

Modelos de políticas orientadas por misiones: el caso de la industria nuclear y los Small Modular Reactors*

Diego Martín Cúneo**

Universidad Nacional de San Martín (Argentina)

Ignacio Oscar Cretini***

Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (Argentina)

<https://doi.org/10.15446/ede.v35n66.116147>

Resumen

En las últimas décadas, los desafíos del desarrollo sostenible y la urgencia por acelerar la transición hacia matrices energéticas más limpias han revalorizado el concepto de políticas orientadas por misiones (POM). Asimismo, en este contexto de lucha contra el cambio climático, la energía nuclear ha recuperado legitimidad gracias al surgimiento de una nueva generación de pequeños reactores modulares (SMR). Este artículo propone una caracterización de las principales estrategias nacionales adoptadas en Estados Unidos, Rusia, China y Reino Unido para el desarrollo de este tipo de reactores y analiza desde una perspectiva comparada cómo se ajustan al enfoque de las POM. Entre los principales resultados se derivan dos modelos generales de política tecnológica/industrial de promoción de la industria nuclear: el modelo autonomista-centralizado y el modelo asociativo-descentralizado. Los esquemas de POM se diferencian en el rol del Estado en la planificación tecnológica-energética, la concentración y centralización estatal o privada de capacidades tecnológicas y toma de decisiones, y los arreglos institucionales de coordinación y organización de actores y proyectos, entre otros. Finalmente, se discuten las implicancias para países semiperiféricos con sectores nucleares incipientes, como es el caso de Argentina, destacando la importancia de plantear modelos híbridos ajustados a las características del entorno nacional.

Palabras clave: políticas orientadas por misiones; industria nuclear; pequeños reactores modulares; política tecnológica, transición energética, modelos de innovación.

JEL: L52; 021; 025; 032; Q48.

* Artículo recibido: 8 de agosto de 2024 / Aceptado: 27 de marzo de 2025 / Modificado: 21 de abril de 2025. El artículo procede de los resultados de investigaciones realizadas en el marco del “Programa de Estudios sobre la Transición Energética. Desafíos para la Innovación, el Desarrollo y el Financiamiento” (ProTE) de la Universidad Nacional de San Martín (Buenos Aires, Argentina) y del Proyecto de Investigación Orientada (PIO) “Financiamiento multilateral de iniciativas de transición energética. Volumen, normativa y condicionalidades en clave comparada”, financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y el Banco Central de la República Argentina (BCRA).

** Becario postdoctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Investigador del Centros de Estudios Económicos del Desarrollo de la Escuela IDAES de la Universidad Nacional de San Martín (Buenos Aires, Argentina). Correo electrónico: dcuneo@unsam.edu.ar  <https://orcid.org/0000-0002-9303-6875>.

*** Docente investigador de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (Chubut, Argentina), Grupo de Investigación sobre Territorio, Economía y Políticas Públicas (GITEP). Correo electrónico: ignaciocretini@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-8754-4136>

Cómo citar/ How to cite this item:

Cúneo, D. M., & Cretini, I. O. (2025). Modelos de políticas orientadas por misiones: el caso de la industria nuclear y los Small Modular Reactors. *Ensayos de Economía*, 35(66), 150-172. <https://doi.org/10.15446/ede.v35n66.116147>

Mission-Oriented Policy Models: The Case of the Nuclear Industry and Small Modular Reactors

Abstract

In recent decades, the challenges of sustainable development and the urgency of accelerating the transition to cleaner energy matrices have renewed interest in the concept of Mission-Oriented Policies (MOP). Within this context, nuclear energy has regained legitimacy due to the emergence of a new generation of Small Modular Reactors (SMRs). This paper proposes a characterization of the main national strategies currently underway for the development of these reactors and provides a comparative analysis of how they align with the MOP approach. The analysis identifies two general models of technological and industrial policy related to the promotion of the nuclear industry: the centralized-autonomous model and the decentralized-associative model. The POM schemes differ in the role of the state in technological and energy planning, the degree of concentration and centralization of technological capacities and decision-making, and the coordination and organization of actors and innovation projects, among other aspects. Finally, the implications for semi-peripheral countries with emerging nuclear sectors, such as Argentina, are discussed, highlighting the importance of proposing hybrid models tailored to the characteristics of the national environment.

Keywords: mission-oriented policies; nuclear industry; small modular reactors; public policy; energy transition; innovation models.

Introducción

Los desafíos que supone el cambio climático y la búsqueda por acelerar los procesos globales de transición hacia matrices energéticas y productivas más limpias revalorizaron en las últimas décadas el concepto de políticas orientadas por misiones (POM). Si bien esta noción data del periodo de posguerra para referirse a la planificación estatal de grandes proyectos tecnológicos, comúnmente dirigidos a solucionar problemas específicos (*misiones*) de carácter militar o geopolítico (Ergas, 1986), la idea de las POM fue reconceptualizada recientemente para describir políticas multidimensionales y multisectoriales (Mazzucato, 2018). La novedad de este enfoque se encuentra en la propuesta de generar abordajes de un mayor carácter sistémico, con base en nuevos arreglos institucionales y estructuras de gobernanza participativa que atraviesan los gobiernos, mercados y sociedad civil, así como un mayor direccionamiento de la inversión en I+D+i y la creación de mercados e infraestructura –tanto física como legislativa– para impulsar transformaciones de largo plazo (Gruber & Johnson 2019; Mazzucato, 2023). De este modo, un número creciente de países y regiones, fundamentalmente en Europa y Estados Unidos, adoptaron este enfoque con el objetivo de afrontar grandes desafíos sociales, entre los cuales se destaca el cambio climático (Larrue, 2021).

En este contexto global, luego de décadas de estancamiento y declive en diversos países del mundo occidental, la energía nuclear resurge como un potencial vector para la transición energética por una variedad de motivos (Nuclear Energy Association –NEA–, 2023; Schneider & Froggatt, 2023). En primer lugar, por ser una fuente de energía de base que no emite gases de efecto invernadero (GEI), lo cual es crecientemente percibido como una manera limpia de complementar la intermitencia de fuentes de energía renovables, como la eólica y la solar (Mignacca & Locatelli, 2020, NEA 2023). En segundo lugar, porque los diseños de reactores de

última generación, en particular los Small Modular Reactor (SMR), permitirían solucionar los problemas económicos, financieros y de licenciamiento social que dificultaron la construcción de nuevas centrales nucleares en los últimos cuarenta años (Boarin et al., 2021; Nøland et al., 2025). Por último, existe un interés particular por parte de países industrializados de occidente, en especial Estados Unidos, por recuperar capacidades productivas y tecnológicas en el sector energético frente a la creciente amenaza comercial e influencia geopolítica de países como Rusia y China, incluida la industria nuclear (Nakano, 2020; Szulecki & Overland, 2023).

A partir de estas premisas, en este artículo se propone caracterizar las estrategias de política adoptadas en diferentes países para promocionar el desarrollo de reactores nucleares SMR y analizar la forma en que se vinculan con el enfoque de POM. Para ello, fueron seleccionados cuatro casos paradigmáticos: Estados Unidos, Reino Unido, Rusia y China. La hipótesis planteada en esta investigación sostiene que, si bien estos países persiguen estrategias diversas, es posible inducir dos tipos o modelos de políticas tecnológicas o industriales. El primero, relacionado con la idea de las nuevas POM, se basa en políticas sistémicas y multifocales organizadas a través de una agenda tecnológica de largo plazo en la que el Estado apoya iniciativas tecnológicas privadas o público-privadas. El segundo se vincula a las antiguas POM de posguerra, en las que perduran esquemas organizacionales verticales y centralizados en organismos públicos, retomando la idea de grandes programas o proyectos tecnológicos estatales.

El artículo se organiza de la siguiente manera. En la primera sección se desarrolla el marco conceptual de POM. La segunda caracteriza el estado actual de la industria nuclear y, en particular, la tecnología SMR. En la tercera sección se presenta la metodología y se examinan las políticas nacionales vinculadas al desarrollo de reactores SMR para diferentes países. En la cuarta, a partir de un análisis comparado, se discute la conceptualización de diferentes modelos de POM para la promoción de reactores SMR. Por último, en la quinta sección se presentan las conclusiones y se analiza la implementación de estos modelos en el diseño de estrategias políticas de desarrollo nuclear para países semiperiféricos como Argentina.

Las políticas orientadas por misiones

Entre la Segunda Guerra Mundial y finales de la década de los años de 1980 las políticas de innovación se basaron en el concepto de “modelos lineales,” enfocados en impulsar desde el lado de la oferta la producción de aplicaciones tecnológicas. A partir de este enfoque, surgieron las Políticas Orientadas por Misiones, que durante el periodo mencionado estuvieron fundamentalmente basadas en gigantescos proyectos estatales para la producción de innovaciones radicales en sectores complejos como el aeroespacial, militar o nuclear, que eran necesarios para la consecución de objetivos de interés nacional (Ergas, 1986). Estas políticas se caracterizaron por un entramado institucional centralizado en la toma de decisiones, donde las metas, dirección y la mayor parte de la ejecución de las diferentes fases de la producción tecnológica eran definidas por una agencia pública específica (como lo fue la NASA para el caso del

programa Apolo en Estados Unidos). Los resultados tecnológicos alcanzados en el marco de estos proyectos no solo significaron importantes avances en materia de desarrollos e innovaciones estratégicas, sino también en aplicaciones civiles que marcaron la trayectoria evolutiva de la industria del último cuarto del siglo pasado (Mazzucato, 2018; Ruttan, 2006).

