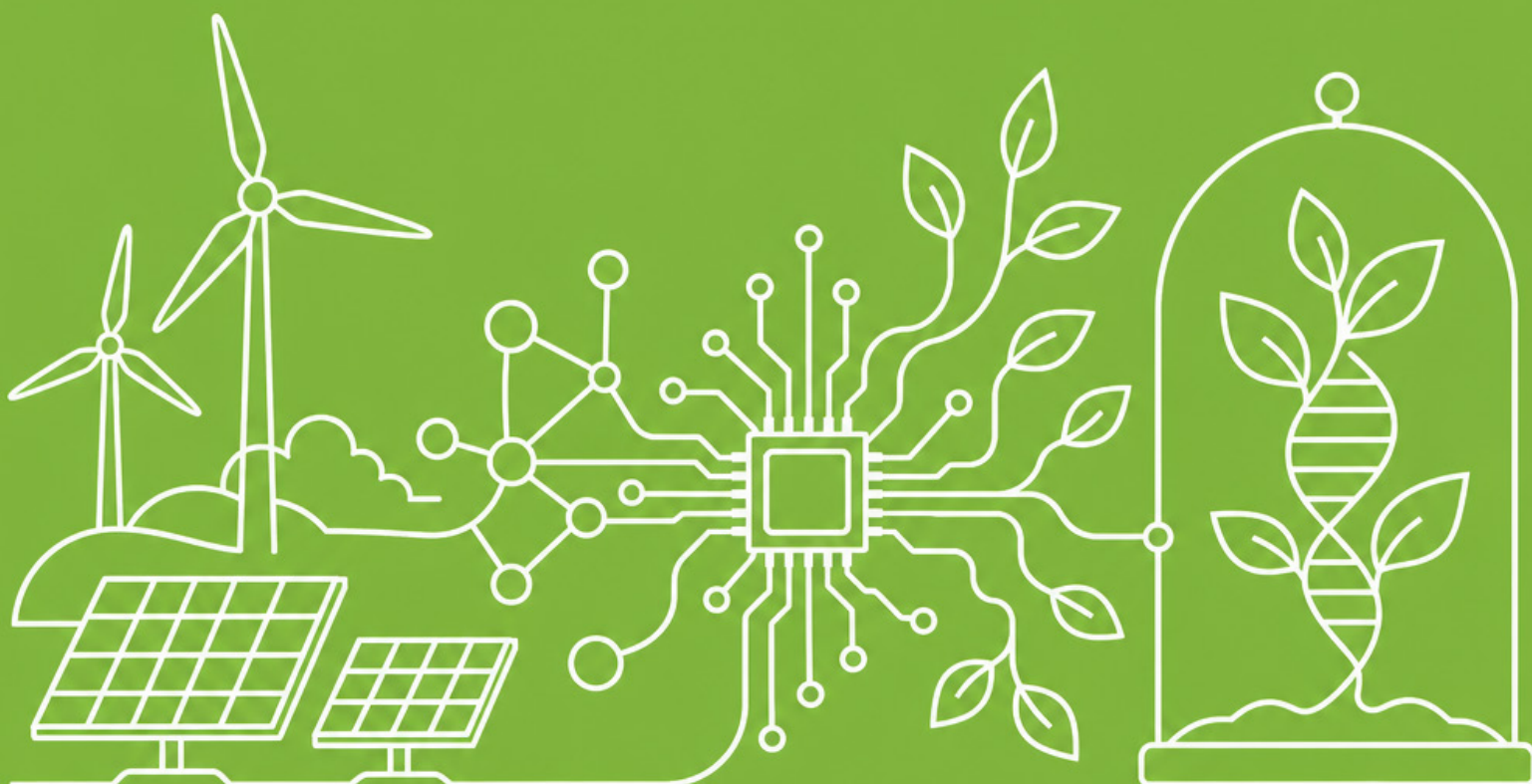


Proyecto: Estrategia para la reindustrialización
sustentable de Argentina

Identificación de los núcleos estratégicos para el desarrollo argentino

Pablo Lavarello - Veronica Robert
Sebastián Sztulwark - Mercedes Marco del Pont



Obra de distribución gratuita

Julio 2026

Publica Heinrich-Böll-Stiftung Buenos Aires

Autores

Pablo Lavarello - Veronica Robert - Sebastián Sztulwark - Mercedes Marco del Pont

Arte de tapa:

Imagen realizada con IA.

