

Ventanas de oportunidad y capacidades tecnológicas: procesos de *catching-up* en el sector eólico argentino (2000–2024)

Windows of Opportunity and Technological Capabilities: Catching-Up Processes in Argentina's Wind Sector (2000–2024)

Regina Vidosa*
María Eugenia Castelao Caruana**
Carolina Pasciaroni***

Recibido: 02/09/2025 | Aceptado: 25/09/2025

Resumen

En contextos semiperiféricos, el componente productivo de la transición energética se decide en la articulación entre capacidades acumuladas, mecanismos de aprendizaje y regímenes de gobernanza de las cadenas globales, que condicionan el aprovechamiento de ventanas de oportunidad en marcos institucionales inestables. Sobre esta base, el artículo analiza el *catching-up* tecnológico de la industria eólica argentina (2000–2024) mediante un estudio de caso sectorial que combina fuentes secundarias y entrevistas semiestructuradas. Se identifican tres procesos: (i) diseño y fabricación de aerogeneradores por firmas locales, limitados por la desincronización con el ciclo global y por políticas intermitentes; (ii) inserción en componentes de menor complejidad apalancada por *joint ventures* y por RenovAr/MATER, condicionada por la volatilidad de la demanda y la coordinación de los tecnólogos; y (iii) digitalización de la O&M, con desarrollos basados en datos que abren oportunidades selectivas. Asimismo, se relevan capacidades latentes y aprendizajes transferibles.

Los resultados subrayan el papel del Estado en la creación de demanda y en el fortalecimiento de la oferta tecnológica, y la necesidad de continuidad y anticipación para identificar y aprovechar ventanas en fases tempranas. También se reconoce la incidencia de factores exógenos y la dependencia de trayectoria: la efectividad de las ventanas está mediada por capacidades tecnológicas y no tecnológicas acumuladas y por la gobernanza contractual. En conjunto, el caso aporta elementos para pensar el componente productivo de un modelo de transición energética sostenible en países semiperiféricos, al mostrar cómo la interacción entre ventanas, aprendizaje y gobernanza condiciona los procesos de *catching-up*.

Palabras claves: transición energética, ventanas de oportunidad verdes, catching-up tecnológico, industria eólica, países semiperiféricos

* Argentina, Centro de Estudios Urbanos y Regionales, CONICET; Doctora en Ciencias Sociales; rvidosa@conicet.gov.ar.

** Argentina, Fundación Bariloche - CONICET; Doctora en Economía; eugeniacastelao@conicet.gov.ar.

*** Argentina, Departamento de Economía, Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur, Universidad Nacional del Sur, CONICET; Doctora en Economía; carolina.pasciaroni@uns.edu.ar.

Abstract

In semiperipheral contexts, the productive pillar of the energy transition hinges on how accumulated capabilities, learning mechanisms, and the governance of global value chains articulate, shaping the use of windows of opportunity within unstable institutional settings. Building on this premise, the article analyzes technological catching-up in Argentina's wind sector (2000–2024) through a sectoral case study that combines secondary sources with semi-structured interviews. Three waves emerge: (i) local design and manufacturing of turbines, constrained by misalignment with the global cycle and intermittent policies; (ii) entry into lower-complexity components leveraged by joint ventures and RenovAr/MATER, yet conditioned by demand volatility and OEM coordination; and (iii) O&M digitalization, with data-driven developments opening selective opportunities. The study also identifies latent capabilities and transferable learning.

Findings underscore the state's role in creating demand and strengthening technology supply, and the need for policy continuity and anticipation to identify and seize early-phase windows. Exogenous factors and path dependence also matter: the effectiveness of windows is mediated by accumulated technological and non-technological capabilities and by contractual governance. Overall, the case contributes to thinking the productive pillar of a sustainable energy transition model in semiperipheral countries, showing how the interplay among windows, learning, and governance conditions technological catching-up trajectories

Keywords: energy transition, green windows of opportunity, technological catching-up, wind industry, semi peripheral countries.

Claves conceptuales para una transición energética productiva

La transición energética constituye un cambio estructural de alcance global, impulsado principalmente por países desarrollados, que pone en tensión el trilema de las estrategias nacionales: seguridad energética, equidad en el acceso y sostenibilidad ambiental (World Energy Council, 2021; FARN, 2021). En economías semiperiféricas, además, adquiere centralidad una cuarta dimensión: la consolidación de capacidades tecnológicas-industriales como base de la sostenibilidad productiva, pero también de seguridad energética de largo plazo, incluida la posibilidad de acceder, adaptar y mejorar tecnologías sin condicionamientos externos. Por ello, un modelo de transición energética sostenible no puede definirse solo desde la demanda y el costo de la energía, sino que debe incorporar la dinámica de la oferta tecnológica y del entramado productivo, leer las ventanas de oportunidad “verdes” a la luz de trayectorias de capacidades y los marcos institucionales, y considerar la gobernanza de las cadenas globales que modula el aprendizaje y la captura de valor.

