1985: 3), los autores proponen una categorización de la innovación tecnológica de acuerdo al impacto que generan sobre las competencias comerciales y tecnológicas. En el mapa de la *transiliencia* se encuentran las innovaciones incrementales y radicales, rebautizadas como regular y arquitectural respectivamente. También aparece la innovación en la fase de nichos de mercado y la innovación revolucionaria.

Comprender las fuentes de innovación es un tema central para la gestión de los procesos de innovación. Desde un punto de vista diacrónico, el proceso de innovación consiste en una búsqueda teleológica y organizada del cambio (Drucker, 1986: 35). La innovación sistemática requiere de un monitoreo permanente de siete fuentes de oportunidades de innovación: lo inesperado; lo incongruente; innovación basada en la necesidad de un proceso; cambios en la estructura industrial o la estructura del mercado; cambios en la demografía; cambios en la percepción, modalidad y significado; nuevos conocimientos. Complementariamente, el enfoque de Von Hippel (1988) destaca el rol dominante de los usuarios en el proceso de innovación.

No existe el *one best way* para gestionar el proceso de innovación. Dodgson *et al.* (2008) reseñan cinco enfoques diferentes para gestionar la innovación. Desde los modelos lineales *–research-push* o *demand-pull–* hasta los procesos de innovación estratégico e integrado, pasando por los modelos integradores y colaborativos, los *mánagers* se apoyan en distintas modalidades para gestionar los esfuerzos innovadores de acuerdo a múltiples dimensiones tales como el *locus* de inversión, las fuentes de innovación, la secuencia de las fases de los procesos de innovación y los actores involucrados.

Como sostienen Dodgson *et al.* (2008), el proceso de innovación lleva a la movilización de los recursos organizacionales para sacar ventaja de las oportunidades. En ese sentido, las competencias organizacionales se encuentran en el centro del proceso de innovación (Eisenhardt

y Martin, 2000; Penrose, 1959; Prahalad y Hamel, 1990; Teece, 1980, 1997; Wernerfelt, 1984; Williamson, 1975).

El conjunto de enfoques reseñados resulta particularmente pertinente para analizar la evolución de un sector económico como el de la energía, en particular el sector nuclear argentino, y también para comprender el alcance de las innovaciones y las futuras posibilidades para generar procesos endógenos de innovación tecnológica. No obstante ello, es necesario incorporar al marco teórico los aportes de la sociología de la tecnología, específicamente la noción de trayectoria socio-técnica así como los conceptos centrales de la teoría de la alta confiabilidad.

3.2 La noción de trayectoria socio-técnica: aportes de la sociología de la ciencia y la tecnología

La generación y acumulación de conocimientos en torno a la tecnología suele abordarse desde la concepción de *trayectoria*. En ese sentido algunos autores se refieren a trayectorias naturales (Rosenberg, 1976) mientras que otros subrayan su carácter tecnológico (Dosi, 1982, 1988). Ambas conceptualizaciones resultan incompletas para reflexionar en torno a procesos mayores que impliquen no sólo trayectorias técnicas sino también organizacionales y/o institucionales.

El éxito o fracaso de una tecnología no puede explicarse únicamente por sus propiedades intrínsecas. Todas las tecnologías son socialmente construidas, son humanas. De hecho, resulta simplificadora e incluso errónea la operación tendiente a escindir las esferas tecnológicas y sociales ya que “las sociedades son tecnológicas así como nuestras tecnológicas son sociales” (Thomas, Lalouf y Fressoli, 2008:12).

En un conjunto de aportes, entre los que se destaca la obra de Karl Marx (Rosenberg, 1982; Katz, 1998), se visibiliza la tensión entre los determinismos tecnológicos y sociales. La sociología de la tecnología y el constructivismo social proponen nuevos abordajes intentando superar los problemas que trae aparejado el análisis en perspectivas más limitadas. La construcción social de la tecnología desarrollada por Wiebe Bijker y Trevor Pinch (1984, 2008) se constituye en una teoría, no sólo en una crítica a las concepciones tradicionales acerca de por qué determinadas tecnologías son más exitosas que otras, asumiendo que los artefactos pueden ser interpretados de diferentes maneras, en función del tipo de problemas para los cuales el artefacto es considerado una solución.

El nivel de análisis socio-técnico irrumpe combinando las matrices disciplinarias de la sociología de la tecnología y la economía del cambio tecnológico. Complejiza las concepciones permitiendo reflexionar no sólo acerca de la naturaleza tecnológica de los cambios sociales sino también de la naturaleza social de los cambios tecnológicos. Esta bidimensionalidad no se agota allí ya que adquiere múltiples dimensiones al incorporar las aristas de lo organizativo, lo institucional y lo político. En ese sentido, “*trayectoria socio tecnológica permite dar cuenta de procesos de co-construcción de productos, procesos organizativos y organizacionales e instituciones, relaciones usuario-productor, procesos de aprendizaje y relaciones, problema-solución, procesos de construcción de funcionamiento o no funcionamiento de una tecnología, racionalidades, políticas y estrategias de un actor o de un marco tecnológico determinado*” (Thomas, 2008: 249).

