

La competencia global por los Reactores Modulares Pequeños: los desafíos para la tecnodiplomacia nuclear argentina

The global struggle for Small Modular Reactors and the challenges for Argentine nuclear technodiplomacy

Nevia Vera*

<https://orcid.org/0000-0002-1148-654X>

María Paz López**

<https://orcid.org/0000-0003-3069-3613>

Carolina Acosta***

<https://orcid.org/0009-0004-5685-6016>

Resumen

El mundo atraviesa un complejo contexto de transición energética y posiblemente de poder donde la búsqueda por llegar a acuerdos políticos y tecnológicos para frenar el calentamiento global queda sumida en la competencia tecnoeconómica y comercial entre Estados Unidos y China. En este contexto, la energía nuclear vuelve a posicionarse como una alternativa viable y limpia para garantizar las metas de transición energética, especialmente a partir de la fabricación y comercialización de los Reactores Modulares Pequeños (SMR por sus siglas en inglés), donde también se registra gran competencia geopolítica y comercial entre Estados Unidos, Europa, China y Rusia. Acercando las dimensiones de ciencia y tecnología a los estudios internacionales, este artículo busca presentar un panorama sobre la naciente

*Doctora en Ciencias Políticas por la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM). Becaria Post-Doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Docente del Departamento de Relaciones Internacionales de la Facultad de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN). Integrante del Centro de Estudios Interdisciplinarios en Problemáticas Internacionales y Locales (CEIPIL). Argentina. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1148-654X> Mail: neviavera@fch.unicen.edu.ar

**Doctora en Ciencias Sociales por la Universidad Nacional de la Plata (UNLP); Docente del Departamento de Relaciones Internacionales de la Facultad de Ciencias Humanas y del Departamento de Filosofía de la Facultad de Derecho de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN). Investigadora del Centro de Estudios Interdisciplinarios en Problemáticas Internacionales y Locales (CEIPIL). Argentina. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3069-3613>; Mail: mplopez@fch.unicen.edu.ar

***Estudiante avanzada de la Licenciatura en Relaciones Internacionales de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN). Colaboradora del Centro de Estudios Interdisciplinarios en Problemáticas Internacionales y Locales (CEIPIL). Argentina. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5685-6016> Mail: carolinaacoosta@gmail.com

competencia geopolítica en torno a los SMR a nivel global, así como las oportunidades y desafíos que este marco implica para la tecnodiplomacia argentina. Se llega a la conclusión de que la Argentina –primer país latinoamericano en contar con un prototipo de SMR- no debería perder esta oportunidad de subirse a la ola nuclear generada por la urgencia de la revolución verde, a partir de elaborar una estrategia tecnodiplomática fuerte y orientada a la región.

Palabras clave: Reactores Modulares Pequeños; Tecnodiplomacia nuclear; Geopolítica; Transición Energética; Argentina

Abstract:

The world is going through a complex context of energy -and possibly power- transition, where the search for political and technological agreements to curb global warming is mired in the techno-economic and commercial competition between the United States and China. In this context, nuclear energy is once again positioning itself as a viable and clean alternative to guarantee the energy transition goals, especially since the manufacture and commercialization of Small Modular Reactors (SMR), where there is also great geopolitical and commercial struggle between the United States, Europe, China and Russia. Bringing science and technology dimensions closer to international studies, this article seeks to present an overview of the emerging geopolitical competition around SMRs at a global level, as well as the opportunities and challenges that this framework implies for Argentine technodiplomacy. It concludes that Argentina -the first Latin American country to have an SMR prototype- should not miss this opportunity to ride the nuclear wave generated by the urgency of the green revolution by developing a strong and regionally oriented technodiplomatic strategy.

Keywords: Small Modular Reactors; Nuclear Technodiplomacy; Geopolitics; Energy Transition; Argentina

TRABAJO RECIBIDO: 23/08/2024 TRABAJO ACEPTADO: 5/05/2025



Esta obra está bajo una licencia internacional <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Introducción

El mundo se encuentra atravesando un contexto complejo marcado por una transición energética y posiblemente también de poder, en las cuales la ciencia y la tecnología (CyT) juegan un papel crucial. Por un lado, estados y organismos internacionales se afanan por llegar a acuerdos políticos, financieros y tecnológicos que logren detener el calentamiento global a niveles preindustriales, lo cual significa estabilizar la suba de temperaturas medias anuales a 1,5 grados. Para esto se han comprometido a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030, que implican el cumplimiento de una serie de metas entre las cuales se encuentran aquellas orientadas al enfrentamiento del cambio climático como las de alcanzar energía no contaminante o la de trabajar en pos de la acción climática. Paralelamente, tales discusiones han quedado sumidas en la competencia tecnoeconómica, geopolítica y comercial entre Estados Unidos y China y sus respectivos aliados, en lo que podría resultar en una eventual transición de poder y que por lo tanto afecta las dinámicas de la transformación energética.

La tecnología nuclear no escapa a las disputas generadas en torno a estas transiciones desestabilizadoras; por el contrario, recobra protagonismo desde sus facetas bélica y civil. En cuanto al primer aspecto, el peligro atómico sigue latente en la existencia de reservas de ojivas nucleares en al menos nueve países, y en el aumento de los arsenales de algunos de ellos. Además, la guerra ruso-ucraniana volvió a poner en agenda las preocupaciones de seguridad y protección; también generan alarma la posible nuclearización de Medio Oriente y el coqueteo de Europa y Asia con el rearme atómico (Thiébaud, 2022; Keir, Lieber & Daryl, 2023).

Por otro lado, desde la arista civil, la energía atómica se posiciona como una alternativa viable y limpia para garantizar las metas de transición energética. En la Conferencia de las Partes de 2023 (la COP 28), varios países acordaron triplicar la producción de energía eléctrica proveniente de plantas nucleares. A ello se suman los proyectos de varios países de recobrar la construcción de nuevas centrales atómicas (Guglielminotti, Vera y Piñero, 2022), y en especial, de invertir en la fabricación y comercialización de los Reactores Modulares Pequeños (o SMR por su sigla en inglés correspondiente a *Small Modular Reactors*), donde

también se registra gran competencia (y en algunos casos colaboración) geopolítica y comercial entre Estados Unidos, Europa, China y Rusia.

En efecto, recientemente varios países y regiones, además de algunas corporaciones, han mostrado interés por comenzar a desarrollar SMR, generando alianzas públicas y privadas y creando una incipiente competencia por mercados. Entre ellos se cuentan los proyectos de Estados Unidos y la Unión Europea para hacer frente a los fabricados por Rusia y China, quienes a su vez buscan expandir su influencia y mercados en América Latina, África y Asia. Indefectiblemente, tales dinámicas implican impactos para Argentina, uno de los primeros países (y por ahora el único latinoamericano) en diseñar un SMR con potencial de ser exportado.

A partir de una metodología cualitativa, de rastreo de proceso y revisión de literatura y de fuentes primarias y secundarias, el artículo pretende dar cuenta de la profunda imbricación entre las dimensiones de CyT y de las relaciones internacionales a través del estudio de la naciente competencia geopolítica en torno a los SMR, ofreciendo un análisis actualizado hasta finales del 2024. Para ello se toma como referencia el contexto de las transiciones energética y de poder y se enfatiza en el efecto que este tiene en los vínculos tecnodiplomáticos, para finalmente desentrañar de manera breve los impactos en las oportunidades y desafíos que este marco implica para Argentina.

Para cumplir con los objetivos, el artículo se organiza de la siguiente manera: luego de esta introducción, se recuperan aportes que permiten entender la relevancia de estudiar la intersección entre CyT y relaciones internacionales, en especial en términos de su protagonismo en las transiciones actuales, y se explica su vínculo con el concepto de tecnodiplomacia. Luego, se aborda el rol de las periferias en el escenario global actual y se explora el lugar que ocupa la tecnología nuclear en él. Más tarde se analiza la competencia por el desarrollo de los SMR, y el consiguiente despliegue de estrategias tecnodiplomáticas y, seguidamente, se examina el posible impacto y las eventuales oportunidades de exportación para Argentina en dicho contexto. Finalmente, las conclusiones recuperan los principales hallazgos.

● **Ciencia, tecnología y tecnodiplomacia en las transiciones energética y de poder global**

1.1 Ciencia, tecnología y transición energética

En los últimos años se han registrado algunas tendencias y dinámicas particulares en el ámbito de la CyT, entre las que pueden señalarse: la existencia de un mayor peso de los componentes de la Investigación y Desarrollo (I+D) en la economía global, el elevado incremento de la cantidad de publicaciones científicas, la mayor internacionalización de la investigación y la organización en torno a grandes proyectos denominados *Big Science*, entre otras. A su vez, de la mano con las tendencias económicas se advierte un creciente desplazamiento de la dinámica científica y tecnológica desde Occidente hacia Asia. Sin ir más lejos, la *National Science Foundation* de Estados Unidos ha registrado elevados aumentos de inversión en I+D a nivel global, aunque concentrado en pocos países, y con creciente predominio del continente asiático: en 2019 la inversión de Estados Unidos en el sector representó el 27% del total mundial, la de China, el 22%, la de Japón el 7%, la inversión alemana el 6% y la de Corea del Sur el 4% (*National Science Foundation*, 2022). Dichas tendencias dan cuenta de la redistribución de capacidades materiales que subyace a estas dinámicas y que en parte explican.

Asimismo, no puede ignorarse que varias problemáticas actuales que desafían la gestión de bienes públicos globales se encuentran indefectiblemente atravesadas por la CyT, entre ellas el cambio climático. En efecto, cada vez más estados (y actores no estatales) se preocupan por abordar y encontrar posibles soluciones a este fenómeno y a la consecuente y necesaria transición energética. Ésta implica cambios estructurales y transversales en distintos niveles y dimensiones a largo plazo, y conlleva transformaciones institucionales, tecnológicas, organizacionales, y productivas, especialmente en términos de provisión y utilización de recursos energéticos (Campanella y Barberón, 2023). Particularmente, el proceso actual de transición energética consiste en el paulatino reemplazo de las fuentes hidrocarburíferas - debido a su creciente agotamiento y a la gran contaminación que generan-, por otras energías más amigables con el ambiente, como las renovables o aquellas que no emiten gases de efecto invernadero (también llamadas *Net Zero*).