La construcción de capacidades para la generación y el uso de energías renovables (ER) presenta desafíos complejos. Aunque son esenciales para mitigar el cambio climático y se conciben como bienes públicos globales, su carácter no excluyente y su heterogeneidad dificultan la generación de sinergias tecnológicas que aceleren el avance (Lema & Pérez, 2024). A diferencia de otros sectores emergentes donde los mecanismos de mercado coordinan la trayectoria tecnológica (Lema & Rabellotti, 2023), las tecnologías asociadas

a las ER están inicialmente moldeadas por decisiones sociopolíticas e institucionales que preceden y encauzan los desarrollos técnicos (Lema & Pérez, 2024). En consecuencia, más que inaugurar un nuevo paradigma tecno-económico, la transformación “verde” opera como direccionalidad capaz de reorientar y profundizar el paradigma vigente.

Para los países semiperiféricos, la adopción de compromisos internacionales en transición energética plantea desafíos significativos en inversión pública, planificación y competitividad. Superarlos y convertirlos en oportunidades requiere activar estrategias de *catching-up* tecnológico: procesos de aprendizaje que, en interacción con sistemas de innovación (nacionales, sectoriales y regionales), construyan capacidades tecnológicas y organizacionales que habiliten innovaciones y reduzcan brechas con los países centrales. Al mismo tiempo, implica leer y temporizar las ventanas de oportunidad que abre el ciclo tecnológico global para ingresar o reposicionarse en industrias de producción y uso de ER. Se trata de un proceso evolutivo, inherentemente incierto y cambiante, condicionado por factores multiescalares (Pérez, 2001): las ventanas delinean coyunturas favorables pero acotadas —y de intensidad variable— para aprender e ingresar como imitadores avanzados o innovadores en nuevos mercados de productos o procesos (Pérez & Soete, 1988).

Así, las ventanas de oportunidad verdes (Lema & Pérez, 2024) emergen de cambios endógenos en el marco institucional y la estrategia pública nacional, modulados por la dinámica de los mercados (interno y externo) y por la madurez tecnológica global (Lema y Rabellotti, 2023). En industrias basadas en recursos naturales, la disponibilidad y especificidad de esos recursos también inciden (Andersen & Wicken, 2021). Estas condiciones interactúan con la organización de las cadenas globales de valor, las estrategias de innovación de las multinacionales y los acuerdos ambientales internacionales (Katz & Pietrobelli, 2018; Katz, 2020), configurando entornos multiescalares que condicionan el alcance, la temporalidad y los procesos de aprendizaje de las firmas, así como su capacidad de captura local de valor.

Aunque la estabilidad macroeconómica favorece el *catching-up*, en contextos volátiles como el argentino, algunas firmas han logrado acortar brechas mediante estrategias de largo plazo y fortalecimiento de capacidades (Papa & Hobday, 2024). El avance en cada ventana de oportunidad verde es dependiente de la trayectoria: exige logros previos, una lectura adecuada de la oportunidad y del paradigma tecno-económico, y -siguiendo a Pérez (2001)- el diseño de estrategias que contemplen los intereses de los actores dominantes. Si bien el *catching-up* suele emerger en las fases tempranas de los nuevos paradigmas (Pérez, 2001), también puede consolidarse en trayectorias maduras o revitalizadas (Lema & Pérez, 2024), cuando emergen complementariedades entre las tecnologías asociadas a la ER y las bases de conocimiento preexistentes y esto abre nuevas modalidades de aprendizaje y captura de valor.

A continuación, analizamos la relación entre las ventanas de oportunidad verdes y los procesos de *catching-up* en el sector eólico argentino (2000–2024), considerando las condiciones multiescalares que las configuran, con especial énfasis en el marco institucional nacional y en la evolución del ciclo industrial y tecnológico global. Sobre esta base, el trabajo propone tres proposiciones: (i) los modelos de transición energética de los países semiperiféricos deben diseñarse atendiendo no solo a los requerimientos energéticos y

a los costos de generación, sino también a la dinámica de la oferta tecnológica asociada a las ER y a su incidencia en el entramado productivo nacional, a fin de asegurar tanto la sostenibilidad ambiental y productiva como la seguridad energética; (ii) la adopción tecnológica abre ventanas de oportunidad verdes para el aprendizaje, de intensidad y alcance variables según la gobernanza de la cadena global y factores internos (capacidades acumuladas, demanda, políticas de CTI, estabilidad macroeconómica); y (iii) aprovechar esas ventanas y convertirlas en trayectorias sostenibles exige alinear las políticas de energía, industria y CTI y desplegar estrategias de inserción que fortalezcan capacidades locales.