Dadas las características del constructo teórico “trayectoria socio-técnica”, se pone en evidencia su potencialidad a la hora de realizar un análisis diacrónico de los procesos de I+D en un sector altamente riesgoso/confiable², haciendo hincapié en las dinámicas que generan nuevos conocimientos y soluciones tecnológicas antes que en las vulnerabilidades derivadas de la naturaleza de los sistemas tecnológicos.

3.3 Comprensión teórica de la alta confiabilidad: High Reliability Theory (HRT)

¿Qué tienen en común las centrales generadoras de energía nucleoelectrónica, los sistemas de control de tráfico aéreo, los porta-aviones navales, las organizaciones que gestionan las misiones de cohetes espaciales, las empresas petroquímicas y los equipos de intervenciones quirúrgicas de alta complejidad? Son sistemas riesgosos que pueden generar eventos catastróficos las veinticuatro horas del día, los trescientos sesenta y cinco días del año.

Las catástrofes de *Chernobil*, *Three Mile Island* (TMI), *Bhopal*, *Challenger* y *Columbia* fueron moldeando el campo de estudio de las organizaciones riesgosas. Entre los trabajos se destaca el análisis de Charles Perrow sobre la fusión parcial de un núcleo de reactor de la planta nuclear TMI ya que permitió caracterizar a los sistemas riesgosos. Según Perrow (1984), se trata de sistemas tecnológicos cuyas interrelaciones son complejas y en los que se constata un alto nivel de integración o acoplamiento de sus partes componentes. La idea central de la teoría de los accidentes normales (i.e. NAT, acrónimo del inglés Normal Accidents Theory) es la inexorabilidad de las catástrofes. Las organizaciones riesgosas son esencialmente vulnerables y el advenimiento de un evento catastrófico es una mera cuestión de tiempo.

Además de los rasgos tecnológicos de los sistemas riesgosos, un conjunto de competencias organizacionales (e.g. alta competencia técnica, cultura de la confiabilidad, búsqueda constante de la mejora, patrones de autoridad flexibles, redundancia positiva) explican la paradoja de que funcionan en la práctica pero no en la teoría (LaPorte y Consolini, 1991). Los autores del denominado Grupo de Berkeley (Rochlin, 1993; Schulman, 1993; Roberts, 1990; Weick, 1987) invirtieron la idea central de la teoría de los accidentes normales y sostuvieron que las organizaciones riesgosas son confiables a pesar de ser potencialmente catastróficas. Así, la teoría de las organizaciones de alta confiabilidad (i.e. HRT, High Reliability Theory) hace foco en las competencias organizacionales que aseguran una *performance* altamente confiable.

Por su parte, Karl Weick y sus colegas sostienen que en las HROs, ante la incertidumbre y los eventos inesperados, se desarrolla una infraestructura cognitiva que genera un estado de mente colectiva o conciencia activa derivada de una interacción atenta (Weick y Roberts, 1993). Cinco principios –de anticipación y contención– permiten gestionar lo inesperado. En otras palabras, las HROs son confiables por: a) su preocupación por el fracaso, b) evitar interpretaciones simplificadoras, c) el monitoreo de sus operaciones, d) el compromiso con la resiliencia y e) la presencia de estructuras de baja especificidad que respetan el *savoir-faire* por sobre la jerarquía (Weick y Sutcliffe, 2007; Weick *et al.*, 1999).

² Los trabajos de Aguiar, Fressoli y Thomas (2007); Thomas, Versino y Lalouf (2003, 2008) y Thomas y Buch (2008) ofrecen evidencias teórico-empíricas sobre la potencialidad del concepto de trayectoria socio-técnica.

La teleología es otra dimensión que nos permite distinguir entre HROs y aquellas que no lo son. En ese sentido, justo es reconocer que todo el universo organizacional posee una teleología múltiple. Las organizaciones persiguen objetivos y metas múltiples, frecuentemente en conflicto. De ahí que las organizaciones apelen a distintas estrategias para resolver la conflictiva multiplicidad teleológica: disolver los conflictos teleológicos; establecer una jerarquía teleológica; establecer arbitrajes o *trade-offs* entre objetivos; conciliar objetivos múltiples en conflicto (Cantero y Gonzalez, 2016). Esta última es la estrategia más compleja, desafiante y riesgosa tanto para su análisis como para la búsqueda de soluciones.

Las HROs no tienen alternativas con respecto a sus objetivos: deben alcanzarlos todos en forma simultánea si pretenden sobrevivir. No pueden disolver su multiplicidad teleológica, no pueden apelar a la jerarquización de sus objetivos y tampoco deben establecer arbitrajes que pongan en riesgo su supervivencia. En otras palabras, la característica distintiva de las HROs es que deben conciliar objetivos múltiples, en conflicto y concomitantes (Cantero y Gonzalez, 2016; Cantero y Seijo, 2012; Rochlin, 1993; Bourrier, 2001; Cameron, 1985; Weick, 2011).