No obstante, el advenimiento de políticas neoliberales hacia finales del siglo XX despertó fuertes cuestionamientos respecto al enfoque de *misiones*, dado que estas demandaban elevados esfuerzos fiscales que no reportaban rendimientos inmediatos y generaban fuertes distorsiones de mercado. Así, el enfoque de POM perdería centralidad frente al avance de políticas orientadas a la solución de fallas de mercado (Mazzucato, 2018). No sería hasta entrados los años del 2000¹ que la noción de *misión* es recuperada en la literatura para plantear un nuevo tipo de política científica, tecnológica e industrial, la cual lograra abordar problemáticas productivas complejas y grandes desafíos sociales como el cambio climático, la salud, las desigualdades territoriales, la pérdida de competitividad industrial, entre otros (Wanzenböck et al., 2020).

Sin embargo, los autores de este enfoque argumentan que abordar problemas de gran complejidad y alcance social exige transformar los modelos organizativos e institucionales de las POM del siglo XX (S Foray et al., 2012; Mazzucato, 2018; Soete & Arundel, 1995). En esta línea, se plantea la necesidad de abandonar un esquema vertical, centralizado y *top-down* –de arriba hacia abajo– en favor de una mayor descentralización y delegación en la ejecución y toma de decisiones, involucrando a diversos actores públicos y privados fundamentales para los objetivos tecnológicos. Este giro fomenta estructuras de gobernanza más participativas, potenciando el impacto transformativo al superar las limitaciones de una visión estatal única (Mazzucato, 2021; Rabadjieva & Tersrip, 2020). La integración de perspectivas diversas amplía las posibilidades de innovación, permitiendo desarrollar un conjunto de soluciones tecnológicas para desafíos específicos (Mazzucato, 2021).

De este modo, el Estado transita de un rol planificador y ejecutor de proyectos de frontera hacia la definición de una agenda tecnológica orientada a la solución de misiones de largo plazo, fomentando una diversidad de iniciativas *bottom-up* –de abajo hacia arriba–. Así, estas misiones toman una dimensión más amplia y menos definida, en tanto se prioriza el objetivo de promover el desarrollo de tecnologías por fuera del control directo de las administraciones centrales. Para ello, las POM deben integrar instrumentos de diversa naturaleza –fiscal, regulatoria, industrial, comercial, etcétera– que impulsen la innovación, incluso por fuera de los sectores o áreas industriales específicamente estimuladas (Foray et al., 2012; Mazzucato, 2018).

Por otro lado, un aspecto central de esta segunda generación de POM es la concepción del Estado Emprendedor (Mazzucato, 2011). En este marco, el Estado asume un rol protagónico como financiador de alto riesgo –*venture capital público*–, invirtiendo en las etapas iniciales de

1 El estallido de la crisis financiera internacional en 2008 es un punto de inflexión para la reemergencia de las políticas tecnológicas e industriales en general (Aiginger y Rodrik, 2020).

la innovación —caracterizadas por elevada incertidumbre— que el sector privado tiende a evitar. Así, resulta clave su apoyo para el desarrollo y adopción temprana de nuevas tecnologías, facilitando la creación de mercados y la difusión tecnológica, por ejemplo, mediante compras públicas. La tabla 1 presenta comparativamente los aspectos más distintivos de ambas generaciones de POM.

Tabla 1. Comparación de POM de primera y segunda generación

	POM de 1.ª generación	POM de 2.ª generación
Gobernanza de la POM y rol del Estado	El Estado centraliza a través de una agencia o empresa estatal la definición de misiones, la planificación y ejecución de proyectos de I+D y organiza la vinculación entre los actores participantes. A su vez, es el principal o único adoptante de las innovaciones producidas. Participación limitada de firmas privadas en momentos claves de la innovación.	El Estado define una agenda de investigación de largo plazo y toma el rol de un capital de alto riesgo. Define políticas complementarias para una mayor adopción tecnológica. La dirección de los desarrollos tecnológicos es influenciada por diferentes tipos de actores, públicos y privados.
Organización tecnológica	Proyectos tecnológicos top-down.	Agenda tecnológica top-down e iniciativas bottom-up público-privado.
Estructura instrumental	Política vertical. Grandes proyectos tecnológicos estatales. Poca densidad de políticas complementarias.	Conjunto de políticas sistémicas complementarias y multisectoriales dirigidas a fomentar transformaciones tecnológicas e incentivar procesos de innovación desde diversos ángulos.

Fuente: elaboración propia a partir de Soete y Arundel (1995) y Mazzucato (2018).

El estado actual de la industria nuclear

Desde los años de 1950, la implementación de tecnología nuclear para la generación de energía experimentó un crecimiento exponencial en países industrializados —principalmente, Alemania, Francia, Estados Unidos, Rusia y, posteriormente, Canadá, Japón y China—, como en naciones semiperiféricas, notablemente Argentina e India. Este periodo de expansión, sin embargo, se vio abruptamente interrumpido por una serie de incidentes: Three Mile Island, Estados Unidos en 1979 y, de manera más determinante, Chernóbil en 1986 —entonces parte de la Unión Soviética—. Dicho proceso de declive se consolidó posteriormente con el desastre de Fukushima, Japón, en 2011. Estos eventos constituyeron un punto de inflexión que detuvo o desaceleró la construcción de nuevas plantas nucleares, precipitando una disminución progresiva de la contribución nuclear en el suministro energético mundial (Schneider & Froggatt, 2023).

Asimismo, este declive se vio acelerado por mayores exigencias en materia de seguridad que debieron ser incorporadas en nuevos diseños, lo que se trasladó a incrementos sustantivos en la complejidad y costo económico de la construcción de centrales nucleares (Cooper, 2012; MacKerron, 1992). Así, los nuevos proyectos comenzaron a requerir gigantescas inversiones

iniciales que alcanzaron la decena de miles de millones de dólares y sucumbieron en plazos de construcción cada vez más prolongados, sumado a un historial de suspensiones y retrasos sistemáticos que encarecieron, a su vez, los costos de financiación para cubrir primas de alto riesgo (Boarin et al., 2021). Por ejemplo, en Estados Unidos, el costo de construcción teórico –*overnight*– promedio de los reactores instalados entre 1968 y 1979 se ubicó entre los USD 4.100/kW y USD 8.200/kW –a dólares de 2025– (Lovering, et al., 2016). Por su parte, los costos de construcción teórico de los reactores Vogtle 3 y 4, en funcionamiento desde 2023 y 2024, se estiman en USD 10.142/kW² (Shirvan, 2022). Para poner este incremento en perspectiva, desde 2010 a 2022, el precio de la energía solar se redujo un 89%, mientras que la energía eólica *onshore* se redujo un 69% (IRENA, 2023).

Asimismo, esta situación fue agravada por el abandono de políticas nucleares desde finales de los años de 1980, lo que produjo la paulatina desarticulación de los sistemas de producción e innovación de las empresas nucleares de países como Estados Unidos, Canadá, Alemania o Francia, causando una pérdida sistemática de competencias y capacidades para la gestión y construcción de proyectos nucleares, como de las cadenas de suministros asociadas (DOE, 2020; Laaksonen; 2010; Thomas & Ramana, 2022). Como resultado, las nuevas construcciones nucleares en Estados Unidos y Europa recurrieron a continuos retrasos y suspensiones, llevando a la quiebra a sus dos principales empresas (Westinghouse y AREVA/Framatome), que debieron ser recuperadas por acción estatal (Schneider & Froggatt, 2023).

No obstante, a contramano de las tendencias previamente descritas, durante los años de 1990 y 2000 se observa un impulso en la planificación nuclear en países como Rusia, China, Corea del Sur e India, motivado por diversas razones. En primer lugar, una mayor flexibilidad en el licenciamiento social ya sea por la aceptación pública o menor impacto de movimientos sociales en la toma de decisiones (Deriglazova & Rozhanovskaya, 2016; Jand & Park, 2020; Sovacool & Valentine, 2010). En segundo lugar, una planeación energética altamente centralizada, junto con una industria nuclear dominada por actores estatales, lo cual permitió mitigar los elevados costos iniciales asociados a esta tecnología (Kour & Dar, 2013; Sovacool & Valentine, 2010; Thompson, 2018). Finalmente, para países como India, China y Corea del Sur, el desarrollo nuclear respondió a la necesidad de reforzar la seguridad energética nacional ante el rápido crecimiento económico y la dependencia de combustibles fósiles importados (Kim et al., 2011; Kour y Dar, 2013; Xu, 2008). Así, el despliegue nuclear diversificó las matrices energéticas nacionales, incrementando su resiliencia frente a la volatilidad de precios y la geopolítica de recursos como el gas, el carbón y el petróleo.