Metodología

Esta investigación adopta un estudio de caso sectorial para examinar cómo se configuran los procesos de *catching-up* tecnológico en el sector eólico argentino a lo largo de los años 2000–2024 y cómo interactúan con el marco institucional nacional y con el ciclo industrial y tecnológico global. En este marco, se analizan el marco regulatorio y las políticas públicas orientadas al sector, junto con la organización de la cadena global de valor eólica y su trayectoria tecnológica. Asimismo, se explora la configuración de seis procesos de aprendizaje tecnológico —algunos incompletos y otros con proyección internacional— encarados por empresas de capital nacional para participar en distintos eslabones de la cadena de valor durante el período bajo análisis.

El enfoque metodológico es mixto y combina la recopilación de datos secundarios con entrevistas semiestructuradas a informantes clave del sector eólico, incluyendo personal de las empresas mencionadas. Las entrevistas se realizaron entre marzo de 2024 y abril de 2025 y se seleccionaron mediante muestreo por bola de nieve, iniciado a partir de la revisión de bibliografía especializada y la recomendación de una firma pionera —IMPSA—, estrategia que facilitó el acceso a informantes de difícil identificación inicial, en particular a aquellas empresas que habían encarado procesos de aprendizaje relevantes para los objetivos del estudio. Para completar el mapa sectorial, se diversificaron las fuentes iniciales de contacto y la información obtenida en entrevistas se trianguló con evidencia documental. El análisis de los datos se llevó a cabo mediante codificación temática con el fin de identificar patrones que vinculan las ventanas de oportunidad verdes, el ciclo tecnológico, los procesos de aprendizaje de estas empresas y sus resultados en materia de diversificación productiva (Braun & Clarke, 2006).

Resultado y análisis del caso eólico argentino

Ciclo industrial- tecnológico del sector eólico

El sector eólico surgió en la década de 1970, impulsado por la demanda y por políticas industriales y de I+D en países como Dinamarca, los Países Bajos, Alemania y Estados Unidos. Hacia fines de los 90, el diseño danés se consolidó como dominante, lo que aceleró la competencia mediante la internacionalización tecnológica y la optimización de diseños y procesos (Gipe & Möllerström, 2023). En los inicios prevaleció la integración vertical en la fabricación de turbinas eólicas, respaldada por el crecimiento orgánico

de empresas establecidas y por procesos de fusiones y adquisiciones que concentraron la oferta (Jacobsson & Johnson, 2000). La difusión global, además, expuso los equipos a condiciones ambientales diversas y forzó mejoras adaptativas para lidiar con la heterogeneidad geográfica y meteorológica.

La internacionalización de los grandes fabricantes de aerogeneradores (“tecnólogos”) -como Vestas, Nordex, General Electric (hoy GE Vernova) y Gamesa (hoy Siemens Gamesa)- transformó la organización geográfica y el modelo de negocio del sector (Gipe & Möllerström, 2023). Muchos países emergentes adoptaron políticas de apoyo a la fabricación local y promovieron centros de producción regionales para reducir costos logísticos y atender mercados cercanos. Mientras que la producción de torres se subcontrató típicamente por sus altos costos de transporte y baja complejidad relativa, la fabricación de palas —también costosa de transportar— demandó capacidades avanzadas y alta especialización. Los tecnólogos líderes produjeron internamente los componentes de góndola o se abastecieron de un núcleo reducido de proveedores altamente calificados (Larsen & Hansen, 2020). En países como India y China, emergieron nuevos tecnólogos que capitalizaron mercados internos dinámicos con aprendizaje externo vía adquisiciones, I+D en Europa y *joint ventures* (Lacal-Arántegui, 2019). Aunque su expansión internacional sigue siendo limitada, empresas chinas como Goldwind, Envision, Windey y Mingyang figuran entre los 10 mayores tecnólogos globales y, para 2023, habían triplicado su presencia internacional (BloombergNEF, 2024).

A escala global, las tecnologías eólicas alcanzaron su madurez en la década de 2000; sin embargo, el proceso innovador se mantuvo activo, con un desplazamiento del foco desde los sistemas centrales hacia un abanico más amplio de subsistemas y componentes (Huenteler et al., 2016). En términos de ciclo de vida tecnológico, la eólica se ubica hoy en una fase de cambio incremental (Huenteler et al., 2016; Kalthaus, 2020; Madvar et al., 2019), caracterizada por la combinación de innovaciones de producto y de proceso, predominando estas últimas, con mejoras constantes en la calidad y reducciones sostenidas de costos.

En su evolución, el sector primero priorizó turbinas más grandes y altas para optimizar la captación de viento y reducir costos; luego avanzó desde parques terrestres hacia parques *offshore*, buscando vientos más intensos y mitigando restricciones de suelo en Europa. En paralelo, se desarrollaron tecnologías para mejorar la confiabilidad, lo que elevó la producción y extendió la vida útil de los equipos, contribuyendo a la baja del costo de la electricidad. Más recientemente, se han introducido nuevos diseños orientados a la simplicidad y menor mantenimiento, aunque con mayores costos de fabricación y dependencia de tierras raras y minerales estratégicos (Urban et al., 2015).