Con respecto al estudio de las organizaciones del sector nuclear desde la perspectiva de las HROs se destacan los trabajos de Bierly y Spender (1995) y Bierly *et al.* (2008), Wilpert e Itoigawa (2001), Rollenhagen *et al.* (2013) y Reiman *et al.* (2005) sobre cultura de la seguridad en centrales nucleares, los procesos decisorios ante eventos precursores (Smith y Borgonovo, 2007), los modelos de confiabilidad (Bourrier, 1996, 1999), los límites de la redundancia en tanto que dispositivo generador de confiabilidad (Sagan, 2004), los estudios sobre armamento nuclear y disuasión (Sagan, 1993; Delpeche, 2012), la necesidad de gestionar los desechos nucleares (LaPorte, 1978) y la perspectiva del factor humano (Misumi *et al.*, 1999). También se desarrolló otra línea de estudio, concentrada en las demandas societales de seguridad *vis-à-vis* las centrales nucleares (Itoigawa *et al.*, 2005).

Reseñadas las teorías movilizadas para construir nuestro objeto de estudio, queda en evidencia que el análisis de una HRO a partir de los procesos de I+D, más allá de los resultados materiales o artefactos –en este caso la central nuclear Atucha II– no se dan en forma aislada sino que están insertos en trayectorias socio-técnicas que le dan sentido al simple (o complejo) artefacto tecnológico.

4. GESTION DE I+D EN EL SECTOR NUCLEAR ARGENTINO

¿Cómo conciliar la gestión de procesos de I+D con la gestión de HROs? Es decir, ¿cómo lograr de manera concomitante desarrollar nuevos productos, procesos y conocimiento científico-tecnológico en un sector altamente riesgoso?

Atendiendo a las condiciones de posibilidad de un país semi-industrializado de la periferia, se constatan procesos de I+D derivados de un modelo de triple hélice liderado por el Estado y en los que una red de actores industriales, científico-tecnológicos e institucionales desarrollan patrones de interrelación perdurables en el tiempo, constituyendo una dinámica socio-técnica.

4.1 Actores, roles e interrelaciones del sector nuclear argentino

Como se describe en el Plan Nuclear Argentino (2010-2019). El sector nuclear argentino está conformado por una red de organizaciones con funciones y roles definidos a partir de los cuales se desenvuelve una miríada de interrelaciones. En ese entramado, la CNEA, eje central de la red interorganizacional, tiene como misión “asesorar al poder ejecutivo en la definición de la política nuclear, llevar a cabo investigaciones y desarrollos tecnológicos, ingeniería y servicios en el área, dentro del marco de los usos pacíficos de la energía nuclear”. Pensamiento estratégico, formalizado en planes estratégicos que ponen en evidencia el rol de planificador. Como se indica en el Plan Estratégico Nuclear (PNA) 2015-2025 “(el PNA)...es el marco que ha permitido que los proyectos de la actividad nuclear se desarrollen no como acciones aisladas o espasmódicas de un grupo de científicos y técnicos, sino como parte de una política de Estado que rescata la importancia estratégica que la energía nuclear tiene para el desarrollo socio-económico del país.” (PNA, 2016: 5).

Asimismo, la CNEA tiene un rol orientador determinante en la definición de las áreas temáticas estratégicas (e.g. exploración y producción de uranio, desarrollo de combustibles nucleares, medicina nuclear, reactores de baja potencia y de investigación, centrales nucleares de potencia) del sector nuclear en su conjunto.

Por su parte, INVAP S.E. desarrolla proyectos tecnológicos complejos, tanto en el área nuclear como en el sector industrial y espacial.³ Si bien existe cierto foco en el diseño de reactores nucleares experimentales, no resulta óbice para participar en diversos proyectos y servicios relativos a las centrales nucleares de potencia. Se trata de un rol de desarrollador tecnológico.

CONUAR S.A. es una empresa esencial para el desarrollo de los elementos combustibles y su ensamblaje. En efecto, una de las claves de la política de apertura del paquete tecnológico apunta al dominio de los sistemas y componentes de los reactores nucleares.

Desde el punto de vista productivo, Dioxitek S.A., FAE S.A. y ENSI S.E. aseguran el suministro de dióxido de uranio, tubos de zircaloy y agua pesada, respectivamente.