De este modo, la proliferación de ambiciosos planes energéticos en Oriente, muchas veces acompañados de la transferencia de conocimiento de empresas occidentales, provocó la configuración y crecimiento de sistemas de producción e innovación nucleares en esa parte del

2 Tomando en cuenta los costos financieros y sobrecostos que demandaron los retrasos sistemáticos de los proyectos Vogtle 3 y 4, el costo total efectivo fue de USD 17.307/kW (Southern Company, 2024).

mundo. El impacto de estas políticas fue contundente: alrededor de un 80% de las centrales construidas –y proyectadas) entre el año 2010 y 2022 fueron localizadas en el continente asiático y las empresas estatales Rosatom –Rusia– y KEPCO –Corea del Sur–³ (Schneider & Froggatt, 2023).

En definitiva, estas tendencias globales muestran una transformación del mapeo geográfico de las actividades nucleares, con un desplazamiento del epicentro de la industria desde occidente hacia oriente. De allí que el reciente inicio de una nueva carrera tecnológica nuclear pueda ser explicado no sólo por el avance de una agenda tecnológica orientada a la lucha contra el cambio climático, sino también por la necesidad geopolítica y comercial de revertir el estancamiento tecnológico de las firmas occidentales y competir por el liderazgo con el que actualmente cuentan empresas estatales de oriente.

Los Small Modular Reactors (SMR): el renaissance nuclear

En las próximas tres décadas se espera un crecimiento sostenido de la capacidad nuclear instalada que, como fuente de energía de base que no emite GEI, será central para la transición global hacia matrices energéticas limpias (Nuclear Energy Agency -NEA-, 2023). No obstante, se reconoce que recuperar la incidencia de este tipo de energía en las matrices globales requerirá soluciones tecnológicas que salden los problemas económicos y de licenciamiento social mencionados en la sección anterior (Schneider & Froggatt, 2021). De allí que, a partir de la década de los 2000 se haya acentuado el desarrollo de diseños alternativos, siendo el concepto de *Small Modular Reactor* (SMR) uno de los más populares entre ellos.

Los reactores SMR se caracterizan por reducir la potencia de sus núcleos –de aprox. 1.200 MWe a no más de 300 MWe–, lo cual introduce características y diseños simplificados que permitan abaratar sus costos y tiempos de construcción a partir de la estandarización de sistemas y componentes y su prefabricación modular en instalaciones especializadas (Boarin et al., 2021; NEA, 2023). Por el otro lado, incorporan mecanismos de seguridad pasivos –que no dependen de la intervención humana y sistemas energéticos externos–, que los vuelven inherentemente más seguros y fáciles de operar (NEA, 2023). En la tabla 2 se comparan las especificaciones entre reactores SMR y convencionales.

³ India y China también son los países con más construcción del mundo, pero, hasta el momento, sus desarrollos se encuentran mayormente enfocados al abastecimiento energético local. Pese a ello, como se verá más adelante, China tiene fuertes incentivos para exportar su reactor *flagship*, el Hualong One.

Tabla 2. Comparación entre centrales SMR y reactores convencionales

	SMR	Reactor Convencional
Potencia	Hasta 300 MWe por reactor. Escalable por múltiples módulos.	Entre 700 y 1600 MWe por reactor.
Costo de Inversión	Entre USD 1.000 y 3.000 millones estimados.	Entre USD 4.000 y 10.000 millones por reactor.
Tiempo de construcción	3-5 años	7-10 años
Capacidad instalada (2025)	Número reducido de SMR operativos, mayormente de prueba de concepto.	Más de 400 reactores operativos con aproximadamente 440 GWe de potencia total instalada.
Seguridad	Diseños simplificados con sistemas pasivos, menores riesgos por potencia.	Sistemas activos complejos con múltiples capas de seguridad redundante.
Construcción	Modular, instalaciones especializadas, fabricación en serie.	On-Site.
Riesgo de Financiación	Bajo-Moderado	Alto
Flexibilidad	Posibilidad de construcción en zonas remotas y sistemas off-grid híbridos con renovables.	Diseñados para grandes redes eléctricas centralizadas.

Fuente: elaboración propia a partir de Mignacca y Locatelli (2020) y Schneider y Froggatt (2021).

Asimismo, su modularidad y escalabilidad también deviene de la posibilidad de integrar paulatinamente múltiples módulos a una misma central. Esto permite ampliar secuencialmente su potencia a través de financiamiento escalonado, apalancando nuevas inversiones en los réditos de los núcleos ya instalados. Esta modularidad, a su vez, permite mayor flexibilidad técnica y económica, en tanto es posible regular la potencia total de la central, generando mayor flexibilidad a cambios de la demanda. Como consecuencia, los SMR pueden ser idóneos para complementar matrices energéticas basadas en fuentes renovables intermitentes, al ofrecer energía de base limpia, escalable y con una huella geográfica sustancialmente menor. También existen posibles aplicaciones como fuente de energía no emisora de GEI para desalinizar agua o producir vectores limpios de energía, como el hidrógeno, entre otros (Mignacca & Locatelli, 2020). En conjunto, la mayor seguridad que ofrecen los SMR, así como su flexibilidad, funcionalidad, menores costos económicos y mayor competitividad, convierten a esta tecnología como un potencial vector para los procesos globales de transición energética (NEA, 2023).

De cumplirse estas ventajas financieras y económicas, se espera de los SMR un gran potencial comercial, tanto para países con una amplia trayectoria nuclear como para nuevos adoptantes con menores capacidades de financiamiento (Boarin et al., 2021; Mignacca & Locatelli, 2020). Es por estas razones que un puñado de países se encuentran activamente dirigiendo recursos hacia el desarrollo nacional de estos reactores. Entre ellos, por un lado, se destacan los casos de Estados Unidos, Reino Unido y Canadá, como países de la OECD más involucrados en estos desarrollos (aunque el último orienta la mayor parte de sus políticas a la adopción temprana de

tecnología foránea) (Thomas & Ramana, 2022). Por el otro, entre los países orientales resaltan los casos de China y Rusia por su variedad de diseños y grado de avance (Lee, 2024). Por último, Argentina es el único país semiperiférico que cuenta con un modelo SMR (el CAREM), con un prototipo de validación tecnológica en construcción.

Las políticas nacionales para el desarrollo de reactores SMR

Metodología

A continuación, se analizan las estrategias de Estados Unidos y Reino Unido — como países representativos de la OCDE — y China y Rusia — como los líderes nucleares vigentes con dominancia industrial- para el desarrollo de SMR. El trabajo parte de una metodología de estudio de caso tradicional (Yin, 2009), donde su selección se realizó a partir del criterio de los investigadores con el objetivo de poder comparar *entre* e *intra* dos grupos diferenciados de países. A su vez, este abordaje metodológico se inspira en los principios de análisis comparativos de Bartlett y Vavrus (2017), examinando cada caso de manera integral y holística para extraer a partir de su comparación implicancias teóricas que contribuyen al enriquecimiento del marco conceptual. En la tabla 3 se presentan brevemente las dimensiones de análisis que se buscan analizar y comparar para los casos seleccionados.

Tabla 3. Dimensiones de análisis del estudio comparado

Estructura de política pública	¿Cómo se ordenan los diferentes instrumentos que forman parte de los sistemas de políticas dirigidos al desarrollo nuclear nacional?
Rol del Estado en el desarrollo de la industria nuclear	¿Cuál es el rol que tiene el Estado no sólo en el diseño e implementación de la política pública, sino también en la ejecución y desarrollo de proyectos?
Organización tecnológica	¿Top-down o bottom-up?
Sistemas de producción e innovación	¿Qué características tiene el sistema de producción e innovación nuclear en cada país?

Fuente: elaboración propia.

Como fuentes de información para analizar estas categorías se utilizaron documentos oficiales publicados por los organismos encargados de la implementación de estos sistemas de política pública; informes y otros tipos de publicaciones realizadas por organismos internacionales vinculados al sector energético y, específicamente, nuclear; artículos académicos sobre la temática; entradas de portales especializados; entre otros.

Rusia

La Unión Soviética fue uno de los países pioneros en implementar el uso de tecnología nuclear para la generación de energía. Desde la década de los cincuenta, la industria creció exponencialmente en el país hasta que el accidente de Chernobyl y la crisis económica y política de los ochenta provocaron un cese de los proyectos en construcción (Thompson, 2018). Recién a finales de los noventa estas actividades se reanudarán con la finalización del reactor Rostov 1 y la exportación de las primeras unidades a China e India.