En 2025, la eólica *onshore* se ubica en una fase de difusión avanzada con innovación incremental: 2024 registró un récord histórico de 117 GW añadidos a escala global, consolidando un patrón de optimización de producto y proceso más que de rupturas tecnológicas (GWEC, 2025a). La ventaja de costos refuerza esa madurez: el LCOE promedio mundial de la eólica terrestre en 2024 fue de USD 0,034/kWh, cerca de 53 % por debajo de la opción fósil más barata (IRENA, 2025). Al mismo tiempo, la eólica *offshore* de base fija transita una fase de crecimiento tardío hacia la madurez, con expansión dinámica pero condicionada por cuellos de botella regulatorios, de permisos y de red; el

acervo global alcanzó unos 83 GW a fines de 2024 (GWEC, 2025b). En contraste, la eólica *offshore* flotante permanece en etapa temprana, con unos 278 MW operativos al cierre de 2024, aunque los reportes prevén su salto a escala comercial durante la próxima década (GWEC, 2025b).

Marco institucional y política pública

A fines de la década del 90, Argentina implementó un programa para promover la generación eléctrica a partir de fuentes renovables, lo que impulsó la instalación de algunos parques eólicos con tecnología mayormente europea. Sin embargo, los beneficios de este programa se diluyeron tras la crisis y la salida del régimen de convertibilidad en 2001. Además, esas tecnologías no resultaron adecuadas para las condiciones de velocidad y turbulencia de los vientos patagónicos, lo que evidenció desajustes tecnológicos y de sitio.

En 2009, el gobierno nacional retomó la promoción de la energía eólica mediante el programa GENREN, gestionado por ENARSA en el marco de la ley 26.190/2006. El programa licitó contratos de suministro eléctrico renovable e incorporó incentivos para el desarrollo de parques eólicos con equipos y componentes de producción local. Aun cuando se licitaron 500 MW, se recibieron ofertas por 1000 MW y se aprobaron 754 MW; su impacto fue limitado. A principios de 2018, sólo se habían completado dos parques eólicos (130 MW), mientras que diez proyectos (445 MW) iniciaron obras que luego se interrumpieron, principalmente por la inestabilidad macroeconómica y las dificultades de acceso a financiamiento internacional.

La Ley Nacional 27.191/2016 reimpulsó la demanda de energía eólica al fijar como meta que el 20% del consumo de electricidad proviniera de fuentes renovables en 2025, e instrumentó dos herramientas: el programa RenovAr y el Mercado a Término de Energías Renovables (MATER). El RenovAr, esquema de licitaciones nacionales de contratos de suministro, ofreció beneficios fiscales asociados a contenido nacional conforme a la ley. Entre 2016 y 2019 se realizaron tres rondas que adjudicaron 185 proyectos por 4.725 MW (con 44 parques eólicos que concentraron el 55 % de la potencia adjudicada), de los cuales 25 se encuentran operativos. Por su parte, el MATER, también regulado por la Ley 27.191, establece un mercado de contratos entre grandes usuarios ($\text{consumo} \geq 300 \text{ kW}$) y generadores renovables del Mercado Eléctrico Mayorista; en ese ámbito, la oferta eólica alcanza 1.725 MW sobre un total de 2.333 MW, con un factor de uso del 41 %.

En 2023, cinco años después de la última licitación de RenovAr, se lanzó el RenMDI, orientado a ampliar la generación renovable y el almacenamiento. Se adjudicaron 633 MW en 98 proyectos; no obstante, a diferencia de RenovAr, estos no cuentan con prioridad de despacho ni con las garantías del Fondo para el Desarrollo de Energías Renovables (FODER). Dada la localización de los nodos disponibles para conexión, la participación eólica se limitó a un proyecto de 10 MW que incluye almacenamiento.

En conjunto, este marco institucional priorizó la expansión de la oferta de ER en un contexto macroeconómico complejo y de escasez energética, pero no colocó en el centro el desarrollo tecnológico doméstico ni la articulación de encadenamientos productivos locales (Aggio et al., 2018). Asimismo, la saturación de la capacidad de

transmisión devino en el principal cuello de botella para la expansión del mercado, pues la capacidad disponible fue en gran parte absorbida por generadores con acuerdos privados en el MATER. La ausencia de un marco sostenido e integrado entre políticas energéticas, industriales y de CyT aparece, así, como un factor limitante del desarrollo tecnológico y del aprovechamiento de las oportunidades que ofrece la energía eólica en Argentina (Strubin & Cretini, 2023). Esta restricción se combina con la escala local insuficiente y la alta concentración del mercado global. Aun así, como muestra este estudio, es posible identificar procesos de acumulación de capacidades a nivel local.