Las actividades de operación de centrales nucleares de potencia quedaron reservadas para NA-SA, sociedad anónima que actualmente también asumió el rol de diseñador y constructor de la tercera central nuclear de potencia, gestión de la extensión de la vida útil de las centrales de potencia y de los proyectos para la construcción de futuras centrales nucleares.⁴

Este entramado interorganizacional ha dado lugar a un patrón de I+D caracterizado por la colaboración interorganizacional para los desarrollos e innovaciones. La CNEA, junto con NA-SA, INVAP S.E. y/o CONUAR, asume un rol central en los procesos de I+D a los que se suma el resto de las empresas de la industria nuclear y, en cierto grado, las empresas subcontratistas pertenecientes a sectores industriales conexos (e.g. empresas del sector metalúrgico).

4.2 Modelo de triple hélice liderado por el Estado: la vigencia del triángulo de Sabato

³ Originalmente concebida como una organización enfocada en el área nuclear, desde los años 1990 se llevó adelante un proceso de diversificación de las áreas de actuación, expandiéndose hacia las áreas espaciales, industriales, de defensa y otros proyectos tecnológicos complejos a medida. Véase el trabajo Seijo & Cantero (2013) para comprender el proceso de diversificación y su consecuente desarrollo de capacidades tecnológicas.

⁴ NA-SA también tiene a su cargo la extensión de vida útil de las centrales nucleares Embalse y Atucha I.

Trabajos de campo precedentes⁵ permitieron inferir que el patrón de I+D responde al triángulo de Sabato, coherente con el modelo de triple hélice (Etzkowitz, 2008) liderado por el Estado. De ahí la relevancia de las interrelaciones entre los actores estatales, el entramado productivo y la infraestructura científico-tecnológica. Interrelaciones que se materializan a través de contratos de servicios, convenios y/o transferencias tecnológicas.

Proyectos como la tercera central nuclear de potencia (e.g. Central Nuclear Atucha II) o la central de baja potencia denominada CAREM 25 ponen en evidencia el funcionamiento del modelo de triple hélice liderado por el Estado, en particular por la CNEA.

Además, la infraestructura científico-tecnológica está compuesta por actores como el Instituto Balseiro, el Instituto de Tecnología Sabato, la Fundación Centro de Diagnóstico Nuclear, el Instituto de tecnología nuclear Beninson, Universidades y centros de investigación. Finalmente, la estructura productiva del sector nuclear (i.e. el núcleo duro y las empresas contratistas de sectores conexos) le da forma al *triángulo de Sabato* en torno al cual se desarrollan las interacciones necesarias para gestionar los procesos de I+D del sector nuclear.

5. TRAYECTORIAS SOCIO-TECNICAS

5.1 Las trayectorias socio-técnicas del sector nuclear argentino

Ante la necesidad de lograr la independencia frente a las grandes potencias que detentaban un virtual monopolio en la investigación y provisión de los elementos combustibles para reactores nucleares se constituyó un *problema relevante* (Pinch y Bijker, 1984) cuyo intento de solución vino de la mano del proyecto Huemul.⁶ Más allá de este proyecto, el origen del sector nuclear argentino se remonta a fines de los años 1940 y se institucionaliza a través de la creación de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) en 1950. A partir de allí se inaugura una trayectoria de desarrollo científico-técnico e institucional. Este período, que se extiende hasta 1964, se destaca por el andamiaje institucional y el foco en el desarrollo de reactores experimentales o de investigación. Las materializaciones más salientes fueron la construcción del RA-1 y la venta del *know-how* para la fabricación de elementos combustibles. En efecto, la construcción del primer reactor experimental, en 1957, marca un hito en el sector nuclear argentino y el comienzo de una segunda trayectoria socio-técnica enfocada en el diseño, construcción y operación de reactores experimentales o de investigación.

Con la experiencia en reactores de investigación y en pleno proceso de desarrollo institucional se inaugura, a partir de 1964, una trayectoria socio-técnica que gira en torno a la construcción de centrales nucleares de potencia. Los estudios de factibilidad y las decisiones acerca del tipo de reactor a construir o comprar fueron moldeando una trayectoria socio-técnica caracterizada por la absorción de tecnología externa –mediante convenios de transferencia tecnológica con empresas nucleares extranjeras– que constituye una palanca tanto del desarrollo del sector nuclear

⁵ Ver Canero *et al.* (2015)

⁶ Proyecto concebido durante el gobierno de Juan D. Perón y a cargo del austriaco Ronald Richter quien sostenía la posibilidad de generar energía atómica de bajo costo en Argentina.

argentino como de las industrias nacionales conexas. Las tres centrales nucleares argentinas de potencia (i.e. Central Nuclear Atucha I, Central Nuclear Embalse y Central Nuclear Atucha II) son artefactos resultantes de esta trayectoria socio-técnica; en la que también se ubica el desarrollo, construcción y puesta en marcha del, aún inconcluso, reactor CAREM 25 (Central Argentina de Elementos Modulares) y de los proyectos de IV y V centrales nucleares de potencia.⁷

Cabe destacar la diversidad de trayectorias socio-técnicas que se van desarrollando en el sector nuclear. En efecto, junto con las previamente mencionadas, se desarrollan las trayectorias socio-técnicas que hacen foco en las aplicaciones medicinales, biológicas, industriales y agroindustriales de la energía nuclear.