Con la consolidación del nuevo gobierno ruso, el plan *Russian Energy and Security up to 2020*, sancionado en 2006, propuso como meta que la energía nuclear alcance para el año 2020 el 23% de la generación eléctrica total del país (World Nuclear Association -WNA-, 2024a). Para ello, el presidente Putín resuelve en 2007 reestructurar la Agencia Federal de Energía Atómica (ex- Ministerio de Energía Atómica) y formar la Corporación Estatal de Energía Atómica Rosatom (Rosatom), manteniendo control directo sobre su gerencia⁴ (Minin & Vlcek, 2017; Thompson, 2018). La centralidad del sector nuclear en la planificación estatal se vería acentuada con el presidente Dmitry Medvedev (2008-2012) quien consideraría a esta industria como uno de los cinco vectores estratégicos de modernización productiva contemplados en su plan económico (Thompson, 2018).

De este modo, a través de Rosatom se planifica un sistema estatal de producción e innovación nuclear, el cual integra a la mayoría de los actores locales del sector –fundamentalmente subsidiarias–. Por ejemplo, de Rosatom se desprenden organismos regulatorios y un conjunto de institutos de I+D del área, pasando por empresas constructoras y operadoras de centrales nucleares (IAEA, 2014). Esta se convirtió en la empresa más grande del sector a nivel global, empleando más de 250.000 trabajadores y explicando cerca de la mitad de los reactores de energía construidos mundialmente entre 2009 y 2018 (Nakano, 2020). A su vez, su subsidiaria TVEL controla cerca del 46% del uranio enriquecido del mundo, lo que le permite ser el mayor proveedor global y tener presencia en la mayoría de las cadenas de valor nucleares (Schneider & Froggatt, 2023, Szulecki y Overland, 2023).

A su vez, es posible caracterizar a Rosatom como un “monopolio intelectual” (Rikap & Lundvall, 2020), en tanto muestra la forma de una gran corporación que, a través de la producción y apropiación sistemática de conocimiento y capacidades, produce y acumula monópolicamente activos intangibles que les ofrecen una posición de liderazgo a nivel global. Entre estos intangibles se encuentran la capacidad de desarrollar múltiples proyectos de I+D, gestionar de manera paralela el desarrollo y construcción de diferentes tipos de reactores nucleares, desde generación III+, motores de propulsión, reactores rápidos de generación IV, SMR, entre otros; como también de producir conocimientos para comercializar sus productos a nivel global y contar con ingenieros y técnicos experimentados que presentan el historial de finalizar obras nucleares en los tiempos y presupuestos estipulados (Szulecki & Overland, 2023).

4 Pese al control directo que posee el presidente de la nación sobre la gerencia de Rosatom, Minin y Vicek (2017) argumenta que los objetivos empresariales de esta última pueden conducir a conflictos de interés con objetivos estatales.

En cuanto al desarrollo de reactores SMR en Rusia es posible rastrear dos líneas tecnológicas principales, aunque también existen numerosos proyectos en menor grado de avance (Lee, 2024; Nøland et al., 2025). Por un lado, se encuentran los PWR que evolucionaron de reactores de propulsión marítima, los cuales corresponden a proyectos militares de posguerras orientados a la construcción de barcos rompehielos impulsados por motores nucleares. Estos marcaron el comienzo de una trayectoria tecnológica que derivó en el diseño de pequeños reactores con características adecuadas no sólo para motorizar barcos, sino también para generar energía eléctrica a partir de su conexión con tomas terrestres (Dmitriev et al., 2020). De esta trayectoria emergió, por ejemplo, el reactor KLT-40S, el cual forma parte de la Central Akademik Lomonosov, la primera central nuclear flotante (FNPP) del mundo (Belyaev et al., 2021). A su vez, su modelo evolutivo, el RITM-200, se diseñó como parte del Proyecto “22220 icebreaker” para propulsar una nueva generación de rompehielos (WNA, 2024a). Este proyecto fue financiado estatalmente y participaron diversas empresas estatales, como Baltic Shipyard y Rosatom y sus respectivas subsidiarias. Una versión terrestre de este reactor, el RITM-200N, fue encargado por el gobierno local de Sakha (Yakutia), siendo la primera central SMR rusa en construcción (Petrunin et al., 2023).

Por otro lado, Rosatom planifica a largo plazo transicionar definitivamente a reactores rápidos (*fast-reactors*) de generación IV basados en sistemas de refrigeración de plomo (*lead-cooled reactors*) para el año 2050 y así estandarizar tecnologías que optimicen el uso de combustible y la producción de desechos nucleares (WNA, 2024a). Para alcanzar el dominio comercial de este tipo de tecnología se encuentra en desarrollo el proyecto *Proryv* ('Breakthrough'), que incluye entre sus metas el diseño de reactores SMR avanzados enfriados por plomo, entre ellos el BREST-300 y el SVBR-100. Este proyecto es financiado por el Estado nacional por un monto de USD3.05 billones para el periodo 2019-2025 (WNA, 2024a). Luego de ese año Rosatom planea financiar el desarrollo de reactores rápidos a partir de recursos propios.

China

La evolución de la industria nuclear en China presenta patrones similares al caso ruso. Si bien los primeros reactores fueron conectados a la matriz energética en los años noventa, el desarrollo de la industria nuclear nacional ganó mayor protagonismo a partir de la crisis energética del año 2002, causada por la excesiva dependencia del sistema productivo chino del carbón (Xu, 2008). De este modo, la estrategia de expansión del sector nuclear se basó en misiones tales como: primero, lograr una descarbonización de la matriz energética frente al empeoramiento de las condiciones ambientales; segundo, disminuir la dependencia externa de recursos fósiles, cuya volatilidad de acceso y precios amenaza continuamente la seguridad energética del país; tercero, alcanzar un estatus de liderazgo global dentro de una industria tecnológicamente compleja como la nuclear (Xu, 2008). En este marco, el onceavo plan quinquenal (2006) sancionado por la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma (NDRC), entidad gubernamental encargada de la planificación macroeconómica del país y delinear los planes quinquenales, implementó el objetivo de instalar 40 GWe de capacidad nuclear para 2020 (un 2% del total planificado para ese año de

2.000 Gwe), monto que fue variando a través de la coyuntura de diferentes etapas y subsiguientes planes quinquenales (Sovacool & Valentine, 2010). Para 2023, China contaba con una capacidad instalada de 55,3 Gwe, un 4,9% de la generación eléctrica del país (IAEA, 2025).

El sistema nuclear chino presenta menores grados de cohesión en comparación con el sistema ruso; sin embargo, continúa manteniendo una organización fundamentalmente jerárquica bajo empresas y organismos estatales. En este sentido, la China National Nuclear Corporation (CNNC)⁵ representa la contraparte china de Rosatom, al centralizar la mayor parte del sistema nuclear del país, que incluye a más de cien empresas especializadas en diferentes eslabones de la cadena de valor (Xu, 2008; WNA, 2020). También existen otras empresas que cumplen roles similares – aunque a una escala menor –, como es el caso de China General Nuclear Power Group (CGN) (WNA, 2020). A su vez estas empresas son controladas por la Comisión Estatal para la Supervisión y Administración de los Activos del Estado (SASAC, por su sigla en inglés), organismo estatal que gestiona más de 120 de las principales empresas estatales pertenecientes a diversos sectores productivos (Xu, 2008; WNA, 2020). Este organismo, en conjunto con la NDRC, son los encargados de aprobar y planificar los proyectos nucleares que serán desarrollados (WNA, 2020).

Al igual que Rosatom, también es posible caracterizar a la CNNC como un monopolio intelectual nuclear, que dispone de activos intangibles como un historial que demuestra su capacidad para gestionar proyectos nucleares en tiempo y forma, apegándose a presupuestos que hacen competitiva a la energía nuclear frente a otro tipo de fuentes (WNA, 2024b). En este marco, la CNNC cuenta con una variedad de modelos de reactores de diferentes características, destacándose su modelo Hualong One, el reactor con más proyectos de construcción en vigencia hasta el momento (Schneider & Froggatt, 2023). Asimismo, las empresas estatales chinas cuentan con una cartera de proyectos de I+D que van desde reactores SMR y de IV generación de diferentes potencias y usos, hasta motores nucleares para propulsión espacial.

En cuanto al desarrollo de reactores SMR, estos no ocupan un rol protagónico en China. Sin embargo, el doceavo Plan Quinquenal para el desarrollo energético (2013) y el Programa de Mediano y Largo Plazo para el desarrollo de la energía nuclear (2011-2020) financian el desarrollo del SMR ACP-100 Linglong One (Xu, 2016). Esta es una versión compacta y modular del ACP-1000 (Hualong One) diseñada para aplicaciones fuera de la red principal (por ejemplo, para redes pequeñas aisladas), integrando componentes del circuito primario dentro del recipiente de presión para su construcción modular en fábricas especializadas. En el año 2019 CNNC declaró que la construcción de la central de demostración de este reactor se realizaría en el sitio de Changjiang, dándose comienzo a la obra en el año 2021 y esperando su finalización para el año 2026 (WNN, 2023, 6 de noviembre).