Como comenta Merke (2022) a diferencia de las transiciones energéticas anteriores, el impulso al proceso actual no se relaciona tanto con la eficiencia como con la urgencia de

evitar una catástrofe ambiental. Lo que sí comparte con transiciones previas (especialmente la que dio origen a la revolución industrial) es que impulsa una modificación en el orden internacional, marcada por una carrera tecnoindustrial y económica por desarrollar nuevas tecnologías viables para la adaptación. En este sentido, es posible avizorar una mayor competencia por acceder a recursos naturales críticos, reducir la dependencia de proveedores extranjeros, y generar cadenas globales de valor resilientes en materia de tecnologías ambientales. Indefectiblemente esta competencia generará ganadores y perdedores de acuerdo a las capacidades tecnológicas e infraestructurales que los países logren desarrollar para hacer frente a los desafíos mencionados, y las grandes potencias han comenzado a diseñar políticas para no quedar entre los rezagados. Así, todo parecería indicar que el escenario global se está preparando para una “Guerra Fría verde” constituida “en torno a bloques climáticos compitiendo por energía, tecnología y dominio de mercado” (Merke, 2022: 9).

1.2 Ciencia, tecnología y transición de poder

En este contexto se evidencia cómo las tecnologías emergentes entre las que se cuentan las de transición energética han adquirido cada vez mayor relevancia como motores tanto de tendencias competitivas como cooperativas en la arena internacional: “En pocas palabras, la alta tecnología se ha convertido también en alta política” (Burrows *et al.*, 2022: 5). Es decir, el desarrollo científico y tecnológico ha dejado de ser crucial sólo para usos económicos y comerciales para pasar a ser además fundamental en materia de seguridad y de política exterior. Como ejemplo podemos considerar el informe elaborado por Allison *et al.* (2021) que dio cuenta de la competencia internacional por el dominio de sectores de alto contenido tecnológico. El escrito generó alarmas en Washington, puesto que según reflejaba, aunque Estados Unidos mantuviera la delantera en varios ámbitos, estaba siendo alcanzado rápidamente por China. De hecho, China se ha convertido en el principal manufacturador de insumos tecnológicos para la transición y ocupa un lugar central en la cadena global de valor de importaciones norteamericanas. Esto explica también que el país del norte, así como sus aliados europeos hayan impulsado varias iniciativas para hacerle frente, en especial desde los gobiernos de D. Trump (2017-2021) y de J. Biden (2021-2025).

Mientras el gobierno de Trump comenzó a impulsar altos aranceles contra productos chinos, algunas de las medidas alentadas por Biden fueron leyes como la *Bipartisan Infrastructure Law*, la *CHIPS and Science Act* (CHSA) y la *Inflation Reduction Act* (IRA). Estos proyectos complementarios tienen como objetivo reducir la dependencia de proveedores externos en materia de semiconductores (fundamentales para cualquier dispositivo electrónico), restablecer a Estados Unidos como líder indiscutido en su producción, y desarrollar tecnologías verdes utilizando los chips que se espera poder producir con la CHSA y las ingentes inversiones que se busca direccionar a tales sectores (Acosta y Vera, 2023).

Lo anterior también ha tenido un impacto en el reordenamiento de los flujos de cooperación y conflicto en CyT: pareciera que el mundo se está organizando cada vez más en torno a megaproyectos de infraestructura que disponen en su diseño un lugar de relevancia para la CyT y en especial para las tecnologías vinculadas a la transición energética. Nos referimos a iniciativas como la Nueva Ruta de la Seda (impulsada por el gobierno de Xi Jinping en China), la *Partnership for Global Investment and Infrastructure* (PGII) y la *America's Partnership for Economic Prosperity* (APEP) por parte de Estados Unidos y la *Global Gateway* alentada por la Unión Europea. La primera ha trascendido su formulación inicial centrada específicamente en corredores marítimos y terrestres para incorporar las Rutas de la Seda Digital, la Verde y la Sanitaria. De hecho, en los últimos documentos formales que ha emitido el gobierno chino se ha comenzado a utilizar el concepto de “Nuevas Infraestructuras”, que incluye una sofisticación en términos de las inversiones impulsadas a través de la Nueva Ruta de la Seda incorporando la faceta tecnológica, en especial, la tecnología de conectividad y de transición energética (Myers, Melguizo y Wang, 2024). Las megainiciativas norteamericana y europea -mucho más recientes- no tardaron en seguir estas tendencias.

Si bien en este artículo no nos centramos en analizar estos megaproyectos, sí es interesante mencionarlos para dar cuenta de la relevancia que cobra en este marco el despliegue de estrategias tecnodiplomáticas. Aquí, la tecnodiplomacia (también denominada diplomacia tecnológica) puede ser entendida en términos generales como la utilización de la tecnología para alcanzar objetivos de política exterior. De forma más específica implica estrategias donde la tecnología puede servir como elemento de intercambio para obtener beneficios de una relación, o para tender puentes entre estados. Puede implicar la adquisición de tecnología

como moneda de cambio, y las negociaciones internacionales en torno a su regulación como herramientas de generación de alianzas internacionales o impulso a intereses comunes (Vera, 2020)¹.

Un indicador claro de la relevancia que está adquiriendo la práctica de la tecnodiplomacia - sumado a la presencia creciente de las compañías tecnológicas en la arena internacional- se vislumbra en el hecho de que en 2017 Dinamarca apuntó a su primer embajador en Silicon Valley y en lo sucesivo se ha contado una veintena de estos funcionarios en los 70 consulados instalados en San Francisco (Buckup y Canazza, 2023).

En este artículo, la noción de tecnodiplomacia enmarca las políticas de vinculación internacional e interregional perseguidas principalmente por Estados Unidos, Europa, Rusia y China con respecto a la búsqueda de aliados para el desarrollo de sus tecnologías de transición energética y eventuales mercados para venderlas. Dentro de estos procesos se incluyen los planes para expandir sus industrias nucleares de la mano de sus SMR. También, como se verá en secciones posteriores, dicha noción es útil para analizar las potencialidades que una tecnodiplomacia nuclear adecuada pueden deparar a Argentina en términos de la eventual exportación de SMRs y cooperación científico-tecnológica.

● **El rol de las periferias y la tecnología nuclear en el contexto de doble transición**

2.1 Las periferias y los procesos tecnológicos

En este contexto es necesario preguntarse qué lugar le reserva este proceso a las periferias, y qué rol juega la tecnología nuclear en tales dinámicas y territorios. Con respecto a lo primero, es posible afirmar que las materias primas, las propiedades naturales y la mano de obra barata necesarias para la transición energética verde de las potencias se encuentran fundamentalmente en las naciones de menor desarrollo relativo (América Latina y África), las cuales históricamente han desempeñado el papel de proveedores de materias primas en el mercado internacional (Dietz, 2023). Así, se habla de una nueva división del trabajo y la naturaleza en la que a América Latina y a África les toca suplir de insumos energéticos a los centros, ya sea por suministro de combustibles fósiles o, a partir de la “revolución verde”, de

¹ Si bien es un concepto menos utilizado que el de Diplomacia Científica (con el cual está muy emparentado), la noción la precede, ya que se acuñó durante la Guerra Fría para explicar cómo las vinculaciones entre Estados Unidos y la Unión Soviética giraron en gran medida en torno a temas tecnológicos y motorizaron tanto la competencia como la cooperación.

energía alternativa; en dicho escenario, es previsible que estos países vean una profundización de las pujas entre las potencias por el control de sus bienes energéticos y minerales abundantes (Lander, 2023). A su vez, podría generar un “extractivismo verde”, el cual refiere a la explotación y apropiación de recursos de las periferias por parte de las potencias y sus empresas transnacionales en pos de la modernización ecológica, así como un “colonialismo verde”, ya que dicha apropiación conlleva también un mayor control sobre la política, los territorios y el trabajo de las regiones “sacrificadas” para cumplir el objetivo de la transición (Dietz, 2023).

Además, esto puede profundizar su rol como un mercado importante para las tecnologías producidas por las potencias y acrecentar su dependencia tecnológica. Así, puede implicar la recepción del paradigma tecnológico exógeno preestablecido que indica dónde, cómo y con qué tecnologías llevar a cabo la transición (Frenkel, 2023). Cabe recordar que la importación de tecnología implica también incorporar servicios como construcción, operación y mantenimiento de infraestructuras tecnológicas, entrenamiento de recursos humanos, provisión de insumos y generación de alianzas geopolíticas (Saunders, 2024). Asimismo, conlleva la adopción de estándares técnicos diseñados por los centros, lo que refuerza aún más la dependencia de determinados insumos y tecnologías.

En este marco, las periferias como América Latina deben desentrañar cómo insertarse en eslabones más complejos de las cadenas globales de valor de la transición energética que demanden productos con mayor valor agregado para poder estimular su industria y sector científico-tecnológico y de esta forma superar la histórica y tradicional posición de exportadores primarios. Al mismo tiempo, tienen el desafío de dejar atrás su rol de meros consumidores y mercados para los productos industrializados de los países más desarrollados, y su papel como tomadores de estándares (o *standard-takers*). Si bien esta búsqueda de las periferias por mejorar su posición puede ser vista como amenazante al orden geopolítico y tecnoeconómico establecido por los centros, su industrialización y modernización son procesos en los cuales los países desarrollados buscan participar “como medios para ganar escala y alcance en los mercados tecnológicos mundiales” (Hurtado y Souza, 2018: 124). Esta aparente contradicción se encuentra presente en el proceso de transición energética desde el momento en que varios países en desarrollo como Argentina, Brasil, India o Sudáfrica ven en estas tecnologías una oportunidad para modificar su estructura productiva e

impulsar una inserción en eslabones más complejos, pero al mismo tiempo se enfrentan a la competencia de países centrales con mayores capacidades tecnológicas, industriales y tecnodiplomáticas que permiten una mejor penetración de mercados internacionales - incluidos los de las propias periferias- y la definición de estándares globales.

2.2 Tecnología nuclear en las periferias

En la actualidad, la tecnología nuclear se presenta en los centros como una energía de transición y producto exportable a las periferias. A su vez, re-emerge en ciertas regiones periféricas, como una oportunidad para impulsar la transición energética, modernizar sistemas eléctricos y adquirir conocimientos y capacidades exportables a través de la transferencia de tecnología o de desarrollos propios. En los últimos años se han sumado unos 52 reactores nucleares de potencia en construcción a los más de 400 en funcionamiento incluso a pesar de la caída que estos proyectos sufrieron después del accidente de Fukushima en 2011. Estos avances atómicos se concentran principalmente en India, China y Turquía, pero cada vez más países, en especial de Medio Oriente y otros como Bangladesh, se están sumando a la ola atómica (Bassets y Fariza, 2023).