5.2 Origen, concomitancia, predominio y diacronismo de las trayectorias socio-técnicas del sector nuclear argentino

Si bien la noción de trayectoria socio-técnica implica diacronismo no necesariamente conlleva linealidad de los procesos. Las trayectorias socio-técnicas del sector nuclear experimentan ciertos cambios institucionales –estilísticos– y estratégicos a lo largo de la década 1990. CNEA puede mostrar logros relevantes (e.g. reinauguración del RA-3 con elementos combustibles de uranio levemente enriquecido, puesta en marcha de la planta de producción de agua pesada, ciclotrón de producción de radioisótopos, utilización de uranio levemente enriquecido en CNAI, construcción del RA-8) durante el período mencionado, no obstante ello las políticas energéticas del gobierno de la época impulsaron cambios institucionales, estratégicos y presupuestarios que implicaban el pasaje de una trayectoria socio-técnica basada en su carácter público, nacional y estratégico hacia un paradigma empresarial, privado y mercantilista del sector nuclear.

A mediados de los años 2000, específicamente con la reactivación del Plan Nuclear Argentino en 2006, se retoman las principales trayectorias socio-técnicas del sector nuclear junto con los principios inspiradores que le dieron origen. Esto es, desarrollo tecnológico endógeno en el sector nuclear civil, explotación del conocimiento vía transferencias tecnológicas, reconstrucción del entramado industrial en sectores relacionados y desarrollo científico e institucional del sector nuclear.

6. ELEMENTOS PARA LA DISCUSION

En esta instancia y transcurridos cerca de dos años de una nueva gestión gubernamental que promueve el cambio con respecto a las políticas públicas y al rol del Estado, se plantean tres interrogantes: ¿Se mantendrán las políticas públicas de estímulo al desarrollo de un modelo de triple hélice liderado por el Estado en el sector nuclear? ¿Se continuará con el proceso de desarrollo institucional, científico-tecnológico y de formación y recuperación de recursos humanos especializados en el área nuclear? ¿Podrá el sector nuclear actuar como palanca para el desarrollo industrial argentino?

⁷ Además de los artefactos, la trayectoria socio-técnica vinculada a centrales nucleares de potencia se sustenta y estuvo inspirada en el control completo del ciclo del combustible nuclear, logro alcanzado en los años 1980.

A pesar de las incertidumbres futuras y la vulnerabilidad latente de los sistemas riesgosos, la puesta en marcha de la tercera central nuclear argentina de potencia retoma la trayectoria socio-técnica del sector nuclear y plantea un conjunto de desafíos futuros de naturaleza científico-tecnológica, organizacional y de gestión de organizaciones de alta confiabilidad. Entre ellos cabe destacar el incremento de la participación de la industria nacional en la construcción y puesta en marcha de las futuras centrales nucleares, la recuperación y repotenciación del capital humano y el *know how* desarrollado por el sector nuclear durante años.

Por otra parte, las especificidades de la sociedad del riesgo vernácula plantean el desafío de conciliar la lógica del desarrollo sustentable con la lógica productiva de un sector de alto riesgo industrial, tradicionalmente asociado al hermetismo y la comunicación *intra-muros*. En ese sentido, las exigencias de los grupos de interés (i.e. actores externos) ponen en evidencia el desafío de la concertación o gobernanza como condición *sine qua non* para lograr continuidad y profundización del triángulo de Sabato.

Proyectos como la extensión de la vida útil de la central nuclear Embalse, los proyectos relativos a la cuarta y quinta centrales nucleares de potencia y el proyecto CAREM 25 constituyen, aún hoy, una oportunidad para consolidar la trayectoria socio-técnica nuclear argentina.

7. CONCLUSIONES

Liderar la gestión de I+D en el sector nuclear argentino es un rol asumido por las organizaciones del sector público. Más allá de ciertos actores cuya conformación societaria responde a sociedades anónimas, se trata de empresas públicas que actúan en función de las políticas y los planes desarrollados por la CNEA, eje central del sector nuclear argentino. A ésta se añade un núcleo duro de organizaciones (i.e. INVAP, CONUAR, FAE, ENSI, DIOXITEK) en torno al cual se desarrolla un patrón de I+D que responde al triángulo de Sabato, coherente con el modelo de triple hélice (Etzkowitz, 2008) liderado por el Estado, en el que resultan determinantes las interrelaciones entre los actores estatales, el entramado productivo y la infraestructura científico-tecnológica.

Las innumerables decisiones y artefactos nucleares no se tratan de proyectos espasmódicos o decisiones caprichosas, existe coherencia en los patrones decisorios detrás de las centrales nucleares y los reactores experimentales. En ese sentido, la noción de trayectoria socio-técnica se revela pertinente para comprender la lógica de funcionamiento e interacción de un sector industrial tan riesgoso como demandante de procesos de I+D tendientes al logro de la alta confiabilidad.