Paralelamente, en 2012 comenzó la obra del SMR HTR-PM, diseñado conceptualmente por el INET de la Universidad de Tsinghua y construido en conjunto con la CNNC y la estatal China Huaneng Group, que serían también las principales finanziadoras del proyecto (Dong et al., 2025). El proyecto finalizó en 2022 y entró en operación comercial en diciembre de 2023,

5 Empresa estatal conformada a partir de la reinstitucionalización del Ministerio de Industria Nuclear en el año 1988.

siendo el primer SMR comercial del mundo. Por último, existen otros reactores SMR en etapas más incipientes de desarrollo (Lee, 2024). Muchos de ellos, al igual que los reactores HTR, muestran matices *bottom-up* dentro de una organización predominantemente *top-down*.

Estados Unidos

Luego de más de dos décadas sin concretar un proyecto nuclear, a finales de los años noventa el Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE) propuso la recomposición de esta industria a nivel nacional. Para ello, el Congreso otorgó al DOE en el año 2000 el financiamiento para promocionar el desarrollo de nuevas tecnologías orientadas a la generación de energía nuclear (Oficina de Energía Nuclear, 2018). Este financiamiento conformó diversos fondos de promoción, como la *Nuclear Energy Research Initiative* (NERI), que apoyó, entre otros, el proyecto *Multi-Application Small Light Water Reactor* (MASLWR), predecesor del modelo NuScale (Reyes & Lorenzini, 2009).

Sin avances significativos por más de una década, en los años 2012 y 2013 el DOE lanza la primera convocatoria del *Funding Opportunity Announcement* (FOA), el cual propone como objetivo apoyar financieramente el licenciamiento de reactores innovativos para el año 2022, proceso llevado a cabo por la Comisión de Regulación Nuclear (NRC), siendo seleccionados los reactores SMR de las empresas NuScale y mPower (Thomas & Ramana, 2022). A su vez, en estos años emergieron otros programas de apoyo, como el *Nuclear Energy University Program* (NEUP) o el *Gateway for Accelerated Innovation in Nuclear* (GAIN), centrados en financiar diferentes fases del proceso de I+D para diseños de modelos SMR, como también facilitar su licenciamiento y aprobación y/o contribuir financieramente a realizar estudios de factibilidad para el sitiado de estos proyectos (Mays, 2021).

A partir de 2018, nuevas iteraciones del FOA se dirigieron a financiar proyectos destinados, en primer lugar, a la preparación para modelos de demostración (FOAK); en segundo lugar, el desarrollo de SMR avanzados (ASMR) con tecnologías de IV generación⁶ y, finalmente, el licenciamiento con las autoridades regulatorias. Entre los beneficiarios se encuentran fundamentalmente empresas *start-ups* y nuevos entrantes al campo del diseño de centrales nucleares, como NuScale, TerraPower, X-energy y Holtec International, entre otras⁷. Por su parte, Westinghouse y General Electrics (GE), las únicas firmas tradicionales todavía activas dentro del país, participaron marginalmente dentro de estos programas. Asimismo, TerraPower y X-energy, junto a otros ocho diseños, fueron financiados por el DOE a través del programa *Advanced Reactor Demonstration Program* (ARDP), el cual propuso como objetivo comenzar la construcción de ASMR dentro de los próximos 5-7 años (Schneider & Froggatt, 2023). Sumadas a las iniciativas del DOE, también se ejecutaron programas de desarrollo de SMR por parte de gobiernos estatales como Colorado, Connecticut, Idaho, Indiana, Ohio, Tennessee y Virginia (Schneider & Froggatt, 2023).

6 Los reactores avanzados de IV generación no utilizan agua presurizada como medio de moderación y enfriamiento, sino otros materiales como sales fundidas, gases, plomo, entre otros. Se espera que estas tecnologías sean, entre otras características, más eficientes en el uso de combustible y generación de residuos.

7 Los resultados de estos fondos pueden consultarse en DOE (s.f.).

También se plantearon políticas de apoyo por el lado de la demanda, ejecutadas por diversos organismos estatales. Por ejemplo, en el año 2020 el DOE otorga apoyo financiero al programa Proyecto de Energía Libre de Carbono de la UAMPS (Utah Associated Municipal Power Systems), un consorcio local de servicios públicos regionales, brindando hasta USD 1.355 mil millones para la construcción de la primera planta VOYGR de NuScale Power. Este tipo de financiamiento también se observa dentro del TerraPower's Natrium Project, el cual consta de la instalación de un SMR avanzado de 345 MW en el estado de Wyoming y cuenta con un aporte del DOE de US\$ 2.000 millones y del X-energy's Seadrif Project: cuatro módulos de 320 MW de su ASMR en el estado de Texas y con aportes del DOE por US\$ 1.200 millones (Schneider & Froggatt, 2023). En una línea similar, es posible mencionar la iniciativa FIRST, programa en el que el gobierno de Estados Unidos apoya el desarrollo de capacidades nucleares en países emergentes que consideran incorporar reactores SMR estadounidenses a sus matrices energéticas.

No obstante, si bien las políticas llevadas a cabo por el DOE y otros organismos estatales apalancan el desarrollo de reactores innovativos, las empresas beneficiarias tienden a necesitar el apoyo de capitales privados para avanzar a otras fases del proceso. NuScale es un ejemplo paradigmático de ello, en tanto su asociación con el capital de alto riesgo Fluor Corporation y, posteriormente, con Spring Valley Acquisition le permitió perseguir una estrategia para financiarse a partir de una oferta pública inicial, convirtiéndose en la primera empresa del rubro en cotizar en bolsa (Fluor, 2021). Este camino también fue elegido por la empresa Oklo, en asociación con AltC Acquisition Corp. Otras desarrolladoras nucleares, como X-Energy o Terra Power, optaron por captar capitales a través de rondas de financiamiento con inversores privados.

En esta línea, para enviar señales de avances y de seguridad en sus capacidades de fabricación (activos intangibles), se destaca la creación por parte de estas empresas de redes de proveedores estratégicos y acuerdos pre-comerciales domésticos e internacionales. Nuevamente, el caso de NuScale es un ejemplo en esta dirección, dada la cantidad de asociaciones estratégicas con numerosas empresas, entre ellas, Doosan Heavy Industries, Samsung C&T y la propia Areva, con amplia trayectoria en el sector nuclear (WNN, 2015, 3 de diciembre; 2023, 5 de mayo; 2023, 14 de junio). Asimismo, esta empresa persigue estrategias agresivas de comercialización exterior en base a acuerdos de entendimiento con una variedad de países (MOU, de su sigla en inglés), mostrando para finales de 2021, tratados con más de 10 naciones interesadas en desplegar nacionalmente plantas de energía VOYGR (Schneider & Froggatt, 2023).

Reino Unido

En el año 2014, la empresa británica Rolls-Royce, uno de los mayores contratistas militares del gobierno de Reino Unido, lanzó un estudio de mercado de reactores SMR, cofinanciado entre diversas empresas nacionales del sector nuclear. Los resultados optimistas despertaron el interés del gobierno británico, poniendo en marcha un conjunto de iniciativas para promover esta tecnología en el país (Thomas et al., 2019). Así, en el marco de anuncios estatales sobre grandes

inversiones en I+D+i para el desarrollo de la energía nuclear, se oficializó en 2016 el lanzamiento de un concurso para reactores SMR (GOV.UK, 2017). En marzo de ese año, con el propósito de medir el interés del mercado de desarrolladores locales, de empresas de servicios públicos y de potenciales inversores, el gobierno lanzó una primera fase de competencia con una financiación de al menos £250 millones para el desarrollo local de estos reactores (Thomas et al., 2019).

Rolls-Royce logró adjudicarse este presupuesto luego de presentar su plan para desarrollar una flota de 7 GWe de SMR con sus socios, basándose en las ventajas competitivas que brindaría su experiencia en la fabricación de reactores nucleares de propulsión submarina (Johnstone et al., 2017). Sin embargo, a finales de 2017 el gobierno reemplazó el fondo de £250 millones por un programa de tres años orientado a financiar Advanced Modular Reactor (AMR), es decir, de IV generación, con un fondo de £44 millones (Thomas & Ramana, 2022). Entre las empresas seleccionadas se encuentran Moltex Energy Limited, Tokamak Energy Ltd, U-Battery Developments Ltd, Ultra Safe Nuclear Corporation (GOV.UK, 2017). Si bien esta medida parecía alejarse del financiamiento de reactores SMR que empleen tecnología PWR, en el año 2019 el gobierno comprometió £18 millones para que la empresa Rolls-Royce finalizara la primera fase del programa Low Cost Nuclear Challenge (LCN), que permitió finalizar el diseño conceptual (Hesketh & Barron, 2021).