A ello se agrega el impulso recibido por la energía nuclear en los últimos tiempos. En diciembre de 2023 la Cumbre por el Clima de la ONU -la COP 28 celebrada en Dubái- declaró necesario acelerar el desarrollo de tecnologías que emitan pocos o nulos gases de efecto invernadero, reconociendo entre ellas -por primera vez y de manera explícita- a la nuclear (UNCC, 2023). Y en marzo de 2024 se celebró la Primera Cumbre de Energía Nuclear en Bruselas, Bélgica, donde se reunieron representantes de unos 37 países. La reunión fue co-presidida por el Secretario General del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), el argentino Rafael Mariano Grossi, quien declaró que “no basta con reconocer que la energía nuclear es necesaria” sino que además hay que “fomentar entornos que favorezcan el desarrollo nuclear. Si no se toman medidas decisivas, el potencial de la energía nuclear para apoyar la transición verde podría perderse” (OIEA, 2024). Allí, además, los representantes chino y estadounidense se comprometieron a trabajar de manera conjunta para liberar toda la potencialidad de la energía atómica apoyando la construcción de nuevas plantas nucleares y la extensión de vida de las existentes, manteniendo altos estándares en materia de seguridad y buscando soluciones a la problemática de los desechos nucleares.

Asimismo, acordaron asistir a los países emergentes que decidan embarcarse en este proceso (Ayuso, 2024).

Sin embargo, las críticas a este tipo de tecnología siguen arreciando, y en efecto, es necesario preguntarse hasta qué punto este renacer nuclear será viable en el tiempo. De acuerdo a declaraciones recuperadas por Bassets y Fariza (2024), desde el movimiento ambientalista remarcan la carencia de dinero público para impulsar agendas tan ambiciosas, la ausencia de empresas con experiencia en el sector atómico debido a su paulatina desaparición en las últimas décadas, el alto endeudamiento y la bancarrota de algunas de las pocas existentes (como *Framatome*, antiguamente conocida como *Areva*, de Francia, *Westinghouse* o la coreana *Kepeco*) y la poca confiabilidad de proveedores activos como la china Corporación Nacional Nuclear de China (CNNC).

En este contexto, emergen dos piezas claves para el rompecabezas del posible *revival* nuclear: por un lado, la demanda en países en desarrollo y emergentes como los mencionados China, India, Turquía, algunos de Oriente Medio, pero también varios en Europa del Este y en América Latina. Como dijimos, estas naciones y regiones se presentan como mercados atractivos donde ubicar exportaciones de alto valor agregado producidos en los centros. Por otro lado, emerge la novedad de los SMR. De esto último se ocupa la siguiente sección.

● La ¿revolución? de los *Small Modular Reactors*: implicancias geopolíticas y tecnodiplomáticas

3.1 Las políticas de desarrollo de SMR de las grandes potencias

Los SMR son reactores nucleares avanzados con capacidad de potencia de hasta 300 MW(e) por unidad, representando cerca de un tercio de la capacidad de generación de los reactores nucleares de potencia tradicionales. Físicamente, también ocupan una fracción de su tamaño y permiten que los sistemas y componentes se ensamblen en fábrica para transportarse luego al lugar de instalación, donde no podrían ubicarse plantas atómicas tradicionales. Además, como su construcción es más rápida y simple, son más asequibles en términos de costos y tiempo. En tanto, por su flexibilidad, pueden desplegarse gradualmente para ajustarse a la demanda de energía (Chatzis, 2020; OIEA, 2024). Otro aspecto ventajoso refiere a la seguridad, basada en sistemas pasivos y características inherentes del reactor, como la circulación natural, la convección, la gravedad y la autopresurización, resultando innecesaria

la intervención de un ser humano o de una fuerza externa para su detenimiento (OIEA, 2024). Por su parte, presentan pocas necesidades de combustible, pudiendo recargarse con menor frecuencia (cada 3-7 años y, en algunos casos, cada 30 años) que las centrales convencionales (cada 1-2 años). Esto es relevante ya que disminuye la posibilidad de desviar material nuclear hacia fines bélicos en los momentos de recarga de combustible.

Al igual que los reactores nucleares de grandes dimensiones, los SMR pueden proporcionar energía con bajas emisiones de carbono para la industria y la población -hasta 300 MW(e), según los diseños-. Además, al poder funcionar a plena capacidad casi sin interrupción, ofrecen un suministro continuo y fiable de energía, a diferencia de otras opciones renovables como la eólica o la solar, que requieren de energía de reserva durante las intermitencias de la producción. Asimismo, la energía nuclear puede combinarse con otras alternativas renovables para incrementar la eficiencia y ser utilizada en las plantas de desalinización de agua marina o en las de producción de hidrógeno (López, 2024). No obstante, más allá de los avances, los SMR están todavía lejos del despliegue a gran escala, requiriendo un mayor desarrollo de los mercados, las fuentes de financiamiento y las reglamentaciones adecuadas (Chatzis, 2020). Sin embargo, la OIEA lleva a cabo actividades de promoción y apoyo al desarrollo de SMR, a la vez que los países más importantes han comenzado a elaborar estrategias domésticas de fabricación de estos reactores, así como acciones tecnodiplomáticas para abrirles mercados de exportación.

Una de estas potencias es Estados Unidos. En términos generales, el país frenó su actividad nuclear civil doméstica (no así la bélica) durante varios años. Recién en el 2016 construyó un nuevo reactor nuclear convencional, luego de dos décadas de apostar por sus reservas de gas y petróleo (Acosta y Vera, 2023). Sin embargo, en la última década el Gobierno Federal ha reactivado los incentivos para alentar el desarrollo de nuevas tecnologías de reactores como los SMR. Lo hizo, por ejemplo, a través del Departamento de Energía (DDE) y su programa *Gateway for Accelerated Innovation in Nuclear* (GAIN) de 2015, que buscó promover avances en este sector a través de asociaciones público-privadas, para lo cual se otorgó acceso a grandes compañías a las instalaciones, infraestructuras y laboratorios públicos, además de brindarles apoyo en términos financieros y regulatorios (ERIA Study Team, 2022). Este programa fue seguido en 2020 del *Advanced Reactor Demonstration Program*, para restablecer el liderazgo estadounidense en el mercado global de energía nuclear.

Finalmente, en 2024 aprobó una ley bipartisana, la llamada *Advance Act*, que busca modernizar la burocracia de la Comisión Regulatoria Nacional estadounidense disminuyendo tasas de licitación e introduciendo incentivos para quienes desplieguen estos avances (DDE, 2024). Cabe destacar que este conjunto de medidas, junto con leyes como las mencionadas *Bipartisan Infrastructure Act* y la IRA, han inyectado vitalidad al sector de energía nuclear estadounidense reposicionándolo como “un líder global en la tecnología que primero desarrollamos” (ídem). Esta legislación vino a respaldar el hecho de que en 2023 el país certificó el primer SMR nacional, el AP300 de Westinghouse.

Respecto de la Unión Europea, en el contexto de sus objetivos climáticos, energéticos e industriales, la energía nuclear ha sido propuesta como tecnología estratégica, pudiendo beneficiarse de la concesión rápida de permisos, la mejora de las capacidades de los trabajadores europeos y un acceso más fácil al financiamiento². Esto se comprende en el contexto de profundización de su crisis energética, ocasionada por la invasión rusa a Ucrania y las interrupciones de suministro a causa de la pandemia de COVID-19 (Stevanka y Chvala, 2024). En este marco, el bloque procura mantener altos estándares de seguridad, garantizar la no proliferación y el suministro de combustible, establecer políticas sobre gestión de residuos, apoyar la investigación y el desarrollo -como es el caso de los SMR- y promover la aceptación pública. Sin embargo, también mantiene una neutralidad tecnológica para que los estados- miembro puedan definir sus estrategias nacionales de energía nuclear: mientras algunos se oponen y optan por eliminar gradualmente la energía atómica, otros planean expandirla (Nicolau, 2024; Ortúzar, 2024).

Dentro de la Unión Europea, destaca el rol de Francia como “el mayor bastión de la energía nuclear europea” (López, 2024), al ser el segundo país con más reactores nucleares, superado únicamente por Estados Unidos. En los últimos años, el gobierno francés ha declarado su interés en crear un sector de SMR y construir nuevas centrales nucleares equipadas con dicho tipo de reactores (López, 2024; Ortúzar, 2024). En tanto, su empresa pública *Électricité de France* (EDF) junto a otras organizaciones del sector, ha constituido una filial llamada *Nuward*, especializada en el diseño de SMR. El proyecto *Nuward* SMR ha estado desplegándose por varios años, avanzando en el desarrollo del diseño y su evaluación por

² Foro Nuclear (18/12/2023). “El Consejo Europeo define a la energía nuclear como fuente ‘estratégica’”. Foro Nuclear. <https://www.foronuclear.org/actualidad/noticias/el-consejo-europeo-incluye-a-la-energia-nuclear-como-tecnologia-estrategica/>

parte de la Autoridad de Seguridad Nuclear de Francia, buscando ofrecer un diseño adecuado para el país y satisfacer la normativa francesa, así como también desarrollar un producto deseable para el mercado internacional (Francis y Beils, 2024).

En el caso del Reino Unido -retirado de la Unión Europea tras las elecciones de 2019 y su ratificación en 2020-, la promoción de la “pequeña tecnología nuclear” de la mano de los SMR y los reactores modulares avanzados proviene de años atrás, siendo parte, por ejemplo, de su Estrategia de la Industria Nuclear de 2013 (Hesketh y Barron, 2021). El interés del Reino Unido en este tipo de tecnologías ha estado impulsado por sus bajos costos de generación, su flexibilidad ante los cambios en la demanda energética y su abastecimiento a la industria, la producción de hidrógeno y la calefacción doméstica (Hesketh y Barron, 2021). Sin embargo, ante la reciente crisis energética global ocasionada por el conflicto bélico entre Rusia y Ucrania, el gobierno británico anunció nuevas medidas de expansión para evitar seguir dependiendo de la energía rusa³. Así, presentó un plan para cuadruplicar la generación de energía atómica hasta 24 GW para 2050, donde se incluye el desarrollo de tecnología de SMR. Además, el Ministerio de Energía dio a conocer la “Hoja de ruta nuclear civil” para dar certeza y atraer inversiones empresariales en la materia⁴.