Trayectorias de aprendizaje y procesos de catching-up

Para explicar los procesos de aprendizaje de las empresas analizadas es necesario atender tanto a los recursos internos movilizados por cada firma como a las condiciones externas que inciden en la creación y difusión de conocimiento. Estas condiciones se manifiestan en la interacción local entre empresas y proveedores, en normas y políticas de alcance nacional y en las estrategias de las multinacionales que coordinan la cadena. Algunas de ellas delinearon las ventanas de oportunidad que activaron procesos de *catching-up* —en su mayoría incompletos— en el sector eólico argentino. Dado que estos procesos ocurrieron en etapas distintas del ciclo tecnológico e industrial global, se orientaron a eslabones diferentes de la cadena de valor y desplegaron dinámicas de aprendizaje heterogéneas.

El primer proceso local se focalizó en el diseño y la fabricación de aerogeneradores, en un contexto internacional signado por la consolidación tecnológica a mediados de los 90 y la internacionalización de las principales empresas del sector. A escala doméstica, la ventana se vio reforzada por la especificidad de los vientos patagónicos —ya evidenciada en mediciones de INVAP en la década del 80— y por los resultados subóptimos de los primeros parques con tecnología europea instalados en los 90. En la primera mitad de la década de 2000, tres firmas de capital nacional —INVAP, NRG Patagonia e IMPSA— iniciaron trayectorias de aprendizaje con resultados disímiles: INVAP e IMPSA avanzaron sobre la base de capacidades previas y desarrollo interno, mientras que NRG combinó la adquisición de una licencia alemana con la generación de *know-how* propio.

IMPSA y NRG articularon con proveedores locales especializados para resolver problemas puntuales, lo que promovió aprendizajes mutuos y la formación de nuevas capacidades. El acervo tecnológico acumulado en esta etapa sentó bases relevantes para futuras ventanas. INVAP alcanzó la ingeniería de detalle de un aerogenerador de 1,5 MW, pero desistió en 2006 por falta de financiamiento. Para entonces, IMPSA había diseñado y fabricado el primer aerogenerador con tecnología propia en América Latina —UNIPOWER® IWP-70, 1,5 MW— que obtuvo certificación internacional en 2010; sobre esa base desarrolló los modelos IWP-83 e IWP-100, fabricados en Argentina, con un contenido local del 72 % en el IWP-100 de 2 MW lanzado en 2015. Por su parte, NRG Patagonia fue desarrollando capacidades productivas internas para fabricar, ensamblar, montar y operar turbinas Clase I de 1,5 MW y, en 2014, inició el desarrollo de un equipo Clase II de 2 MW (Strubin & Cretini, 2023).

IMPSA y NRG firmaron contratos de provisión con empresas energéticas provinciales bajo la coordinación de ENARSA, en el marco del GENREN, lo que permitió

probar diseños, demostrar operatividad y proyectar una escalada productiva. Sin embargo, la política de demanda no alcanzó los resultados esperados y el mercado se estancó hasta la implementación de RenovAr en 2016. En materia científico-tecnológica, la convocatoria FITS 2013 – Energía apoyó consorcios público-privados para aumentar potencia (IMPSA IWP-100) y para la diversificación de NRG hacia una turbina Clase II. No obstante, el programa se lanzó cuando la frontera tecnológica global ya convergía hacia turbinas de 5 MW, y ese desfase, junto con dificultades técnicas y barreras financieras, restringió la participación de IMPSA y NRG en RenovAr como proveedores de turbinas.

Este primer proceso de *catching-up* resultó incompleto por la desalineación temporal entre la ventana global —marcada por la consolidación de la tecnología— y el inicio y ritmo de los aprendizajes locales. A ello se sumó una respuesta estatal tardía y con baja coordinación entre políticas de demanda, industriales y de ciencia y tecnología. Siguiendo a Pérez (2001), las fases iniciales de un paradigma ofrecen la ventana de entrada más promisoria para los rezagados, por sus altos beneficios potenciales, espacio de mercado y menores costos relativos. En el caso argentino, las firmas identificaron la oportunidad cuando la industria transitaba su maduración y privilegiaron una estrategia de desarrollo interno frente a la adquisición tecnológica, lo que ralentizó el aprendizaje. Esta dinámica, sumada al retardo estatal, impidió capturar plenamente las ventajas de la fase temprana —menor competencia y posibilidad de moldear un mercado naciente— y explica el carácter incompleto de esta primera ola.

El segundo proceso de *catching-up* en el sector eólico argentino se activó con el giro de la política de demanda introducido por la Ley 27.191 y el programa RenovAr (2016). A diferencia de la normativa previa —orientada a propiciar participación local en la fabricación e instalación de aerogeneradores—, el nuevo marco priorizó consolidar un mercado de energía eólica. En sus licitaciones, el programa RenovAr ponderó principalmente el precio de la energía y el cronograma de inversión, y en menor medida el componente nacional. Esta priorización, junto con el uso del Fondo para el Desarrollo de Energías Renovables (FODER) para mitigar el riesgo de los inversores por encima del financiamiento a proyectos con mayor contenido local, reforzó la orientación de la política hacia aliviar la escasez energética, desaprovechando capacidades tecnológicas acumuladas en la etapa previa (Castelao Caruana, 2019). No obstante, abrió una ventana de oportunidad verde para la inserción de firmas domésticas en la fabricación de torres estructurales —componente de alto costo y baja complejidad relativa—, en línea con las experiencias de Brasil y Sudáfrica (Larsen & Hansen, 2020).