En noviembre de 2020, en línea con su política industrial “verde”, el gobierno británico volvió a anunciar el desembolso de £525 millones para el desarrollo de Tecnología Nuclear Avanzada. De estos, £215 serían destinados a desarrollar tecnología doméstica en diseños de reactores que puedan ser potencialmente construidos en instalaciones especializadas (Thomas & Ramana, 2022). Un año más tarde Rolls-Royce logra asegurar nuevamente un financiamiento público de £210 millones (con una contraparte privada de más de £250 millones), con el objetivo de avanzar a una etapa que pudiera atraer aún más inversores privados y colocar a Reino Unido en una posición de liderazgo a nivel mundial en la fabricación de SMR (WNN, 2021, 9 de noviembre). A su vez, en 2023 el gobierno británico anunció el lanzamiento del plan nuclear Great British Nuclear, para apoyar la constitución de un mercado nuclear y la construcción de nuevos reactores (Schneider & Froggatt, 2023).

Paralelamente, Reino Unido fue el país pionero de Europa en recategorizar dentro de su Taxonomía Verde a la energía nuclear como fuente sustentable, permitiendo que proyectos nucleares accedan a financiamiento verde. De acuerdo con las autoridades británicas, se esperaba que este paso incentive a entidades privadas a invertir en el programa nuclear nacional (Schneider & Froggatt, 2023).

En suma, las políticas británicas se encuentran orientadas a financiar el desarrollo de reactores en las etapas más tempranas del proceso innovador, en tanto ninguna de las empresas beneficiarias logró hasta el momento licenciar sus reactores SMR o AMR y no existen planes concretos a futuro de compra pública. Por otro lado, si bien estas políticas se apoyan en procesos de competencia entre diferentes iniciativas privadas, al igual que lo que sucede con NuScale en Estados Unidos, Rolls-Royce parece ser privilegiado como un potencial “campeón nacional”

(Thomas et al., 2019). Continuando este paralelismo, el SMR de esta empresa también se desarrolla a través de redes asociativas estratégicas con diferentes actores públicos y privados, así como nacionales e internacionales, y con organismos de financiamiento externo, entre ellos Qatar Investment Authority (Thomas et al., 2019; WNN, 2021, 9 de noviembre).

Dos modelos de políticas orientadas por misiones

A partir de un análisis transversal de los casos estudiados (tabla 4) se identifican dos modelos generales o ideales de políticas industriales y tecnológicas que pueden vincularse al concepto de POM: el *centralizado-autonomista* y el *descentralizado-asociativo*. La construcción de estos modelos parte de una desagregación de las políticas nacionales en función de las siguientes dimensiones: el rol del Estado en el desarrollo de reactores SMR; la estructuración de instrumentos y políticas de promoción; la organización tecnológica de los proyectos promocionados y para terminar, la configuración de sistemas de producción e innovación (tabla 5).

Tabla 4. Comparación de los casos seleccionados

		Estados Unidos	Reino Unido	China	Rusia
Proyectos Financiados		15	4	5	13
Tipo de Tecnología Nuclear	BWR	1	-	-	2
	PWR	2	1	2	3
	iPWR	2	-	1	3
	HTGR	4	1	1	3
	LMFR	1	1	-	2
	MSR	4	1	1	-
	Otros	1	-	-	-
Fases máximas de desarrollo		Licenciamiento	Diseño detalle	Construcción/operacional	Construcción/operacional
Desarrolladores		NuScale, X-energy, Kairos Power, Oklo, Westinghouse, Holtec, etc.	Rolls-Royce, Urenco, Newcleo, Moltex Energy.	CNNC, INET, SINAP, CGN, SPIC.	Rosatom, NIKIET, Afrikantov
Tipo de Actores		Start-ups, Empresas líderes (consorcios públicos-privados)	Start-ups, Empresas líderes (consorcios públicos-privados)	Corporaciones estatales, universidades públicas.	Corporaciones estatales
Organización de la Innovación		Bottom-up	Bottom-up	Predominantemente Top-Down	Predominantemente Top-Down

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados del estudio de caso y Nøland et al. (2025).

Tabla 5. Dos modelos de POM y organización industrial

	Modelo Centralizado-autonomista	Modelo Descentralizado-asociativo
Rol del Estado	Financiación de proyectos tecnológicos top-down planificados y ejecutados por organismos estatales (empresas estatales).	Delimitador de una agenda tecnológica. Selección de proyectos descentralizados, mecanismos de competencia. Capital público de alto riesgo (Estado Emprendedor).
Estructura de instrumentos y políticas	Institucionalización de misiones en planes estratégicos. Planificación y ejecución de proyectos de manera top-down.	Sistemas de políticas con orientación bottom-up de apoyo para las diferentes fases del proceso de innovación. Políticas complementarias para incentivar la financiación de proyectos nucleares (ej. taxonomía verde).
Organización tecnológica	Desarrollo de proyectos a partir de una empresa estatal líder que selecciona tecnologías y organiza la vinculación entre diferentes actores (generalmente empresas subsidiarias y organismos públicos de I+D).	Iniciativas privadas o público-privadas, generalmente de empresas start-up dueñas de innovaciones específicas y líderes newcomers para el segmento de energía nuclear. Se fomenta el enfoque de competencia entre diversos modelos.
Sistemas de producción e innovación nuclear	Sistemas de producción e innovación planificados por un organismo estatal que opera en calidad de empresa líder y monopolio intelectual que nuclea las actividades del sector.	Redes asociativas entre actores estratégicos públicos-privados y de origen doméstico e internacional para el acceso a activos tangibles (financiamiento privado) o intangibles (conocimiento y experiencia en diferentes áreas de la cadena de suministros o redes de innovación) para el desarrollo y consolidación de posibles sistemas de producción e innovación.
Casos representativos	Rusia - China	Estados Unidos - Reino Unido

Fuente: elaboración propia.

El modelo centralizado-autonomista, representado por Rusia y China, consiste en estrategias industriales configuradas a partir de una planificación centralizada, en donde una corporación estatal se encarga de decidir y ejecutar proyectos de alta tecnología que responden a *misiones* institucionalizadas en planes u objetivos de mediano y largo plazo. De este modo, la promoción del desarrollo de reactores SMR toma una forma predominantemente *top-down*, reminiscente o semejante a las POM de primera generación. En estos países, el sector nuclear se organiza en función de un sistema de producción e innovación nacional altamente integrado y jerárquico, liderado por una empresa estatal que toma la forma de monopolio intelectual. Es así como los planes y proyectos nucleares poseen a disposición recursos financieros y capacidades industriales y tecnológicas autónomas, las cuales posibilitan el desarrollo de ambiciosos programas nucleares nacionalmente integrados. Aunque estos países representan casos particulares, por el grado de autonomía tecnológica y financiera, es probable encontrar rasgos similares en otros países, como Corea del Sur e India, los cuales cuentan con un sector nuclear desarrollado.

Cabe mencionar que estos sistemas tecnológicos jerarquizados y centralizados no excluyen la posibilidad de que existan procesos innovativos que, al menos en parte, emergan de manera *bottom-up* desde empresas, universidades u oficinas que operen en la órbita de aquella agencia u organismo planificador, como sucedió en el Programa Apolo (Mazzucato, 2023). En el caso de la industria nuclear de Rusia, por ejemplo, es posible que ciertos desarrollos tecnológicos hayan surgido en un primer lugar de empresas u organismos nucleares subsidiarios de Rosatom, como OKBM Afrikantov y NIKIET (desarrolladores de los modelos SMR rusos). Sin embargo, para este caso, es Rosatom quien define y delinea la planificación nuclear del país en línea con los planes energéticos del gobierno central. Muy similar es lo que ocurre en China con universidades e instituciones de I+D como la SINAP o la INET.

Por otro lado, los casos de Estados Unidos y Reino Unido muestran la existencia de un modelo descentralizado-asociativo, que por sus características instrumentales y su enfoque sistémico y multifocal puede asociarse al concepto de las nuevas POM de segunda generación. A diferencia del modelo centralizado, el papel del Estado se centra en definir e impulsar el desarrollo de nuevas tecnologías a partir del financiamiento de I+D y el subsidio a empresas, absorbiendo parte importante del riesgo de invertir en las etapas iniciales de nuevos desarrollos. Así, el apoyo del Estado acompaña el proceso de producción de innovaciones a lo largo de su recorrido, inclusive creando infraestructura tecnológica o apoyando la demanda de reactores innovativos. A su vez, como es más claro en el caso británico, estas políticas buscan promocionar otros eslabones de la cadena de valor para desarrollar una industria de alta integración nacional y potencialidad exportadora (Thomas et al. 2019). De este modo, el Estado ofrece una dirección e incentivos de largo plazo, pero la gestión y desarrollo de proyectos se da por fuera de una planificación central. A partir de ello, las decisiones de inversión, financiamiento y demanda de tecnología responden en mayor medida a mecanismos competitivos de mercado. Es importante matizar que la competencia no se da de manera perfecta por la existencia de una oferta limitada de tecnología y la jerarquización de ciertos proyectos por la política pública. Sin embargo, el avance de los proyectos depende en última instancia de la preferencia de la demanda privada, las condiciones de mercado y el acceso a financiamiento, que implica tanto la competencia frente a otros oferentes de SMR como con otras tecnologías alternativas.