En cuanto a Rusia, ésta constituye el cuarto país productor de nucleoelectricidad del mundo y el mayor exportador de reactores, con capacidad de brindar una oferta integrada de todo el ciclo nuclear (Ortúzar, 2024). Las actividades de diseño de SMR datan de 1980 y su interés por esta tecnología creció rápidamente como fuente de energía adecuada para sus regiones árticas. Aunque ricas en recursos naturales valiosos y con poblaciones aglutinadas alrededor de minas, empresas locales y bases militares, estas zonas resultan remotas, de acceso difícil e intermitente y con condiciones naturales y climáticas extremas, requiriendo un suministro de energía descentralizado y reubicable que las modalidades tradicionales no pueden satisfacer. En este marco, en 2020 Rusia alcanzó un hito importante y pionero en el despliegue de los SMR, al inaugurar y comenzar la operación comercial de la central nuclear flotante

³ Telam (11/1/2024). “Reino Unido lanza histórica expansión nuclear y ya no dependerá de la energía de Rusia”. *La Opinión Austral*. <https://laopinionaustral.com.ar/el-mundo/reino-unido-lanza-historica-expansin-nuclear-y-ya-no-depender-de-la-energa-de-rusia-363874.html>

⁴ El Periódico de la Energía (11/1/2024). “Reino Unido se prepara para aumentar la generación de energía nuclear a 24 GW para 2050”. *El Periódico de la Energía*. <https://elperiodicodelaenergia.com/reino-unido-prepara-aumentar-generacion-energia-nuclear-24-gw-2050/>

“Akademik Lomonosov”, la cual se encuentra ubicada en el puerto de Pevek y contiene dos unidades SMR KLT40S de 35 MW(e) (Chatzis, 2020; Kuznetsov, 2021; Merkulov *et al.*, 2024). Además, en abril de 2023, Rosatom anunció la construcción de su primer SMR con emplazamiento terrestre en la región de Yakutia, con el objetivo de ponerlo en funcionamiento en 2028⁵. Se considera que la vasta experiencia nuclear nacional, sumado al apoyo sostenido del Gobierno, ha permitido a Rusia convertirse en un líder mundial frente al despliegue de los SMR (Kuznetsov, 2021).

En tanto, China ha superado a Rusia como el tercer mayor productor de nucleoelectricidad del mundo (Ortúzar, 2024). La creciente demanda de energía y los problemas ambientales causados por la quema de combustibles fósiles resultan desafíos fundamentales para este país. Así, instituciones como la Universidad Tsinghua y la CNNC, han desarrollado distintos tipos de reactores, entre ellos modelos de SMR, con los cuales se busca abastecer pequeñas redes eléctricas, brindar calefacción urbana o aportar a la desalinización de agua de mar (Song, 2021). Bajo su “Plan de Acción de Innovación y Revolución Tecnológica Energética (2016-2030)” China continuó impulsando la innovación en el campo de la energía nuclear, incluyendo el apoyo a la investigación científica sobre SMR y sistemas de energía nuclear de cuarta generación (Zhan *et al.*, 2021). En esta línea, se ha avanzado en la instalación del *Linglong One* -el primer SMR del mundo en ser revisado y aprobado por la OIEA, así como el primer SMR terrestre comercial- en la central nuclear de Changjiang (provincia de Hainan), esperando su puesta en funcionamiento para 2026; esto ha marcado una posición de liderazgo por parte de China⁶. Asimismo, en diciembre de 2023 entró en actividad la central nuclear Shidao Bay-1 (provincia de Shandong), siendo la primera en operar un reactor de cuarta generación con propósito comercial. Dicho reactor, diseñado por la Universidad Tsinghua y adquirido por el grupo empresarial China Huaneng, se denomina SMR HTR-PM

⁵ El Periódico de la Energía (23/4/2023). “Rusia aprueba su primer SMR nuclear para 2028”. El Periódico de la Energía. <https://elperiodicodelaenergia.com/rusia-aprueba-su-primer-smr-nuclear-para-2028/>

⁶ U238 (25/8/2023). “China instaló el módulo central de su primer SMR”. *U238 Tecnología nuclear para el desarrollo*. <https://u-238.com.ar/china-instalo-el-modulo-central-de-su-primer-smr/>; CNNC (7/2/2024). “The Linglong One completes external dome installation”. CNNC. https://en.cnncc.com.cn/2024-02/07/c_962372.htm; Global Times (22/5/2024). “Main control room of Linglong-1, world's first commercial onshore SMR completes construction”. *Global Times*. <https://www.globaltimes.cn/page/202405/1312833.shtml>

(*High-Temperature Reactor-Pebble bed Modules*); en este marco, se prevé la instalación de otros 19 reactores de este tipo en la central⁷.

Ahora bien, hasta aquí ha sido posible ver el interés que la tecnología de los SMR ha despertado en las últimas décadas en las principales potencias y regiones del mundo y los avances que éstas han concretado. Considerando lo mencionado en secciones anteriores resta indagar acerca de las **implicancias geopolíticas y tecnodiplomáticas** de tales dinámicas, para abordar seguidamente qué impactos puede tener en el caso argentino.

3.2 Tecnodiplomacia nuclear de las grandes potencias en torno a los SMR

Como comenta Saunders (2024: 9), las crecientes tensiones geopolíticas entre China y Rusia frente a Estados Unidos y Europa tienen “importantes implicancias para la cooperación nuclear civil” de estos países con sus socios “debido a la competencia por los mercados y la influencia política”. Asimismo, al ser considerado un sector estratégico, la cooperación nuclear con finalidades civiles energéticas está siendo moldeada por las dinámicas geopolíticas que originan nuevas cadenas globales de suministro para reducir la dependencia de materias primas y manufacturas.

En el caso de Estados Unidos, el país busca fortalecer y asegurar vínculos tecnodiplomáticos impulsando sus SMR a través del Programa FIRST (*Foundational Infrastructure for Responsible Use of SMR Technology* o Infraestructura Fundacional para el Uso Responsable de Reactores Modulares Pequeños). Sus metas explícitas son asistir a países socios a establecer programas nucleares basados en SMR que cumplan con altos estándares de seguridad (no proliferación) y protección nuclear; alcanzar objetivos sustentables de naciones receptoras, aprovechar las innovaciones y tecnologías de nueva generación y profundizar las relaciones entre los gobiernos, la industria, el sector científico y las universidades en su desarrollo (FIRST Program, 2024). Sus objetivos implícitos, sin embargo, fueron evidenciados por K. Luongo (2021), director del *Think Tank Partnership for Global Security* quien afirmó que el FIRST “es más que un simple esfuerzo de construcción de capacidades. También está diseñado para permitir que los fabricantes de [SMR] estadounidenses compitan

⁷ World Nuclear News (06/12/2023). “China’s demonstration HTR-PM enters commercial operation”. *World Nuclear News*. <https://world-nuclear-news.org/Articles/Chinese-HTR-PM-Demo-begins-commercial-operation>

con Rusia y China y refuercen la posición del gobierno de Estados Unidos en la sombría lucha en torno a la geopolítica nuclear”.

En efecto, a partir de este programa Estados Unidos ha reforzado vínculos nucleares con países en su mayoría asiáticos y africanos. Entre ellos se encuentran Kazajistán con quien se organizó un *workshop* en abril de 2024 (Embajada de Estados Unidos en Kazajistán, 2024), o Ghana con quien se firmó un memorando de entendimiento en mayo de 2024 para convertir al país africano en el primero en ser sede de un centro de entrenamiento para la gestión de reactores nucleares, de forma tal de establecerlo como parte de una “cadena de suministro de SMR segura y protegida en la región”⁸. Asimismo, según asegura el portal especializado *World Nuclear News*, el país estaría trabajando en un acuerdo con *Regnum Technology Group* para desarrollar un enclave industrial cuya principal fuente de energía sea un SMR provisto por la empresa estadounidense *NuScale*.

Adicionalmente, a principios de junio de 2024 Estados Unidos a través de su Departamento de Estado y en colaboración con Japón y Filipinas, organizó un *tour* de estudios para partes interesadas (*stakeholders*) en el desarrollo de programas nucleares civiles. Lo interesante es que en esta actividad patrocinada por el Programa FIRST participaron ocho países asociados de África, Eurasia y el Sudeste Asiático, lo cual da la pauta de la relevancia que para Estados Unidos guardan esas regiones, de cara a contrarrestar la creciente influencia china (Embajada de Estados Unidos en Japón, 2024). Pocos días después se celebró en Seúl, Corea del Sur, la Conferencia Regional de Asia del Sur, Central y del Este del Programa FIRST (Embajada de Estados Unidos en Corea del Sur, 2024) donde 14 países se reunieron para “discutir una variedad de temas técnicos y políticos en torno a la tecnología SMR y temas vinculados a la transición energética”.

Por su parte, la Comisión Europea creó una “Alianza Industrial Europea” para acelerar el despliegue de SMR e iniciar la construcción de los primeros reactores de este tipo a principios de la década de 2030. Para ello, ha elaborado un plan que busca consolidar la cadena de suministro europea, reforzar la inversión en el área y desarrollar las tecnologías necesarias para la puesta a punto de SMR maduros y viables desde un punto de vista comercial (López, 2024a).

⁸ World Nuclear News (03/06/2024). “USA announces new cooperation to support Ghana SMR plans”. World Nuclear News. <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/USA-announces-new-cooperation-to-support-Ghana-SMR>.

Paralelamente, en septiembre de 2023 Francia organizó un encuentro en París con una veintena de países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) para dar mayor impulso a la agenda nuclear. En esa instancia, se pugnó por la triplicación de la flota nuclear para el 2050, se alentó al Banco Europeo de Inversiones a apoyar financieramente proyectos vinculados a esta tecnología, y se la defendió frente a la intermitencia y capacidad limitada de las demás energías renovables (Bassets y Fariza, 2023). Asimismo, fue un encuentro utilizado por el país anfitrión para lanzar una alianza global de fomento de la energía atómica, junto a Bulgaria, Croacia, República Checa, Finlandia, Hungría, Países Bajos, Polonia, Rumania, Eslovenia, Eslovaquia y Suecia.

El nuevo impulso a la industria de SMR también ha reforzado el acercamiento entre Estados Unidos y Europa. Así, en diciembre de 2023, en el marco del evento *Atoms for Net Zero* llevado a cabo en la mencionada COP 28 en Dubái, la Agencia de Energía Nuclear (AEN) de la OCDE lanzó una iniciativa producto de la alianza entre Estados Unidos, Francia, y la mencionada agencia llamada “Acelerar SMR para *Net Zero*”. Dicha iniciativa se propone aprovechar la red de líderes industriales, gobiernos, investigadores y expertos de la AEN para brindar herramientas prácticas, análisis económicos y recomendaciones y ayudar a la toma de decisiones políticas y de inversión en torno de los SMR (Roca, 2023).