En este contexto, SICA Metalúrgica Argentina y Metalúrgica Calviño, que ya habían incursionado en 2009 como proveedoras de torres de acero y otros componentes para IMPSA, consolidaron su posición en 2017 mediante *joint ventures* con firmas extranjeras especializadas (Grupo Haizea Wind y GRI Renewable Industries). Este movimiento —precedido por el apoyo del FITS 2013-Energía a SICA para instalar una planta de torres de acero— permitió a ambas empresas convertirse en proveedores clave del mercado interno y concretar primeras exportaciones en 2020 hacia parques construidos por Vestas.

Por su parte, PREAR, especializada en premoldeados de hormigón, se insertó en el mismo eslabón ante la creciente demanda de componentes nacionales por parte de los tecnólogos. Su entrada fue facilitada por un acuerdo comercial (2016) con WindTechnic,

que aportó *know-how* para producir torres de hormigón a costos competitivos. PREAR se consolidó como proveedor de Nordex en un contexto institucional favorable, combinando absorción de conocimientos del socio con capacidades propias (un departamento de ingeniería robusto y adaptación a requerimientos del cliente) para cumplir estándares internacionales. El proceso productivo impulsó sustitución de importaciones (componentes metálicos, insertos plásticos y materiales específicos) frente a restricciones y demoras en el acceso externo, y la inversión en plantas próximas a los parques (especialmente Bahía Blanca y Neuquén) señaló un compromiso de largo plazo. Sin embargo, la dependencia de la demanda de Nordex se volvió una vulnerabilidad: la reorientación del tecnólogo hacia el mercado europeo, la escasa demanda de otros tecnólogos por torres de hormigón y la competencia de torres de acero de origen chino afectaron la continuidad de la producción local. Aun así, la reconversión de la planta de Bahía Blanca hacia proyectos de infraestructura en Vaca Muerta evidenció resiliencia y capacidad de adaptación productiva.

Un tercer proceso de *catching-up* se manifiesta como innovación de proceso a escala sectorial, impulsada por la creciente convergencia entre las TIC y los sistemas energéticos (Kangas et al., 2021) y por la expansión de la generación eólica en el país. Este marco habilitó el desarrollo de capacidades locales para diseñar y usar soluciones de TIC en la operación y mantenimiento (O&M) de los parques. Varias empresas argentinas propietarias y gestoras de parques crearon áreas de TIC dedicadas al análisis de los datos operativos provenientes de los aerogeneradores y de los parques en su conjunto. La profundidad de estas capacidades es heterogénea y depende tanto de las cláusulas contractuales con los tecnólogos —que condicionan el acceso y la granularidad de los datos— como de los recursos disponibles en cada firma.

El caso ilustrativo es Pampa Energía, empresa del sector de petróleo y gas y propietaria de varios parques eólicos. De forma excepcional, la firma negoció con el tecnólogo el acceso en tiempo real a los datos de operación, con el objetivo de optimizar la gestión de sus parques. A partir de un proceso de aprendizaje interno que se aceleró en 2020 por la pandemia del COVID-19, la empresa integró TIC en sus 16 plantas de generación (renovables y convencionales), apoyada en software especializado, y creó un centro de desarrollo digital para monitoreo en línea, analítica de datos y detección temprana de anomalías, sustentado en un equipo interdisciplinario y software interoperable. Además, incorporó drones para la inspección de sus turbinas eólicas e investiga el uso de inteligencia artificial para procesamiento de imágenes, con vistas a automatizar la detección de irregularidades y avanzar hacia el mantenimiento predictivo.

En conjunto, este tercer proceso reubica el aprendizaje hacia funciones intensivas en datos y diagnóstico, típicas de etapas maduras del ciclo tecnológico, y abre una ventana de oportunidad para especializaciones dinámicas en O&M, siempre que existan condiciones contractuales de acceso a datos, interoperabilidad y capacidades organizacionales para sostener la mejora continua.

Otros procesos de aprendizaje del sector eólico argentino se expresan hoy como capacidades latentes: empresas con conocimientos y rutinas acumuladas para aportar a la cadena de valor —nacional y regional— que, sin embargo, enfrentan obstáculos para su plena inserción. Estas capacidades son legado de aprendizajes internos surgidos de procesos de innovación truncados y ponen de relieve que las tecnologías no evolucionan

de manera aislada, sino como parte de sistemas interconectados donde las redes de colaboración resultan decisivas para la dinámica innovadora. En ese marco, MTZ ofrece un caso ilustrativo. Especializada en recubrimientos por proyección para recuperación y fabricación de piezas (recubrimientos cerámicos o metálicos), la empresa desarrolló entre 2005 y 2009 una solución de aislamiento de rodamientos en aerogeneradores que redujo el desgaste por corrientes parásitas y sustituyó la necesidad de costosos rodamientos cerámicos importados. Este desarrollo respondió a requerimientos específicos del sistema tecnológico en gestación —el aerogenerador de IMPSA— y emergió de la interacción entre el integrador (IMPSA) y un proveedor especializado (MTZ), dando lugar a aprendizajes mutuos y a una solución contextualizada. La validación conjunta con la Universidad Nacional de Rosario evidenció la capacidad de generar conocimiento aplicado y de articular empresa–empresa–academia para resolver problemas concretos del sector.