Es por ello que las empresas beneficiarias de este tipo de programas de política requieren la formación de asociaciones y alianzas a nivel local e internacional para acceder a activos tangibles (financiamiento) e intangibles relevantes para el desarrollo, licitación, producción de componentes, logística productiva y comercialización. Así, si bien estas empresas o consorcios dueños de una innovación se apalancan inicialmente en el financiamiento público, deben competir por capital de riesgo privado para pasar a otras fases del proceso innovador. A su vez, con el objetivo de enviar señales de avances y de seguridad en sus capacidades de fabricación (activos intangibles), se destaca la creación de redes de proveedores estratégicos y acuerdos pre-comerciales domésticos e internacionales.

Reflexiones finales

A partir de la comparación de las estrategias de desarrollo de los SMR en Rusia, China, Estados Unidos y Reino Unido, este estudio permitió derivar dos modelos conceptuales de política y organización industrial vinculados a la noción de Políticas Orientadas por Misiones. Tanto el modelo centralizado-autonomista como el descentralizado-asociativo representan de forma abstracta o ideal casos extremos que permiten analizar una realidad compleja que tiende a conformarse por un espectro de casos situados en proximidad con uno u otro extremo.

La identificación de dos modelos organizativos de políticas tecnológicas e industriales muestra que no existe una forma unívoca de configurar sistemas de políticas dirigidas a cumplimentar misiones productivas o desafíos sociales. En este contexto, si bien parte de la literatura de POM reciente tiende a desacreditar formas organizativas alrededor de sistemas tecnológicos más cerrados y centralizados, el caso de la industria nuclear en China o Rusia demuestra que en ciertos sectores y ámbitos institucionales la centralización de procesos tecnológicos se mantiene como una alternativa viable para la resolución de problemas tecnológicos y productivos. En estos casos, el Estado va más allá de un rol financiador y delimitador de una agenda tecnológica, siendo un verdadero planificador productivo y tecnológico al integrar a su ámbito la ejecución de procesos tecnológicos, productivos e, inclusive, comerciales.

Finalmente, el análisis de estos modelos puede ser relevante para aquellos países semiperiféricos que poseen o buscan generar capacidades tecnológicas e industriales en el sector nuclear a partir del desarrollo o adopción de reactores SMR. En el caso de Argentina, es un país que cuenta con una importante trayectoria nuclear concentrada en organismos y empresas públicas como CNEA, INVAP o NA.SA. Sin embargo, las características de su estructura productiva, sus debilidades institucionales y restricciones financieras impidieron mantener una planificación de largo plazo que permita un crecimiento sustancial del sector. Además, su sector productivo no posee una cultura dirigida hacia el desarrollo tecnológico, mostrándose desvinculado de la mayor parte de las actividades de investigación e innovación. Estos fenómenos dificultan la perspectiva de promocionar exitosamente políticas exclusivamente *bottom-up* o *top-down*, en un sector de alta complejidad como el nuclear.

En efecto, si bien los rasgos de centralización tecnológica en organismos públicos se asemejan al modelo centralizado-autonomista, a diferencia de Rusia y China, Argentina no cuenta con las capacidades financieras e industriales necesarias para avanzar autónomamente en ambiciosos planes nucleares. De allí que generar relaciones estratégicas y redes de asociaciones, tanto domésticas como internacionales, pueda ser una condición necesaria para un desarrollo nuclear exitoso. Estos puntos vuelven fundamentales analizar el diseño de estrategias híbridas de política industrial que combinen elementos de centralización complementados por características asociativas, sobre todo en etapas de financiación y comercialización, llegando a un posible modelo intermedio centralizado-asociativo.

A partir de los resultados de este trabajo se deriva que cada país deberá hacer un balance de las ventajas y limitaciones de cada modelo y evaluarlas respecto a sus características institucionales, tecnológicas, financieras, diplomáticas y políticas, desarrollando una propia iteración de POM situada a su entorno nacional.

Referencias

- [1] Aiginger, K., & Rodrik, D. (2020). Rebirth of Industrial Policy and an Agenda for the Twenty-First Century. *Journal of industry, competition and trade*, 20, 189-207. <https://doi.org/10.1007/s10842-019-00322-3>
- [2] Bartlett, L., & Vavrus, F. (2017). Comparative Case Studies: An Innovative Approach. *Nordic journal of comparative and international education (NJCIE)*, 1(1), 5-17. <https://journals.oslomet.no/index.php/nordiccie/article/view/1929>
- [3] Belyaev, V. M., Bol'shukhin, M. A., Pakhomov, A. N., Khizbulin, A. M., Lepekhin, A. N., Polunichev, V. I., Veshnyakov, K. B., Sokolov, A. N., & Turusov, A. Y. (2020). The World's First Floating NPP: Origination and Direction of Future Development. *Atomic Energy*, 129(1), 27-34. <https://doi.org/10.1007/s10512-021-00707-w>
- [4] Boarin, S., Mancini, M., Ricotti, M. y Locatelli, G. (2021) Economics and financing of small modular reactors (SMRs). En G. Ingersoll & F. Carelli (Eds.), *Handbook of Small Modular Reactors* (pp. 241-278). Elsevier.
- [5] Cooper, M. (2012). Nuclear Safety And Affordable Reactors: Can We Have Both? *Bulletin of the Atomic Scientists*, 68(4), 61-72. <https://doi.org/10.1177/0096340212451627>
- [6] Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE). (s.f.). Map: Nuclear Energy Industry FOA Awardees with Data Table. Consultada el 14 de julio de 2024. <https://www.energy.gov/ne/map-nuclear-energy-industry-foa-awardees-data-table>
- [7] Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE). (2020). Restoring America's Competitive Nuclear Energy Advantage. A Strategy to Assure U.S. National Security. <https://www.energy.gov/articles/restoring-americas-competitive-nuclear-energy-advantage>
- [8] Dmitriev, S. M., Kurachenkov, A. V., & Petrunin, V. V. (2020). Scientific-Technical and Economic Aspects for Development of Innovative Reactor Plants for Small and Medium Nuclear Power Plants. *Journal of Physics: Conference Series*, 1683(4). <https://doi:10.1088/1742-6596/1683/4/042032>
- [9] Ergas, H. (1986). Does Technology Policy Matter? *CEPS papers* N° 29. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1428246>
- [10] Fluor (2021, diciembre 14) Fluor-Backed NuScale Power Signs Agreement to Accelerate Small Modular Reactor Commercialization. <https://newsroom.fluor.com/news-releases/news-details/2021/Fluor-Backed-NuScale-Power-Signs-Agreement-to-Accelerate-Small-Modular-Reactor-Commercialization/default.aspx>
- [11] Foray, D., Mowery, D. C., & Nelson, R. R. (2012). Public R&D and Social Challenges: What Lessons from Mission R&D Programs? *Research policy*, 41(10), 1697-1702. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.07.011>

- [12] GOV.UK (2017, 7 de diciembre) Small Modular Reactors competition: phase one. <https://www.gov.uk/government/publications/small-modular-reactors-competition-phase-one>
- [13] Gruber, J., & Johnson, S. (2019). *Jump-starting America: How breakthrough science can revive economic growth and the American dream*. Public Affairs Books.
- [14] Hesketh, K. W., & Barron, N. J (2021) Small Modular Reactors (SMRs): The Case of the United Kingdom. En D. Ingersoll & M. Carelli (eds.), *Handbook of Small Modular Reactor* (pp. 500-520). Elsevier.
- [15] International Atomic Energy Agency (IAEA). (2014). Russian federation. https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/CNPP2014_CD/countryprofiles/Russia/Figures/RUSSIA%20CNPP_2014.%20v2.pdf
- [16] International Atomic Energy Agency (2025). PRIS: Power Reactor Information System. Peoples's Republic of China. <https://pris.iaea.org/pris/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=CN>
- [17] IRENA (2023). Renewable power generation costs in 2022, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Aug/IRENA_Renewable_power_generation_costs_in_2022.pdf
- [18] Johnstone, P., Stirling, A. & Sovacool, B. (2017). Policy Mixes for Incumbency: Exploring the Destructive Recreation of Renewable Energy, Shale Gas 'Fracking,' and Nuclear Power in the United Kingdom. *Energy research & Social Science*, (33), 147-162. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.09.005>
- [19] Kim, H., Shin, E. S., & Chung, W. J. (2011). Energy Demand and Supply, Energy Policies, and Energy Security in the Republic of Korea. *Energy Policy*, 39(11), 6882-6897. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.056>
- [20] Kour, V., & Dar, S. S. (2013). Significance of Energy Security in 21st Century with Reference to Nuclear Energy Scenario of India. *IOSR Journal of Humanities and Social Science*, 10(5), 43-50. <https://www.iosrjournals.org/iosr-jhss/papers/Vol10-issue5/G01054350.pdf>
- [21] Laaksonen, J. (2010, 9 de enero). Lessons Learned from Olkiluoto 3 Plant. *Power Engineering*. <https://www.power-eng.com/news/lessons-learned-from-olkiluoto-3-plant/>
- [22] Larrue, P. (2021). The Design and Implementation of mission-oriented Innovation Policies: A New Systemic Policy Approach to Address Societal Challenges. *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*, 100. https://www.oecd.org/en/publications/the-design-and-implementation-of-mission-oriented-innovation-policies_3f6c76a4-en.html
- [23] Lee, J., I. (2024). Review of Small Modular Reactors: Challenges in Safety and Economy to Success. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 41(10), 2761-2780. <https://doi.org/10.1007/s11814-024-00207-0>
- [24] Lovering, J.R., Yip, A., & Nordhaus, T. (2016). Historical Construction Costs of Global Nuclear Power Reactors. *Energy Policy*, 91, 371-382. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.01.011>
- [25] MacKerron, G. (1992). Nuclear Costs: Why Do They Keep Rising? *Energy Policy*, 20(7), 641-652. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(92\)90006-N](https://doi.org/10.1016/0301-4215(92)90006-N)
- [26] Mays, G. (2021) Small modular reactors (SMRs): The case of the United States of America. En D. Ingersoll & M. Carelli (eds) *Handbook of Small Modular Reactor* (pp. 521-553) Elsevier.
- [27] Mazzucato, M. (2011). The Entrepreneurial State. *Soundings*, 49(49), 131-142. <https://doi.org/10.3898/136266211798411183>