Ahora bien, a pesar de lo mencionado en secciones anteriores en torno a declaraciones de representantes estadounidenses y chinos sobre su voluntad de trabajar en conjunto para desplegar el potencial de la energía nuclear en todo el mundo, lo cierto es que estas alianzas entre países occidentales tienen, como se dijo, la meta de frenar avances principalmente rusos y chinos. Esta estrategia cobra especial relevancia en el caso de las relaciones entre Estados Unidos y Rusia en el último tiempo debido a la gran dependencia que el primero tiene sobre el combustible nuclear exportado por el segundo: “El combustible nuclear ruso barato se impuso en los mercados estadounidenses y aliados en gran parte gracias a la combinación de programas conjuntos ruso-estadounidenses [...] para transformar ojivas rusas en combustible nuclear y servicios de enriquecimiento rusos de bajo coste” (Saunders, 2024: 11). De hecho, más del 20% del combustible utilizado por los reactores estadounidenses tienen procedencia rusa, razón por la cual en diciembre de 2023 se presentó una ley para prohibir la importación de uranio enriquecido ruso (Fernández, 2024). Ello reforzó a su vez la necesidad de diseñar

estrategias para revivir el sector de combustibles nucleares, hoy controlado a escala global por Rosatom.

Es que en términos de su tecnodiplomacia nuclear, y más allá de la pérdida de confianza que recayó sobre el país a partir de la invasión a Ucrania, Rusia presenta una gran relevancia en cuanto a acuerdos nucleares mundiales no solo relacionados con el suministro de combustible, sino también con la construcción de reactores, desmantelamiento y gestión de residuos. El país participa en más de un tercio de las nuevas construcciones de reactores del mundo, incluidos proyectos en China, India, Irán, Uzbekistán y Egipto y también destacan las recientes visitas del presidente ruso Vladimir Putin a Corea del Norte y Vietnam para conversar sobre posibles colaboraciones en seguridad y energía, subrayando las ambiciones geopolíticas de Rusia (Day, 2024).

Además, mientras los países occidentales buscan independizarse de la energía rusa, Rusia apunta a incrementar las exportaciones nucleares a África, de forma similar a lo que acontece con el Programa FIRST de Estados Unidos. En este marco, Rosatom anunció acuerdos de cooperación en energía nuclear con Mali, Burkina Faso y Argelia, los cuales se basan en los actuales esfuerzos de construcción de un cuarto reactor en la central nuclear de El Dabaa en Egipto por parte de Rosatom, todo lo cual genera preocupaciones en Occidente, que advierte sobre la dependencia a largo plazo y las posibles vulnerabilidades vinculadas a las inversiones rusas (Day, 2024). Otra de las regiones en el radar ruso de cara a generar acuerdos comerciales para sus SMR es América Latina, donde el país euroasiático ofrece pequeños reactores destinados a zonas de difícil acceso, destacándose los casos de Brasil⁹ y de Bolivia, país en el que Rosatom está construyendo un reactor de investigación.

Por su parte, si bien China no está construyendo muchas plantas nucleares en el extranjero, una nota de la CNN señala que es el único país que cuenta con un SMR en funcionamiento instalado en tierra, lo cual la convierte en una buena candidata para liderar el mercado de SMRs si se lo propusiera (Dewan, Nielsen y Robinson, 2024). En la Tabla 1 pueden apreciarse de manera resumida los principales proyectos domésticos y estrategias tecnodiplomáticas nucleares de estos cuatro actores.

⁹ Ámbito (03/08/2024). “Rusia busca desembarcar en América Latina con pequeños reactores nucleares para zonas de difícil acceso”. Ámbito. <https://www.ambito.com/energia/rusia-busca-desembarcar-america-latina-pequenos-reactores-nucleares-zonas-dificil-acceso-n6043091>

Tabla 1: Proyectos domésticos y estrategias tecnodiplomáticas de promoción de tecnología de SMR de los principales jugadores globales

	Política doméstica de SMR	Estrategia Tecnodiplomática en torno a SMR
Estados Unidos	<p><i>Gateway for Accelerated Innovation in Nuclear</i> (promueve alianzas público-privadas para la construcción de SMR)</p> <p><i>Advanced Reactor Demonstration Program</i> (busca restablecer liderazgo estadounidense en materia nuclear)</p> <p><i>Advanced Act</i> (moderniza burocracia para facilitar empresas nucleares).</p>	<p>Programa FIRST (ayuda a países socios a establecer programas nucleares basados en SMR que cumplan con altos estándares de seguridad y protección nuclear).</p> <p>Desplegado principalmente en Asia y África.</p> <p>Junto a Francia patrocinó el impulso a la Alianza Acelerar SMR <i>Net Zero</i></p>
Europa	Unión Europea	<p>Promueve la Alianza Industrial Europea para acelerar el despliegue de SMR e iniciar la construcción de los primeros a principios de la década de 2030. Alienta un acercamiento con el resto de Europa a través del evento <i>Atoms for Net Zero</i> para acelerar el desarrollo de SMR .</p>
	Francia	<p>Ha demostrado interés en desarrollar SMRs. Creó la empresa Nuward, que gestiona el proyecto Nuward SMR</p> <p>Impulsó reuniones y encuentros con países de la OCDE y con naciones de Europa del Este para lanzar coaliciones globales en este tema. Junto a Estados Unidos patrocinó el impulso a la Alianza Acelerar SMR <i>Net Zero</i>.</p>

	Reino Unido	Estrategia de Industria Nuclear de 2013 que promueve la construcción de un SMR. Busca cuadruplicar la energía nuclear para 2050 de la mano de SMRs propios.	Al igual que otros países europeos, se orienta a eliminar la dependencia energética respecto de Rusia.
	Rusia	Despliegue pionero de un SMR flotante en el Ártico. En 2023 anunció la construcción del primer SMR terrestre	Proyectos nucleares en varios países periféricos como Mali, Burkina Faso, Egipto, China, India, Irán, Argelia, Uzbekistán. Impulsa SMRs en Brasil y Bolivia
	China	Cuenta con el primer SMR emplazado en tierra, con alto potencial comercial y cuenta con un Plan de Acción de Innovación y Revolución Tecnológica Energética (2016-2030) para seguir promoviéndolos	No presenta una estrategia clara por el momento, pero es el actor mejor posicionado para activar el mercado de SMRs si se lo propusiera

Fuente: elaboración propia

En este punto es importante preguntarse qué desafíos y oportunidades se presentan para Argentina, el único país latinoamericano (y periférico) por el momento en presentar un SMR en estado avanzado de diseño y construcción, y qué estrategias tecnodiplomáticas debería implementar para aprovechar esta ventana temporal de manera de agregar valor a sus exportaciones y abrir nuevos mercados tecnológicos.

● **Argentina y el CAREM: por una tecnodiplomacia nuclear para navegar la incertidumbre**

Argentina cuenta con más de 70 años de un consolidado desarrollo nuclear donde se destacan la construcción de las centrales de potencia Atucha I, Atucha II y Embalse, y de diferentes reactores de investigación y de fabricación de radioisótopos usados en el área de salud. También cuenta con la capacidad de enriquecer uranio en la Planta de Pilcaniyeu y de producir agua pesada en la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP). En términos de su

tecnodiplomacia atómica ha diseñado, construido y exportado varios reactores nucleares de investigación y multipropósito, principalmente a países periféricos (Egipto, Argelia, Perú), pero también a naciones desarrolladas como Australia y Países Bajos (Acosta y Vera, 2023). Además, ha liderado procesos de democratización del acceso a la tecnología atómica y de sus usos civiles durante décadas (Vera, 2024).

Sin duda, la piedra angular para abordar la Argentina nuclear en la actualidad es el diseño y la construcción del prototipo de la Central Argentina de Elementos Modulares (CAREM 25), que se convirtió en el primer SMR en el mundo oficialmente en construcción (Zappino, 2023a). Sus orígenes datan de la década de 1980, cuando la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) tuvo la tarea de llevar adelante la nuclearización de los dos submarinos que poseía la Argentina, proyecto que finalmente fue reorientado hacia el diseño de un reactor de baja potencia (Hurtado, 2024). De hecho, el CAREM es “el primer elemento de potencia, diseñado y [en construcción] en el hemisferio sur, colocando al país a la vanguardia del mercado” (Zappino, 2023b). De concretarse, este SMR permitiría abastecer a una población de 90 mil habitantes y tener una utilidad de cuatro décadas. Además, implicaría una participación del 70% de la industria nacional en la provisión de materiales, componentes y servicios, lo cual conllevaría un impulso significativo de su sistema industrial y científico-tecnológico.

Sin embargo, el proyecto se vio frenado durante la década de los ‘90. Bajo la consigna de “achicamiento del Estado” propia del recetario del Consenso de Washington el área nuclear sufrió una traumática reestructuración: las obras de Atucha II y la ampliación de la planta de enriquecimiento de uranio en Pilcaniyeu se paralizaron y, por presiones de Estados Unidos, se canceló definitivamente el proyecto de avanzar en una planta de reprocesamiento de plutonio. A su vez, la operación de las dos centrales de potencia en funcionamiento en ese momento -Atucha I y Embalse-, pasó a depender de la empresa Nucleoeléctrica Argentina (NA-SA), creada para su privatización, que finalmente no prosperó (Acosta y Vera, 2023).

Hacia 2001 el proyecto registraba la consolidación de la ingeniería conceptual y básica. Sin embargo, producto de la crisis económica fue abandonado hasta el 2006. Ese año se produjo el relanzamiento del Plan Nuclear durante la presidencia peronista de Néstor Kirchner. En él, la finalización del prototipo del SMR CAREM 25 figuraba como meta prioritaria. En 2009 se sancionó la Ley 26.566, que declaró al CAREM de interés nacional y delegó en la CNEA el

diseño, ejecución y puesta en marcha del prototipo. También se inició la construcción del edificio para el simulador de la sala de control en el Centro Atómico Bariloche y en febrero de 2014 se comenzó la obra civil en el Complejo Tecnológico Atucha, estimando la finalización del prototipo para 2028 (Hurtado, 2024; Zappino, 2023b).