No obstante, la discontinuidad en la producción de aerogeneradores por parte de IMPSA, agravada por la inestabilidad institucional y por la ausencia de políticas de apoyo a proveedores locales, truncó la trayectoria de este proceso, mostrando cómo la falta de un marco regulatorio coherente y estable puede fragmentar sistemas tecnológicos y obstaculizar el *catching-up* aun cuando existen capacidades significativas.

Lecciones para un diseño productivo de la transición energética

En conjunto, el análisis de 2000–2024 muestra que los procesos de *catching-up* del sector eólico argentino estuvieron guiado por ventanas de oportunidad verdes cuyo alcance dependió del momento del ciclo tecnológico, de la gobernanza de la cadena global y de la articulación (o falta de ella) entre políticas de energía-industria-CTI. El primer proceso (diseño/fabricación de turbinas) fue intensivo en la acumulación de conocimiento especializado, pero llegó tarde respecto de la frontera tecnológica y sin una demanda sostenida; el segundo (torres eólicas) capitalizó la expansión del mercado, aunque anclada en eslabones de menor complejidad y con alta dependencia de los tecnólogos globales y del ciclo de demanda interna; el tercer proceso desplazó el aprendizaje hacia la O&M y analítica de datos en parques eólicos y otras instalaciones de generación de electricidad, abriendo nichos de especialización. En paralelo, persisten capacidades latentes con potencial de alcance a otros países limítrofes, frenadas por la ausencia de normativa adecuada e incentivos que contemplen la etapa de extensión de la vida útil de los parques.

De este recorrido se desprenden tres implicancias para países semiperiféricos. En primer lugar, las ventanas de oportunidad verdes trascienden los cambios endógenos o institucionales. Como señalan Pérez (2001) y Katz & Pietrobelli (2018), el ciclo tecnológico y la organización de las cadenas de valor globales modulan significativamente el alcance y la duración de estas oportunidades. Si bien la disponibilidad de recursos naturales y la implementación de marcos regulatorios adecuados pueden fortalecer estas ventanas, no parecen ser factores suficientes para generar oportunidades en el desarrollo de componentes complejos y de alto valor agregado en este sector. En segundo lugar, el ciclo tecnológico moldea la configuración y el alcance de las ventanas. En la fase madura de la industria eólica, el locus de la innovación se desplaza desde el producto a los procesos o servicios -O&M, extensión de vida útil y servicios de diagnóstico o retrofit- y desde eslabones centrales de alto valor hacia otros más estandarizados. En tercer lugar, las ventanas de

oportunidad verdes no bastan por sí mismas: su aprovechamiento es dependiente de la trayectoria tecnológica y las capacidades acumuladas (técnicas y organizacionales) y requiere una gobernanza contractual habilitante en las cadenas globales de valor—acceso y portabilidad de datos, interoperabilidad y estándares—. En este estadio, la capacidad de capitalizar nuevas oportunidades descansa en el conocimiento ya acumulado y en la densidad de capacidades complementarias (gestión, certificación, ingeniería de campo), más que en saltos tecnológicos aislados. Sin embargo, la trayectoria inicial de aprendizaje condiciona qué rutas de diversificación —incluso las menos complejas— habilitan *catching-up*. De allí la necesidad de políticas proactivas que anticipen ventanas —y no solo reaccionen—, alineando energía–industria–CTI con reglas de gobernanza de datos que garanticen acceso efectivo. Para los países semiperiféricos, el desafío es doble: construir esas trayectorias y diseñar políticas que se adelanten a identificarlas a tiempo.

Bibliografía

- Aggio, C., Verre, V., & Gatto, F. (2018). *Innovación y marcos regulatorios en energías renovables: El caso de la energía eólica en la Argentina*. CIECTI.
- Andersen, A. D., & Wicken, O. (2021). Making sense of how the natural environment shapes innovation, industry dynamics, and sustainability challenges. *Innovation and Development*, 11(1), 91–117. <https://doi.org/10.1080/2157930X.2020.1833702>
- BloombergNEF. (2024). *China's Goldwind retains turbine supplier lead, as global wind additions hit new high*. <https://about.bnef.com/blog/chinas-goldwind-retains-turbine-supplier-lead-as-global-wind-additions-hit-new-high-according-to-bloombergnef/>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Castelao Caruana, M. E. (2019). La energía renovable en Argentina como estrategia de política energética e industrial. *Problemas del Desarrollo*, 50(197), 131–156. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2019.197.67592>
- FARN. (2021). *Lineamientos para una transición energética al 2030. Análisis FARN*. Fundación Ambiente y Recursos Naturales. https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2021/12/DOC_TRANSICI%C3%93N-ENERG%C3%89TICA_links.pdf
- Gipe, P. C., & Möllerström, E. (2023). An overview of the history of wind turbine development: Part II—The 1970s onward. *Wind Engineering*, 47(1), 220–248. <https://doi.org/10.1177/0309524X221122652>
- Global Wind Energy Council. (2025a, April 23). *Global Wind Report 2025*. <https://www.gwec.net/>