- [28] Mazzucato, M. (2018). Mission-oriented Innovation Policies: Challenges and Opportunities. *Industrial and Corporate Change*, 27(5), 803-815. <https://doi.org/10.1093/icc/dty034>
- [29] Mazzucato, M. (2021). *Mission Economy: A Moonshot Guide to Changing Capitalism*. Penguin.
- [30] Mazzucato, M. (2023). *Cambio transformacional en América Latina y el Caribe: un enfoque de política orientada por misiones*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago, Chile.
- [31] Mignacca, B., & Locatelli, G. (2020). Economics and Finance of Small Modular Reactors: A Systematic Review and Research Agenda. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (118), 109519. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109519>
- [32] Minin, N., & Vlček, T. (2017). Determinants and Considerations of Rosatom's External Strategy. *Energy Strategy Reviews*, 17, 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2017.07.001>
- [33] Nakano, J. (2020). *The Changing Geopolitics of Nuclear Energy. A Look at the United States, Russia, and China*. Center for Strategic & International Studies. Washington, Estados Unidos.
- [34] Nøland, J., K., Hjelmeland, M., N., Hartmann, C., Tjernberg, L., B., & Korpås, M. (2025). Overview of Small Modular and Advanced Nuclear Reactors and Their Role in the Energy Transition. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1109/TEC.2025.3529616>
- [35] Nuclear Energy Agency (NEA). (2023). *The NEA Small Modular Reactor Dashboard*. OECD/NEA Publishing.
- [36] Oficina de Energía Nuclear (2018). The Story Behind America's First Potential Small Modular Reactor. <https://www.energy.gov/ne/articles/story-behind-americas-first-potential-small-modular-reactor>
- [37] Petrunin, V. V., Sheshina, N. V., Fateev, S. A., Kurachenkov, A. V., Shchekin, D. V., Brykalov, S. M., & Bezrukov, A. A. (2023). Scientific and technical aspects of developing a RITM-200N innovative reactor for SNPPs. *Atomic Energy*, 134(1), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10512-023-01020-4>
- [38] Reyes, J N, & Lorenzini, P. (2009, julio). NuScale Power: A New Approach to Commercial Nuclear Power (ponencia). *New nuclear frontiers*. 30th annual Canadian Nuclear Society conference, Toronto, Ontario, Canada. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/21256629>.
- [39] Rabadjieva, M., & Terstriep, J. (2020). Ambition Meets Reality: Mission-oriented Innovation Policy as A Driver for Participative Governance. *Sustainability*, 13(1), 231. <https://doi.org/10.3390/su13010231>
- [40] Ruttan, V. W. (2006). Is War Necessary for Economic Growth? Military Procurement and Technology Development. Oxford University Press.
- [41] Schneider, M., & Foggatt, A. (2021). The world nuclear industry status report 2019. En J. Fash (Ed.) *World Scientific Encyclopedia of Climate Change: Case Studies of Climate Risk, Action, and Opportunity Volume 2* (pp. 203-209).
- [42] Schneider, M., & Foggatt, A. (2024). The World Nuclear Industry Status Report 2023. <https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnisr2023-v5.pdf>
- [43] Shirvan, K. (2022). *Overnight Capital Cost of the Next AP1000*. Massachusetts Institute of Technology. Center for Advanced Nuclear Energy Systems. <https://web.mit.edu/kshirvan/www/research/AP193%20TR%20CANES.pdf>
- [44] Soete, L., & Arundel, A. (1995). European Innovation Policy for Environmentally Sustainable Development: Application of a Systems Model of Technical Change. *Journal of European Public Policy*, 2(2), 285-315. <https://doi.org/10.1080/13501769508406986>

- [45] Sovacool, B. K., & Valentine, S. V. (2010). The socio-political economy of nuclear energy in China and India. *Energy*, 35(9), 3803-3813. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.033>
- [46] Szulecki, K., & Overland, I. (2023). Russian Nuclear Energy Diplomacy and Its Implications for Energy Security in The Context of The War in Ukraine. *Nature Energy*, 8(4), 413-421. <https://doi.org/10.1038/s41560-023-01228-5>
- [47] Thomas, S., Dorfman, P., Morris, S., & Ramana, M. V. (2019). *Prospects for small modular reactors in the UK & worldwide*. Nuclear Consulting Group & Nuclear Free Local Authorities. <https://sppga.cms.arts.ubc.ca/wp-content/uploads/sites/5/2018/09/sub277-Attachment-2.pdf>
- [48] Thomas, S., & Ramana, M. V. (2022). A Hopeless Pursuit? National Efforts to Promote Small Modular Nuclear Reactors and Revive Nuclear Power. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 11(4), e429. <https://doi.org/10.1002/wene.429>
- [49] Thompson, F. J. (2018). *The Rise of Rosatom & Russia's Nuclear Revival* (tesis de Maestría, Universidad de Washinton). <https://digital.lib.washington.edu/server/api/core/bitstreams/b3141c9a-e665-45ac-ab6e-4bdd492db0c6/content>
- [50] Wanzenböck, I., Wesseling, J. H., Frenken, K., Hekkert, M. P., & Weber, K. M. (2020). A Framework for Mission-oriented Innovation Policy: Alternative Pathways Through the Problem-solution Space. *Science and Public Policy*, 47(4), 474-489. <https://doi.org/10.1093/scipol/scaa027>
- [51] World Nuclear Association (2020, 24 de septiembre) Nuclear Organization in China. <https://world-nuclear.org/information-library/appendices/nuclear-power-in-china-appendix-1-government-struc>
- [52] World Nuclear Association (2024a, 2 de abril) Country Profiles: Nuclear Power in Rusia. <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/russia-nuclear-power>
- [53] World Nuclear Association (2024b, 3 de junio) Country Profiles: Nuclear Power in China. <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-power>
- [54] World Nuclear News (WNN). (2015, 3 de diciembre). Areva to supply fuel assemblies for NuScale SMR. <https://world-nuclear-news.org/Articles/Areva-to-supply-fuel-assemblies-for-NuScale-SMR>
- [55] World Nuclear News (WNN). (2021, 9 de noviembre). Rolls-Royce secures funding for SMR deployment. <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Rolls-Royce-secures-funding-for-SMR-deployment>
- [56] World Nuclear News (WNN). (2023, 5 de mayo). Doosan starts forging components for NuScale SMR. <https://world-nuclear-news.org/Articles/Doosan-starts-forging-components-for-NuScale-SMR>
- [57] World Nuclear News (WNN). (2023, 14 de junio). Nuclearelectrica and partners sign MoU for NuScale plants. <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Nuclearelectrica-and-partners-sign-MoU-for-NuScale>
- [58] World Nuclear News (WNN). (2023, 6 de noviembre). Containment shell in place for Chinese SMR. <https://world-nuclear-news.org/Articles/Containment-shell-in-place-for-Chinese-SMR>
- [59] Xu, B. (2016, octubre) CNNC's ACP100 SMR: Technique Features and Progress in China. En M. Chudakov (presidencia), 13th INPRO Dialogue Forum on Legal and Institutional Issues in the Global Deployment of Small Modular Reactors. Congreso llevado a cabo en IAEA Headquarters, Viena. Austria.—https://nucleus.iaea.org/sites/INPRO/df13/Presentations/011_CNNC%27s%20ACP100%20SMR-Technique%20Features%20and%20Progress%20in%20China.pdf
- [60] Xu, Y. C. (2008). Nuclear energy in China: contested regimes. *Energy*, 33(8), 1197-1205. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.03.006>