A partir de ese momento la obra avanzó a distintos ritmos, pero de manera sostenida: pasó del 42,2% en 2015 (a finales de la gestión de Cristina Fernández de Kirchner) al 65,8% en 2019 (cuando terminó el mandato de Mauricio Macri), lo que demostró la relevancia y continuidad del proyecto a lo largo de gobiernos con distinto signo político. Mientras, desde el comienzo de la presidencia de Alberto Fernández en 2019 y hasta el 2022, las obras del CAREM llegaron al 69,6% (con un modesto incremento de 3,8 puntos porcentuales)¹⁰. Con todo, en 2023 la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE realizó una evaluación del grado de avance de los SMR en construcción en el mundo haciendo foco en dimensiones como financiamiento, licenciamiento, emplazamiento, elementos combustibles, cadenas de suministros y compromisos para futuros desarrollos (NEA, 2023). De un total de 56 proyectos analizados, el CAREM figura entre los más adelantados, junto con los proyectos ruso y chino. Adriana Serquís, presidenta de CNEA hasta mayo de 2024, afirmó en declaraciones radiales que entre los proyectos de SMR actualmente en construcción, el CAREM “es el mejor rankeado y el más avanzado. Terminarlo antes que los otros nos pondría en una posición ventajosa para la exportación de energía nuclear limpia”, por lo cual, “es de un valor comercial gigantesco”¹¹.

Es que como se dijo en secciones previas, la transición energética aparece como una ventana de oportunidad para que un país nuclear periférico como la Argentina pueda participar de un mercado en conformación como es el de los SMR. Con esta perspectiva en mente, la CNEA pasó a desarrollar el diseño del CAREM Comercial, con base en dos criterios fundamentales: el primero es el aumento de potencia del módulo a 120 MW(e) para utilizar la economía de escala relacionada con el tamaño, y el segundo consiste en analizar la posibilidad de tener sistemas en común para disminuir el costo total del MW(e) generado (Zappino, 2023a). En

¹⁰ Chequeado (18/05/2023). “Alberto Fernández: 'Durante la gestión de Macri, se frenó todo el proyecto del reactor nuclear CAREM'”. Chequeado. <https://chequeado.com/ultimas-noticias/alberto-fernandez-durante-la-gestion-de-macri-se-freno-todo-el-proyecto-del-reactor-nuclear-carem/>

¹¹ Radio 10 (28/03/2024). Denuncian que el gobierno de Milei desfinanció la construcción de dos reactores nucleares”. Disponible en <https://www.radio10.com.ar/milei/denuncian-que-el-gobierno-milei-desfinancio-la-construccion-dos-reactores-nucleares-n5973137>

este marco se considera que, en un mercado que proyecta tener, en los próximos 20 años, hasta 300 de estos nuevos reactores, abarcar al menos el 10% del mismo sería una oportunidad importante para el país (Zappino, 2023b).

En efecto, tal como afirma Sol Pedre (entonces Gerenta de Área CAREM de la CNEA) “se abren nuevos mercados [en] países que no pensaban o no tenían posibilidades de tener energía nuclear,” que ahora “pasan a estar interesados porque, por un lado, tienen el nivel de inversión necesario y por otro lado, son compatibles con matrices energéticas más pequeñas”. De esta forma, “pasamos de un escenario donde la energía nuclear estaba en los países centrales, a un escenario donde ya hay países interesados en [África] y Latinoamérica” (Instituto Balseiro, 2021).

Sin embargo, en torno a estas posibilidades en el mercado de los SMR, aparece el obstáculo del financiamiento, un problema recurrente en los sistemas científico-tecnológicos e industriales de las periferias. Alejandra Calvo, por entonces responsable de Gestión Estratégica del Proyecto CAREM, declaró en una entrevista publicada en 2023 que “Lo único que nos está faltando son asociaciones y vínculos con terceros. Tengamos en cuenta que el CAREM ha sido un proyecto íntegramente financiado por el Tesoro Nacional. Los otros proyectos son modelos distintos, en general consorcios público-privados”¹². Esto es central si se tiene en cuenta que “lo importante es llegar a la ventana comercial, en el año 2030. Para esa fecha, el que tenga el primer reactor demostrativo va a poder quedarse con una parte importante del mercado”, agregó la entrevistada.

Sin embargo, con la llegada del libertario Javier Milei a la presidencia argentina en diciembre del 2023, quedó clara la reorientación de la política nuclear, contando con intenciones de privatización del sector -reflejadas, por ejemplo, en la propuesta original de la llamada Ley Ómnibus- especialmente de NA-SA (a cargo de administrar la generación de nucleoelectricidad y que además es contratista de CNEA en la construcción del CAREM), y Dioxitek S.A (que produce insumos utilizados en la salud y en el sistema eléctrico nacional). A esto se suma que en mayo de 2024 asumieron las nuevas figuras directivas de la CNEA, que decidieron someter al proyecto CAREM 25 a un proceso de revisión integral. Un mes después, a través de la Resolución 262, el nuevo presidente de la CNEA formalizó el

¹² AgendarWeb (17/10/2023). “CAREM, el proyecto nuclear argentino para el mercado mundial de pequeños reactores modulares”. Agendarweb. <https://agendarweb.com.ar/2023/10/17/carem-el-proyecto-nuclear-argentino-para-el-mercado-mundial-de-pequenos-reactores-modulares/>

“Comité de revisión de pares” entre cuyos miembros figuraba el Dr. en Ingeniería mecánica José Converti, quien poco más tarde publicó un artículo en el diario Los Andes donde argumentó que el proyecto CAREM era un fracaso (Hurtado, 2024). En particular expresó dudas acerca de su competitividad frente a otros diseños y sobre sus posibilidades de concreción proviniendo de un país con recursos escasos como Argentina.

Este tipo de apreciaciones generaron desazón en el sector atómico nacional, en especial cuando, como se dijo, informes internacionales señalan al CAREM como uno de los SMR más avanzados del mundo. Incluso el propio Director General del OIEA lo alabó en ocasión de la Cumbre de Energía Nuclear de Bélgica. En su cuenta de X (ex Twitter) afirmó: “El #CAREM de Argentina es un ejemplo concreto de la promesa de los SMRs y la innovación en el campo nuclear [...]”¹³. Mas aún, los propios funcionarios argentinos en dicha cumbre se encargaron de remarcar el perfil exportador del sector atómico nacional. J. Antelo, Secretario de Estrategia Nacional del país, afirmó que: “La Argentina [...] posee [...] un ecosistema nuclear amplio y altamente desarrollado, lo que nos ha dado un perfil de exportador responsable de energía nuclear a distintos países en los distintos continentes”¹⁴.

En dicho marco cobran mayor relevancia las palabras de Pedre, quien en la entrevista previamente citada expresó que los avances y la concreción del CAREM, y sus posibilidades de exportación dependen fuertemente del apoyo financiero y presupuestario con que se cuenta, para lo cual se buscó trabajar en “el armado de las alianzas estratégicas, principalmente con los proveedores para acelerar los tiempos en la fabricación de los componentes” con la participación de empresas tanto nacionales como extranjeras. También remarcó que “aunque aún trabajamos en el *marketing* y los contratos con posibles clientes, estamos avanzados y recibimos interés mundial”. Un mayor progreso en este sentido lo constituyó la noticia de asociación entre la firma rionegrina Investigaciones Aplicadas (INVAP) y la CNEA para explorar en forma conjunta oportunidades de exportación del SMR CAREM (Instituto Balseiro, 2021).

¹³ Escenario Mundial (22/03/2024). “Argentina dice presente en la Primera Cumbre Mundial de Energía Nuclear y destaca su rol exportador en el sector”. Escenario Mundial. <https://www.escenariomundial.com/2024/03/22/argentina-dice-presente-en-la-primera-cumbre-mundial-de-energia-nuclear-y-destaca-su-rol-exportador-en-el-sector/>.

¹⁴ *Ídem*.

Ahora bien, a fines de abril de 2024 el sector nuclear denunció que el proyecto se encontraba en peligro debido a diversos factores como el despido de varios empleados, la prórroga del presupuesto 2022 a pesar de una inflación interanual de 280% y el congelamiento de los fondos de un fideicomiso que daba sustento a este tipo de obras (D'Imperio, 01/05/2024). Más adelante en el tiempo, en diciembre de 2024, se presentó el Plan Nuclear Argentino, el cual se propuso construir un SMR, desarrollar reservas de uranio, posicionar al país en la vanguardia energética mundial y atraer inversiones (Presidencia de la Nación, 20/12/2024)¹⁵. En el marco de este Plan, se paralizó el desarrollo previsto de la versión comercial del CAREM -por considerarse un “reactor de demostración”- y se decidió comenzar a explorar otros diseños conceptuales de SMR diferentes, que sean, en palabras del nuevo presidente de la CNEA, “comercialmente viables” (Deza, 2024)¹⁶.

Tras analizar las principales políticas del sector nuclear argentino a lo largo del tiempo, cabe preguntarse ahora ¿cómo se inserta este proyecto en la geopolítica de los SMR? *A priori* América Latina no pareciera ser una región central para el despliegue de la tecnodiplomacia nuclear de grandes potencias. Como hemos visto, sus iniciativas tienen como destino países africanos y asiáticos. Sin embargo, como se mencionó, Rusia tiene vínculos atómicos relevantes con Bolivia, y de manera reciente, con Brasil. Por su parte, Estados Unidos se mostró interesado en el proyecto CAREM. Si bien nunca existió confirmación oficial, funcionarios del sector nuclear argentino confesaron que enviados norteamericanos advirtieron sobre la creciente influencia china en el sector atómico nacional, y pidieron por un lado cancelar el contrato con China para la construcción de una cuarta central nuclear, y por otro, participación en el proyecto de SMR del país (Acosta y Vera, 2023).

El gobierno de J. Milei exacerbó esta puja entre grandes potencias a partir de su claro (y extremo) alineamiento con Occidente. En el sector nuclear terminó por frenar el acuerdo con China por Atucha III, y en opinión de algunos, canceló implícitamente el proyecto CAREM para evitar competir con los SMR de los aliados occidentales (Kempf, 2024). Y aunque no haya registro explícito de tales objetivos, la política de desguace del sector ciertamente es indicativa, como mínimo, de su baja relevancia para la actual administración.

¹⁵ Presidencia de la Nación 20/12/2024. “El presidente Javier Milei al anunciar el Plan Nuclear Argentino: “La energía nuclear tendrá su retorno triunfal”. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/el-presidente-javier-milei-al-anunciar-el-plan-nuclear-argentino-la-energia-nuclear-tendra>.

¹⁶ Deza, N. (30/12/2024). “La CNEA descarta el proyecto CAREM y explora otros diseños de reactores modulares pequeños”. Econojournal. <https://econojournal.com.ar/2024/12/la-cnea-descarta-el-proyecto-carem/>.