A lo largo de la historia del sector nuclear argentino se pueden identificar cuatro trayectorias socio-técnicas: 1) desarrollo científico-técnico e institucional; 2) desarrollo de reactores experimentales o de investigación; 3) aplicaciones medicinales, biológicas, industriales y agroindustriales y 4) desarrollo de centrales de potencia.

Lejos de la linealidad, las trayectorias socio-técnicas del sector nuclear argentino evolucionan a diferente ritmo, con avances y retrocesos. En ciertos períodos se mantienen en estado de latencia proyectos de reactores u otros artefactos que ponen en *stand by* las propias trayectorias socio-técnicas. No obstante ello, la dinámica socio-técnica (i.e. el conjunto de patrones de interacción de tecnologías, instituciones, políticas, racionalidades y formas de construcción ideológica de los actores) presenta ciertos rasgos de invariancia que dotan de perdurabilidad al conjunto de las trayectorias socio-técnicas.

Un estudio preliminar del nuevo paradigma político-gubernamental argentino inaugurado en diciembre de 2015 no permite establecer con claridad fuertes alternaciones en las trayectorias socio-técnicas. Al menos hasta ahora, no se ha producido un cambio radical en la política de promoción del sector nuclear. No obstante ello, el ritmo de la dinámica correspondiente a las trayectorias socio-técnicas experimenta una ralentización, especialmente en la trayectoria de reactores de potencia.

El plan estratégico de la CNEA se actualizó expandiendo el horizonte de planeamiento hasta el 2025 y si bien se implementaron medidas de austeridad presupuestaria sobre las obras de la tercera central nuclear y se encuentran en proceso de revisión los planes de construcción de la IV y V centrales de potencia, se continúan los proyectos de extensión de vida útil de CNE y el desarrollo del CAREM 25.

La robustez institucional del sector nuclear argentino, los recientes logros alcanzados y su historia de aportes al sistema científico-tecnológico y de innovación permiten avizorar un futuro pleno de desafíos socio-técnicos a pesar de las condiciones políticas imperantes y de los factores contextuales a nivel internacional, por cierto no tan propensos al desarrollo del sector nuclear en la era post-Fukushima.

8. REFERENCIAS

- Abernathy, W. y Clark, K. (1985). Innovation: mapping the winds of creative destruction". *Research Policy*, 14, 3-22.
- Aguiar, D.; Fressoli, M. y Thomas, H. (2007). Estilos socio-técnicos de producción de tecnologías conocimiento-intensivas: la conformación de una empresa de biotecnología en el campo de la salud humana en Argentina (1980-2006). *Cuestiones de Sociología*, 4, 213-242.
- Bierly, P. y Spender, J-C. (1995). Culture and high reliability organizations: the case of the nuclear submarine. *Journal of management*, 21(4), 639-656.
- Bierly, P; Gallagher, S. y Spender, J. (2008). Innovation and learning in high-reliability organizations: a case study of United states and russian nuclear attack submarines, 1970-2000. *IEEE Transactions in Engineering Management*, 35, 393-408.
- Bijker, W.; Hughes, Th. y Pinch, T.J. (1987). *The Social construction of technological systems*, Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Bourrier, M. (Dir.) (2001). *Organiser la fiabilité*, Paris: L'Harmattan.
- Bourrier, M. (1996). Organizing maintenance work at two american nuclear power plants. *Journal of contingencies and crisis management*, 4(2), 104-112.