- Global Wind Energy Council. (2025b, June 25). *Offshore wind installed capacity reaches 83 GW as new report finds 2024 a record year for construction and auctions.* <https://www.gwec.net/gwec-news/offshore-wind-installed-capacity-reaches-83-gw-as-new-report-finds-2024-a-record-year-for-construction-and-auctions/>
- Huenteler, J., Schmidt, T. S., Ossenbrink, J., & Hoffmann, V. H. (2016). Technology life cycles in the energy sector—Technological characteristics and the role of deployment for innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 104, 102–121. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.11.001>
- International Renewable Energy Agency. (2025, July 22). *Renewable power generation costs in 2024.* Abu Dhabi: IRENA. https://energiaoltre.it/wp-content/uploads/2025/07/IRENA_TEC_RPGC_2024_ES_2025-embargo.pdf
- Jacobsson, S., & Johnson, A. (2000). The diffusion of renewable energy technology: An analytical framework and key issues for research. *Energy Policy*, 28(9), 625–640. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00041-0](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00041-0)
- Kalthaus, M. (2020). Knowledge recombination along the technology life cycle. *Journal of Evolutionary Economics*, 30(3), 643–704. <https://doi.org/10.1007/s00191-020-00668-3>
- Kangas, H. L., Ollikka, K., Ahola, J., & Kim, Y. (2021). Digitalisation in wind and solar power technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111356. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111356>
- Katz, J. (2020). *Recursos naturales y crecimiento: Aspectos macro y microeconómicos, temas regulatorios, derechos ambientales e inclusión social.* CEPAL.
- Katz, J., & Pietrobelli, C. (2018). Natural resource-based growth, global value chains and domestic capabilities in the mining industry. *Resource Policy*, 58, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.02.001>
- Lacal-Arántegui, R. (2019). Globalization in the wind energy industry: Contribution and economic impact of European companies. *Renewable Energy*, 134, 612–628. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.11.073>
- Larsen, T. H., & Hansen, U. E. (2020). Sustainable industrialization in Africa: The localization of wind-turbine component production in South Africa. *Innovation and Development*, 12(2), 189–208. <https://doi.org/10.1080/2157930X.2020.1749869>
- Lema, R., & Pérez, C. (2024). *The green transformation as a new direction for techno-economic development* (UNU-MERIT Working Paper Series). UNU-MERIT.

- Lema, R., & Rabellotti, R. (2023). *Green windows of opportunity in the Global South* (UNU-MERIT Working Paper No. 2023-012). <https://www.merit.unu.edu/publications/wppdf/2023/wp2023-012.pdf>
- Madvar, M. D., Ahmadi, F., Shirmohammadi, R., & Aslani, A. (2019). Forecasting of wind energy technology domains based on the technology life cycle approach. *Energy Reports*, 5, 1236–1248. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.08.053>
- Neuman, M., Nicolini, J., & Malco, J. (2020). *Panorama de la energía eólica en Argentina* (DT IDEI 3-2020). Universidad Nacional de General Sarmiento, Instituto de Industria (IDEI).
- Papa, J., & Hobday, M. (2025). Swimming against the stream in Argentina: ‘Contrarian’ paths to latecomer catch-up under adversity. *Journal of Engineering and Technology Management*, 75, 101859. <https://doi.org/10.1016/j.jengtacman.2024.101859>
- Pérez, C. (2001). Technological change and opportunities for development as a moving target. *CEPAL Review*, 75, 109–130. <https://doi.org/10.18356/20f41c33-en>
- Pérez, C., & Soete, L. (1988). Catching up in technology: Entry barriers and windows of opportunity. In G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg, & L. Soete (Eds.), *Technical change and economic theory* (pp. 458–479). Pinter.
- Strubin, L., & Cretini, I. (2023). Transición energética y oportunidades de desarrollo tecnológico local: El caso de la energía eólica en la Cuenca del Golfo San Jorge. *H-Industria*, 17(32), 57–80.
- Urban, F., et al. (2015). Firm-level technology transfer and technology cooperation for wind energy between Europe, China and India: From North–South to South–North cooperation? *Energy for Sustainable Development*, 28, 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2015.06.005>
- World Energy Council. (2021). *World Energy Trilemma Framework*. <https://www.worldenergy.org/transition-toolkit/world-energy-trilemma-framework>