Sin embargo, como comenta Balbo (2024), la energía nuclear parecería estar “*bullish*”, y sería poco conveniente que Argentina perdiera el tren debido a disputas y fluctuaciones políticas domésticas. En este sentido, si la principal duda de los funcionarios del gobierno actual (con su política de recorte brutal de gasto público) gira en torno a la consecución de fondos, el diseño de una buena estrategia tecnodiplomática se torna fundamental. Ésta debería estar orientada a generar alianzas que garanticen el financiamiento faltante para terminar la construcción del CAREM, que le permitan a Argentina incidir en decisiones en torno a los estándares vinculados al diseño de SMR, y que además le asegure al país la apertura de nuevos mercados.

En este punto, la casi irrelevancia latinoamericana en la geopolítica de los SMR se convierte en un activo. Si la región no es prioridad de las grandes potencias, Argentina tiene la oportunidad de desplegar una estrategia de tecnodiplomacia nuclear que genere las alianzas necesarias para conseguir financiamiento y eventuales mercados para sus productos, mientras las grandes potencias atómicas se disputan África y Asia en su afán por expandirse o contenerse. Aquí, el vínculo histórico con Brasil podría ser fundamental, como argumentamos en un escrito anterior (Acosta y Vera, 2023). Asimismo, es relevante no dejarse llevar por el canto de las sirenas propio del nuevo *boom* de los recursos naturales: Argentina está bien posicionada para satisfacer tal demanda de los mercados desarrollados, pero esto podría convertirse en un incentivo para abandonar inversiones científico-tecnológicas más costosas, con ganancias menos inmediatas y con resultados a largo plazo, entre las cuales se podría contar el CAREM.

Por otra parte, una estrategia tecnodiplomática adecuada podría servirse también de las propias pujas de poder entre las grandes potencias, trazando un camino de equidistancia o no alineamiento y buscando la generación de coaliciones en sectores y temas que convengan con cada actor. En este aspecto la tecnodiplomacia nuclear se torna central para aprovechar los avances e innovaciones del CAREM para posicionar al país como un *standard-maker*, es decir, para permitir que Argentina tenga voz en el establecimiento de estándares internacionales que más tarde jueguen a favor del posible escalamiento productivo.

Por último, así como Argentina supo valerse de sus alianzas con países periféricos como los pertenecientes al Movimiento de los No Alineados para abrir mercados para sus productos nucleares en África y Asia, también podría convertirse en proveedor confiable de SMR en la

región, ya que un vínculo comercial con el país no supondría sumir a sus vecinos latinoamericanos en los dilemas de la puja de poder global más amplia.

El sector nuclear argentino ha sabido sortear obstáculos muy relevantes a lo largo de su historia, y ha mostrado ser fundamental en la superación de antiguas rivalidades como sucedió con Brasil. El gobierno actual podría tomar una lección o dos de su habilidad, que lo ha sostenido a lo largo del tiempo. Sin embargo, para que ello ocurra Argentina debería evitar caer en la fábula de “La lechera y el cántaro” y no contar sus ganancias antes de concretadas.

Conclusiones

A lo largo del artículo se buscó resaltar la gran vinculación entre CyT y relaciones internacionales a partir del análisis de la actual geopolítica de los SMR en el contexto de una doble transición: la energética y la de poder. Así, se puso en evidencia no sólo cómo la CyT se ha convertido en un activo de “alta política”, sino también cómo subyace a las dinámicas de redistribución de poder y reconfiguración o refuerzo de alianzas a través de estrategias tecnodiplomáticas altamente sofisticadas.

En concreto, el análisis de la geopolítica de los SMR permitió poner en evidencia en primer lugar, que grandes potencias y países emergentes como Estados Unidos, Francia, Gran Bretaña, Rusia y China están apostando por hacer revivir sus sectores nucleares tanto para hacer frente a los desafíos climáticos como para no perder la carrera tecnológica; y en segundo término, que están diseñando estrategias tecnodiplomáticas para abrir mercados y generar alianzas en sus intentos por limitar la expansión de sus rivales y nutrir sus sectores industriales y científico-tecnológicos.

Ahora bien, como toda revolución basada en innovaciones tecnológicas, la transición energética tiene el potencial de determinar nuevos ganadores y perdedores, reforzar jerarquías y moldear una nueva división internacional del trabajo donde las periferias sigan destinadas a exportar recursos naturales e importar productos tecnológicos. Pero también pueden presentar una ventana de oportunidad para que dichas regiones se inserten en eslabones más estratégicos de las cadenas globales de valor, que incentiven la producción de insumos de mayor valor agregado.

En dicho contexto, Argentina cuenta con una ventaja casi excepcional en la historia: la de haber sido uno de los primeros países -si no el primero- en poner sobre la mesa el diseño de

un SMR. Cuarenta años después de su presentación oficial en una Conferencia de la OIEA, el CAREM sigue siendo un proyecto inconcluso que sufre marchas y contramarchas derivadas de las pujas políticas, de las distintas concepciones en torno al desarrollo nacional y de los vaivenes económicos del país. Este contexto plantea dos posibles caminos para el país: insertarse en los eslabones primarios de la transición energética, profundizando su rol de proveedor de recursos primarios y energía barata, o aprovechar las capacidades científicas y tecnológicas acumuladas por más de siete décadas para intentar participar en eslabones más complejos de las cadenas globales de valor.

Argentina no debería perder esta oportunidad de subirse a la ola nuclear generada por la urgencia de la revolución verde, máxime cuando su prototipo de SMR podría ser fundamental para que al menos en este sector, el país recobre protagonismo. A falta de apoyo financiero e institucional del actual gobierno libertario, la clave podría estar en la elaboración de una estrategia tecnodiplomática fuerte y orientada a la región, que sea equidistante de las potencias en pugna y que apunte también a participar de las discusiones globales sobre los estándares de producción y seguridad de estos reactores nucleares en auge. En eso el país históricamente ha sido un líder.

En este punto, cabe señalar que el estudio resulta un primer acercamiento global al contexto dinámico y cambiante de la disputa mundial en torno de los SMR, cuyas posibilidades tecnodiplomáticas para la Argentina podrían ser profundizadas y actualizadas en futuros trabajos, poniendo especial atención en los vínculos con los países de la región. Asimismo, sería interesante realizar un seguimiento de las políticas domésticas y las estrategias tecnodiplomáticas desarrolladas por el gobierno argentino asumido a fines de 2023. Por último, otro aspecto a indagar en próximas investigaciones refiere a la “apertura de la caja negra” de la configuración de las estrategias tecnodiplomáticas, tanto de las grandes potencias como de naciones de menor desarrollo relativo, analizando particularmente la incidencia del sector privado, ya sea para alentar sus propios intereses como para constituirse en “punta de lanza” de las estrategias geopolíticas y diplomáticas de los estados, aspecto poco explorado desde el concepto de la tecnodiplomacia.

Referencias

Acosta, C. y Vera, N, (2023) Cooperación nuclear argentino-brasileña en el contexto de puja hegemónica entre China y la Alianza Atlántica: ¿un camino posible a la autonomía? En López, M. P. (comp.). *Ciencia, tecnología y cooperación internacional en clave de desarrollo. Reflexiones sobre Argentina y América Latina* (pp. 165-208). CEIPIL – UNICEN.

Allison, G; Klyman, K.; Barbesino, K., y Yen, H. (2021). *The Great Tech Rivalry: China vs. the U.S. Avoiding Great Power War Project*. Belfer Center for Science and International School. Harvard Kennedy School.

Ayuso, S. (2024). “La primera cumbre mundial de energía nuclear reivindica en Bruselas su lugar junto a las renovables”. Diario El País. <https://elpais.com/economia/2024-03-21/la-primera-cumbre-mundial-de-energia-nuclear-reivindica-en-bruselas-su-lugar-junto-a-las-renovables.html>.

Balbo, G. (2024). La energía nuclear está bullish ¿perderemos el tren?. *Ámbito Financiero*. <https://www.ambito.com/energia/la-nuclear-estabullishperderemos-el-tren-n6000158>.

Bassets, M. y Fariza, I. (2023). “Francia y una veintena de países de la OCDE promueven una alianza para relanzar la nuclear”. Diario El País. <https://elpais.com/economia/2023-09-30/francia-y-una-veintena-de-paises-de-la-ocde-promueven-una-alianza-para-relanzar-la-nuclear.html>.

Buckup, S. y Canazza, M (2023 “What is tech diplomacy and why does it matter?”. *World Economic Forum*. Recuperado de <https://www.weforum.org/stories/2023/02/what-is-tech-diplomacy-experts-explain/>.

Burrows, M., Mueller-Kaler, J., Oksanen, K., & Piironen, O. (2022). Unpacking the geopolitics of technology. Atlantic Council. https://www.atlanticcouncil.org/wp-content/uploads/2021/12/GTC_Unpacking-the-Geopolitics-of-Technology.pdf.

Campanella, D. y Barberón, A. (2023). Lineamientos y acciones de la política exterior argentina en relación a la transición energética (2015-2023). NEIBA Cuadernos Argentina-Brasil (12), 1-32.

Chatzis, I. (2020). “Pequeños reactores, gran potencial”. Boletín del OIEA, 61(3), 16-17.

Departamento de Energía de Estados Unidos (2024), <https://www.energy.gov>

Departamento de Energía de Estados Unidos (2021) FIRST Program: Foundational Infrastructure for Responsible Use of SMR Technology. <https://www.smr-first-program.net/#:~:text=A%20key%20deliverable%20from%20President,safely%20and%20responsibly%20build%20a>.

Dewan, A., Nielsen, E. y Robinson, L. (2024). La tecnología de los reactores de nueva generación podría impulsar un renacimiento nuclear, y EEUU apuesta por ella. CNN en Español. <https://cnnespanol.cnn.com/2024/02/01/tecnologia-reactores-nueva-generacion-renacimiento-nuclear-trax/#0>.

Dietz, K. (2023). “¿Transición energética en Europa, extractivismo verde en América Latina?”. *Nueva Sociedad*, (306), 108-120.

D’Imperio, J. (01/05/2024). “El gobierno cortó el presupuesto para la construcción de la central nuclear CAREM y peligra el trabajo de 570 empleados”. Diario Perfil. 01 de mayo de 2024. <https://www.perfil.com/noticias/politica/el-gobierno-corto-el-presupuesto-para-la-construccion-de-la-central-nuclear-carem-y-570-empleados-quedaron-sin-trabajo.phtml>

Embajada de Estados Unidos en Corea (2024). South, Central and East Asia First Regional Conference on Advancing the Safe and Secure Deployment of SMRs (12/06/2024). <https://kr.usembassy.gov/061224-south-central-and-east-asia-first-regional-conference-on-advancing-the-safe-and-secure-deployment-of-small-modular-reactors/>.