- Bourrier, M. (1999). *Le nucléaire à l'épreuve de l'organisation*, Paris : Presses Universitaires de France.
- Cameron, K. (1985). Effectiveness as paradox: consensus and conflict in conceptions of organizational effectiveness. *Management Science*, 32(5), 539-553.
- Cantero, J. y Gonzalez, N. (2016). Gestión de objetivos múltiples en conflicto: el caso de las Organizaciones de Alta Confiabilidad (HROs). *Anales VII Jornadas Patagónicas de Investigación y II Jornadas de Extensión en Ciencias Económicas. Universidad de la Patagonia San Juan Bosco*.
- Cantero, J.; Gonzalez, N.; Díaz, D. y Fidmay, P. (2015). Innovación y capacidades organizacionales en el sector nuclear argentino: el caso de la central nucleoelectrica Atucha II. Ponencia presentada en el Congreso ALTEC, Porto Alegre (Brasil), 19 al 22 de Octubre. ISSN 2447-3340
- Cantero, J. y Seijo, G. (2012). Rasgos ontológicos de las Organizaciones de Alta Confiabilidad (HROs): precisiones epistemológicas para la comprensión de un objeto de estudio en debate. *Revista del Centro de Estudios de Sociología del Trabajo*, 4, 69-96.
- CNEA (2010). Plan estratégico 2010-2019.
- Creswell, J. (2007). *Qualitative inquiry and research design: choosing among five approaches*, Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- De Dicco, R.; Deluchi, F. y Ferrer, J. (2015). *Argentina puesta a crítico. Resultados y desafíos del Plan Nuclear Argentino*, Buenos Aires: Editorial Planeta.
- Delpeche, Th. (2012). *Deterrence in the 21st century. Lessons from the cold war for a new era of strategic piracy*, Santa Monica, CA.: RAND Corporation.
- Dodgson, A., Gann, M. y Salter, D. (2008). *The management of technological innovation*, Oxford: Oxford University Press.
- Dosi, G. (1982). Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change. *Research Policy*, 11, 147-62.
- Dosi, G (1988). The nature of the innovative process. En G. Dosi *et al* (Eds.) *Technical Change and Economic Theory*, pp. 221-238. Londres: Pinter.
- Drucker, P. (1986). *Innovation and entrepreneurship. Practice and principles*, New York: Harper & Row.
- Eisenhardt, K. (2007). Theory building from cases: opportunities and challenges. *Academy of Management Journal*, 50(1), 25-32.
- Eisenhardt, K. (1989). Building theories from case study research. *Academy of Management Review*, 14(4), 532-550.
- Eisenhardt K. y Martin, J. (2000). Dynamic capabilities: What are they? *Strategic Management Journal*, 21(10/11), 1105-1121.
- Etzkowitz, H. (2008). *The Triple Helix. University-Industry-Government. Innovation in Action*, New York: Routledge.
- Freeman, C. (1974). *The economics of industrial innovation*, London: Pinter.
- Glaser, B. y Strauss, A. (1967). *The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research*, New York: Aldine Publishing Company.
- Henderson, R. y Clark, K. (1990). Architectural innovation: the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms. *Administrative Science Quarterly*, 35, 9-30.
- Hurtado de Mendoza, D. (2014). *El sueño de la Argentina atómica. Política, tecnología y desarrollo nacional (1945-2006)*, Buenos Aires: Editorial Edhasa. .
- Itoigawa, N.; Wilpert, B. y Fahlbruch, B. (2005). *Emerging demands for the safety of nuclear power operations. Challenge and response*, Boca Raton: CRC Press.
- Katz, C. (1998). Determinismo tecnológico y determinismo histórico social. *Revista Redes* v. V(11), 37-52.
- Lapeña, J. (2015). *La energía en tiempos de Alfonsín: innovación, planificación estratégica, obras y autoabastecimiento*, Buenos Aires: Eudeba.
- La Porte, T. (1978). Nuclear waste: increasing scale and sociopolitical impacts. *Science*, New Series, 201(4350), 22-28.

- La Porte, T. y Consolini, P. (1991). Working in practice but not in theory: theoretical challenges of “High-reliability organizations”. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 1(1), 19-47.
- March, J. (1991). Exploration and exploitation in organizational learning. *Organization Science*, 2(1), 71-87.
- Mariscotti, M. (1984 [1987]). *El secreto atómico de Huemul. Crónica del origen de la energía atómica en la Argentina*, Buenos Aires: Editorial Sudamericana-Planeta.
- Marzorati, Z. (2011). *Plantear utopías: la conformación del campo científico tecnológico nuclear en Argentina (1950-1955)*, Buenos Aires: Fundación Centro de Integración, Comunicación, Cultura y Sociedad – CICCUS.
- Misumi, J.; Wilpert, B. y Miller, R. (1999) (Comp.). *Nuclear safety: a human factors perspective*, London: Taylor & Francis.
- Penrose, E. (1959). *The Theory of the Growth of the Firm*, London: Basil Blackwell.
- Perrow, Ch. (1984). *Normal Accidents: living with high-risk technologies*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Pinch T. y Bijker W. (1984). The social construction of facts and artifacts: or how the sociology of science and the sociology of technology might benefit each other. *Social Studies of Science*, 14 (3): 339-441.
- Pinch T. y Bijker W. (2008). La construcción social de hechos y artefactos: o acerca de cómo la sociología de la ciencia y la sociología de la tecnología pueden beneficiarse mutuamente. En H. Thomas y A. Buch (Coord.) *Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología*, pp. 19-62. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes.
- Porter, M. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*, New York: Free Press.
- Prahalad C. y Hamel G. (1990). The core competence of the corporation. *Harvard Business Review*, 68(3), 79-91.
- Reiman, T.; Oedewald, P. y Rollenhagen, C. (2005). Characteristics of organizational culture at the maintenance units of two Nordic nuclear power plants. *Reliability Engineering and System Safety*, 89, 331-345.
- Roberts, K. (1990). Some characteristics of one type of high reliability organization. *Organization Science*, 1(2), 160-175.
- Rochlin, G. (1993). Defining “high reliability” organisations in practice: a taxonomic prologue. En K. Roberts (Ed.), *New Challenges to Understanding Organisations*, pp. 11-32. Macmillan, New York.
- Rodríguez, M. (2014). Avatares de la energía nuclear en Argentina. Análisis y contextualización del Plan Nuclear de 1979. *H-Industri@*, 8(15), 30-55.
- Rollenhagen, C.; Westerlund, J. y Näswall, K. (2013). Professional subcultures in nuclear power plants. *Safety Science*, 59, 78-85.
- Rosenberg, N. (1976). *Perspectives on technology*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Sabato J. (2014) Estado, política y gestión de la tecnología: obras escogidas 1962-1983, compilado por Santiago Harriague y Domingo Quilici, Buenos Aires: UNSAM Edita.
- Sagan, S. (1993). *The limits of safety: organizations, accidents and nuclear weapons*, New Jersey: Princeton University Press.
- Sagan, S.D. (1994). Toward a Political Theory of Organizational Reliability, *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 2 (4): 228-240.
- Sagan, S. (2004). The problem of redundancy problem: why more nuclear security forces may produce less nuclear security. *Risk Analysis*, 24(4), 935-946.
- Schulman, P. (1993). The negotiated order of organizational reliability. *Administration & Society*, 25(3), 353-363.
- Schumpeter, J. (1912 [1934]). *The theory of economic development: an inquiry into profits, capital, credit, interest and the business cycle*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Seijo, G y Cantero, J. (2013) ¿Como hacer un satellite espacial a partir de un reactor nuclear? Elogio de las tecnologías de investigación en INVAP. *Revista Redes*, 18, 13-44.
- Shinn, T. y Joerges, B. (2002). The transverse science and technology culture: dynamics and roles of research-technology. *Social Science Information*, 41(2), 207-251.