Embajada de Estados Unidos en Japón (2024). US and Japan partner for Nuclear Energy Stakeholder Engagement Study Tour under the FIRST Program (07/06/2024). [https://jp.usembassy.gov/us-japan-partner-for-nuclear-study-tour-under-first/#:~:text=The%20FIRST%20program%20is%20a,SMR\)%20technology%20in%20their%20nuclear](https://jp.usembassy.gov/us-japan-partner-for-nuclear-study-tour-under-first/#:~:text=The%20FIRST%20program%20is%20a,SMR)%20technology%20in%20their%20nuclear).

Embajada de Estados Unidos en Kazajistán (2024). The United States and Kazakhstan Expand FIRST Partnership Through a Workshop on Stakeholder Engagement on SMR Technology in Astana (12/04/2024). <https://kz.usembassy.gov/the-united-states-and-kazakhstan-expand-first-partnership-through-a-workshop-on-stakeholder-engagement-on-smr-technology-in-astana/>.

ERIA Study Team (2022). “Status of Small Modular Reactor Development and Deployment in the World”. En Tomoko M. & Venkatachalam A., *Small Modular Reactor (SMR) Deployment: Advantages and Opportunities for ASEAN* (pp. 3-37). ERIA Research Project Report FY2022.

Fernández, J. (2024). EEUU prepara su ofensiva para acabar con la dominación de Rusia en el mercado global de energía nuclear”. *El Economista*. <https://www.eleconomista.es/energia/noticias/12637907/01/24/eeuu-prepara-ofensiva-para-acabar-con-la-dominacion-de-rusia-en-el-mercado-global-de-energia-nuclear.html>.

Francis, S. y Beils, D. (2024). “NUWARD SMR safety approach and licensing objectives for international deployment”. *Nuclear Engineering and Technology*, (56), 1029-1036.

Frenkel, A. (2023). “La cumbre UE-Celac: ¿un acercamiento sin acuerdos?”. *Nueva Sociedad*. <https://nuso.org/articulo/ue-celac/>.

Guglielminotti, C., Vera, N. y Piñero, F. (2022). Instrumentos, instituciones, actores y desafíos de la gobernanza nuclear internacional: entre los esfuerzos de no proliferación y

las promesas incumplidas del desarme. En Vera, N. (comp.). *Ciencia, tecnología y política exterior. Reflexiones desde y para la (semi)periferia* (pp.: 46 – 99). CEIPIL – UNICEN.

Hesketh, K. W. y Barron, N. J. (2021). “Small modular reactors (SMRs): The case of the United Kingdom”. En Ingersoll, Daniel T. y Carelli, Mario D. (Eds.), *Handbook of Small Modular Nuclear Reactors* (pp. 503-520). Elsevier.

Hurtado, D. (2024). “El día que apagaron la luz.” Revista Anfibia. <https://www.revistaanfibia.com/reactor-nuclear-carem-el-dia-que-apagaron-la-luz/>

Instituto Balseiro (2021). “Coloquios IB - Conversatorio AEIB - CAREM 25” [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=Y2saaHEk6hQ>

Hurtado, D. y Souza, P. (2018). “Goeconomic Uses of Global Warming: The ‘Green’ technological revolution and the role of the Semi-periphery. *Journal of World Systems Research*, 24(1), 123-150.

Infobae (14/7/2021). “China pondrá en funcionamiento un pequeño reactor nuclear”. *Infobae*. <https://www.infobae.com/america/agencias/2021/07/14/china-pondra-en-funcionamiento-un-pequeno-reactor-nuclear/>

Jawerth, N. (2020). “¿Qué es la transición a una energía limpia y cómo encaja la energía nucleoelectrónica?”. *Boletín del OIEA*, 61(3), 4-5.

Kempf, R. (2024). Milei: una política nuclear coherente con la OTAN. Canal Abierto. <https://canalabierto.com.ar/2024/05/24/milei-una-politica-nuclear-coherente-con-la-otan/>.

Kuznetsov, V. (2021). “Small modular reactors (SMRs): The case of Russia”. En Ingersoll, Daniel T. y Carelli, Mario D. (Eds.), *Handbook of Small Modular Nuclear Reactors* (pp. 467-501). Elsevier.

Lander, E. (2023). “La transición energética corporativa-colonial”. En García Parra, G. I. et al., *Transiciones justas. Una agenda de cambios para América Latina y el Caribe* (pp. 13-34). CLACSO y OXFAM.

Lieber, K. y Press, D. (2023) “The return of nuclear escalation. How American adversaries have hijacked its old deterrence strategy”. *Foreign Affairs*. <https://www.foreignaffairs.com/united-states/return-nuclear-escalation>

López, J. C. (2024). “Francia lleva años siendo el último país que cree en la nuclear. Y ya tiene fecha para su primer reactor SMR”. *Xataka Energía*. <https://www.xataka.com/energia/francia-lleva-anos-siendo-ultimo-pais-que-cree-nuclear-tiene-fecha-para-su-primer-reactor-smr-1>

Luongo, K. (2021). “A small first step. Partnership for Global Security”. Partnership for global security. <https://partnershipforglobalsecurity.org/a-small-first-step/>.

Merke, F. (2022). *Geopolítica, globalización y cambio climático. La Argentina frente a un mundo en disrupción*. Fundación ICBC.

<https://www.fundacionicbc.com.ar/download.php?path=administracion/uploads/file/publicaciones/2022/geopolitica-globalizacion-y-cambio-climatico-f-merke.pdf>

Merkulov, V., Didenko, N., Skripnuk, D. y Kulik, S. (2023). “Analysis of small modular reactor technologies and socio-economic aspects of their application in the Russian Arctic in the era of digital transformation”. *E3S Web of Conferences*, (402), 1-13.

Myers, M., Melguizo, A., y Wang, Y. (2024). “Nueva Infraestructura. Tendencias emergentes de la inversión extranjera directa de China en América Latina y el Caribe”. El Diálogo. Reporte China-ALC.

National Science Foundation (2022). About NSF. <https://beta.nsf.gov/about>.

National Energy Agency (2023). *The NEA Small Modular Reactor Dashboard*. OCDE.

Nicolau, G (2024). *Generation IV and SMR nuclear reactors as future energy sources*. Tesis de Maestría en Sistemas de Energía. University of Gävle.

OIEA (2024). Un punto de inflexión: concluye la primera edición de la Cumbre sobre

Energía Nuclear en Bruselas. OIEA (2024). <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/un-punto-de-inflexion-concluye-la-primer-edicion-de-la-cumbre-sobre-energia-nuclear-en-bruselas>.

OIEA (2024). “Reactores modulares pequeños”. <https://www.iaea.org/es/temas/reactores-modulares-pequenos>.

Ortúzar, F. (2024). “Cartografía política gubernamental sobre la energía nuclear en el mundo”. *Observador del Conocimiento*, 9(1), 88-98.

Roca, J. (2022). “¿Una nueva era dorada para la energía nuclear en Reino Unido?”. *El Periódico de la Energía*. <https://elperiodicodelaenergia.com/una-nueva-era-dorada-para-la-energia-nuclear-en-reino-unido/>

Roca, R. (2023). “EEUU y Francia se unen para acelerar el desarrollo de los pequeños reactores nucleares SMR”. *El Periódico de la Energía*. <https://elperiodicodelaenergia.com/eeuu-y-francia-se-unen-para-acelerar-el-desarrollo-de-los-pequenos-reactores-nucleares-smr/>

Roca, R. (2024). “La nueva revolución en los pequeños reactores nucleares: consiguen en un sólo día soldar la vasija de un SMR cuando antes se tardaba un año”. *El Periódico de la Energía*. <https://elperiodicodelaenergia.com/la-nueva-revolucion-en-los-pequenos-reactores-nucleares-tardan-un-solo-dia-en-soldar-la-vasija-de-un-smr-cuando-antes-se-tardaba-un-ano/>

Saunders, P. (2024) Restoring America’s Nuclear Energy Leadership and Exports. Energy Innovation Reform Project. <https://innovationreform.org/restoring-americas-nuclear-energy-leadership-and-exports/>

Song, D. (2021). “Small modular reactors (SMRs): The case of China”. En Ingersoll, Daniel T. y Carelli, Mario D. (Eds.), *Handbook of Small Modular Nuclear Reactors* (pp. 395-408). Elsevier.

Stevanka, K. y Chvala, O. (2024). “Deployment of small modular reactors in the European Union”. *Nuclear Science and Technology Open Research*, 2(24), 1-21.

Thiébaud, E. (2022). “Carrera nuclear en Medio Oriente”, *El Dipló Edición Cono Sur*, (280), 1-7.

United Nations Climate Change (2023). “El acuerdo de la COP28 señala el ‘principio del fin’ de la era de los combustibles fósiles”. UNCC. <https://unfccc.int/es/news/el-acuerdo-de-la-cop28-senala-el-principio-del-fin-de-la-era-de-los-combustibles-fosiles>

Vera, N. (2020). Tecnodiplomacia, o cuando la ciencia y la tecnología se convierten en herramientas de paz: el caso de la cooperación nuclear entre Argentina y Brasil en el siglo XX. En *Mural Internacional* 11. E46364.

Vera, N. (2024) Diplomacia nuclear argentina para la Paz: 40 años de trabajo por el desarme, la cooperación y la democratización del desarrollo pacífico de energía atómica. en Deciancio, M. y Laudonia, F. (coords.). *Anuario Asociación de Estudios de Relaciones Internacionales de Argentina. 40 aniversario del regreso de la democracia en Argentina* (pp: 157-169). AERIA.

Zappino, J. S. (2023a). Capacitar e investigar para fortalecer las capacidades estatales: Ingeniería y desarrollo en el sector nuclear. CUIINAP Argentina, 4, Cuadernos del INAP. El CAREM-25: Primer reactor nuclear de potencia íntegramente argentino.

Zappino, J. (2023b) “La historia del reactor Carem-25: un paso adelante para el sector nuclear argentino.” Página 12, 10 de septiembre de 2023. <https://www.pagina12.com.ar/585909-la-historia-del-reactor-carem-25-un-paso-adelante-para-el-se>

Zhan, L.; Bo, Y.; Lin, T. y Fan, Z. (2021). “Development and outlook of advanced nuclear energy technology”. *Energy Strategy Reviews*, (34), 1-4.