- Shinn, T. (2005). New sources of radical innovation: research-technologies, transversality and distributive learning in a post-industrial order. *Social Science Information*, 44(4), 731-764.
- Smith, C.L. y Borgonovo, E. (2007). Decision making during nuclear power plant incidents. A new approach to the evaluation of precursor events. *Risk Analysis*, 27(4): 1027-1042.
- Teece, D. J. (1980). Economics of scope and the scope of the enterprise. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 1, 223-247.
- Teece, D.; Pisano, G. y Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509-533.
- Thomas, H. y Buch, A. (Coord.) (2008). Actos, actores y artefactos, Bernal: Universidad Nacional de Quilmes.
- Thomas, H., Fressoli M. y Aguiar D. (2006). Procesos de construcción de funcionamiento de Organismos Animales Genéticamente Modificados: El caso de la vaca transgénica clonada (Argentina 1996-2006). *Revista Convergencia*, 13(42), 153-180.
- Thomas, H., Lalouf A. y Fressoli, M. (2008). Introducción. En H. Thomas y A. Buch (Coord.) *Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología*, pp. 9-17. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes.
- Thomas, H., Versino, M. y Lalouf, A. (2008). La producción de tecnología nuclear en Argentina. El caso de la empresa Invap. *Desarrollo Económico*, 47(188), 543-575.
- Thomas, H.; Versino, M. y Lalouf, A. (2003). Dinámica socio-técnica y estilos de innovación en países subdesarrollados: operaciones de Resignificación de Tecnologías en una empresa nuclear y espacial argentina. En *ALTEC: X Seminario Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica: Conocimiento, innovación y competitividad: Los desafíos de la Globalización, México D. F., CD, ALTEC UAM y UNAM*.
- Tushman, M. y Anderson, Ph. (1986). Technological discontinuities and organizational environments. *Administrative Science Quarterly*, 31, 439-465.
- VonHippel, E. (1988). *The sources of innovation*, New York: Oxford University Press.
- Weick, K. (2011). Organizing for transient reliability: the production of dynamic non-events. *Journal of contingencies and crisis management*, 19(1), 21-27.
- Weick, K. (1987). Organizational culture as a source of high reliability. *California Management Review*, 24(2), 112-127.
- Weick, K. y Roberts, K. (1993). Collective mind in organizations: heedful interrelating on flight decks. *Administrative Science Quarterly*, 38, 357-381.
- Weick, K. y Sutcliffe, K. (2007). *Managing the unexpected: resilient performance in an age of uncertainty*. 2nd Ed., San Francisco, John Wiley & Sons, Inc.
- Weick, K., Sutcliffe, K. y Obstfeld, D. (1999). Organizing for high reliability: processes of collective mindfulness. *Research in Organizational Behavior*, 21, 81-123.
- Wernerfelt, B. (1984). A resource-based view of the firm. *Strategic Management Journal*, 5(2), 171-180.
- Williamson, O. E. (1975). *Markets and Hierarchies*, New York: Free Press.
- Wilpert, B. y Itoigawa, N. (2001). *Safety culture in nuclear power operations*, London: Taylor & Francis.
- Yin, R. (2003). Case study research. Design and methods. 3rd Ed., Thousand Oaks, CA: Sage Publications.