Diagramación y Diseño Gráfico

Marilyn Fernandez

Contacto

info@ar.boell.org

ar.boell.org



Esta publicación está disponible en acceso abierto bajo la licencia Reconocimiento-No comercial-Compartir igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0). Licencia: (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>). Se debe dar crédito al creador (BY); solo se permiten usos no comerciales de la obra (NC); las adaptaciones deben compartirse bajo los mismos términos (SA). El material puede ser distribuidos, copiado y exhibido por terceros si se reconoce la autoría en los créditos. No se puede obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos que el trabajo original. Más información en: <http://creativecommons.org>

Identificación de los núcleos estratégicos para el desarrollo argentino

Pablo Lavarello (Ceur-Conicet)

Veronica Robert (Conicet-UNSAM)

Sebastián Sztulwark (Conicet-UNGS)

Mercedes Marco del Pont (Fide)

Julio 2026

Resumen

El documento presenta algunos aportes para el diseño de una estrategia para el desarrollo industrial de Argentina, enfocada en superar ciertos límites estructurales como la restricción externa, la primarización exportadora y la desindustrialización. Propone identificar y promover núcleos estratégicos en industrias motrices y/o industrias difusoras que por sus efectos dinamizadores sobre el entramado productivo promueven el desarrollo económico. La identificación de estos núcleos estratégicos y el establecimiento de sus jerarquías, surge de evaluar las capacidades productivas y científico-tecnológicas existentes en el país en el marco de un contexto internacional caracterizado por cambios relevantes en el paradigma tecno-económico y crecientes tensiones geopolíticas. A nivel internacional es posible identificar tres tecnologías transformativas con el potencial de reestructurar la economía mundial y que son el centro de las disputas competitivas internacionales. Argentina enfrenta brechas en las tres, no obstante ello, las posibilidades de aprovechar las oportunidades varía dependiendo de sus capacidades y trayectoria previa:

1. Biotecnología: Aun cuando subsiste una brecha elevada, Argentina podría aspirar a desarrollar un núcleo motriz a partir de la sólida trayectoria científica y capacidades emergentes en su difusión a partir de biofármacos, agrobiotecnología y bioinsumos. Esta base de conocimientos podría potenciar una industria incipiente, a partir de alianzas estratégicas en la región, así como también con otros bloques económicos. Se requiere mayor inversión en I+D y escalado productivo apalancado en el mercado doméstico y regional como punto de partida para insertarse como proveedor de los centros dinámicos a nivel global (como China e India, entre otros).

2. Energía y minerales críticos: La brecha en capacidades tecnológicas también es elevada, a lo que en este caso se agrega el desafío de evitar un modelo (neo) extractivista. Argentina dispone de recursos energéticos fósiles y renovables, minerales críticos (litio y cobre) y un conjunto de capacidades tecnológicas que permitirían mejorar el perfil de inserción actual en muchas de las cadenas de la transición. Pero sin acercar capacidades a recursos, predominará la extracción bajo formatos de enclave. Es crucial desarrollar “núcleos difusores” de servicios tecnológicos y bienes de capital para vincular estos

recursos con cadenas de valor industriales y estimular el contenido local y transferencia tecnológica a partir de inversiones extranjeras y domésticas en sectores extractivos.

3. Digitalización: Aún si existe una brecha irreversible en microelectrónica, la Argentina puede constituir un “núcleo-difusor” que contribuya a complejizar el tejido productivo a partir de la actualización tecnológica. Argentina posee capacidades en software, competencias incipientes para el desarrollo de modelos específicos de IA, infraestructura e industria satelital e industria de contenidos. La potencial aplicación de IA a áreas de interés estratégico podría potenciar la capacidad informacional del país y generar herramientas específicas de aprendizaje profundo y aprendizaje de máquina basadas en datos locales. Se sugiere desarrollar infraestructura local de datos y promover usos productivos de la IA. Al mismo tiempo resulta esencial monitorear potenciales inversiones en centros de datos atraídas por bajo costo energético, para evitar lógicas de economías de enclave y (neo) extractivismos.

La estrategia subraya la necesidad de políticas industriales selectivas, coordinación estatal, marcos regulatorios adecuados y articulación regional para lograr un desarrollo inclusivo y sostenible. Las alianzas internacionales y los regímenes de incentivos a la inversión externa impulsados hasta la fecha por el gobierno de Milei clausuran los espacios para una estrategia de esa naturaleza. Es necesario reestablecer vinculaciones comerciales y de inversión con socios estratégicos que promuevan el aprendizaje tecnológico y que abran posibilidades para la integración productiva local. En un escenario de crisis de hegemonía internacional, en el que los mecanismos de consenso se debilitan frente a los de coerción, el establecimiento de (multi) alianzas es un requisito fundamental para recuperar una senda de desarrollo.

Introducción

Argentina atraviesa su cuarta experiencia neoliberal, en una versión radicalizada que avanza aceleradamente en el dismantelamiento de capacidades estatales, productivas y tecnológicas, promueve el extractivismo y premia la valorización financiera. Se reproduce una secuencia ya vivida en los anteriores experimentos de apertura comercial y de desregulación financiera y externa en la cual la sostenibilidad del régimen está subordinada al acceso al financiamiento en moneda extranjera a costa de agravar los problemas de solvencia externa. En paralelo, se profundizan las fuentes estructurales de nuestra restricción externa asociadas a la primarización de las exportaciones, la desindustrialización de la matriz productiva y la sustitución inversa de importaciones.

Frente al abandono de toda vocación de desarrollo industrial y tecnológico las competencias acumuladas en ciclos de inversión pública en ciencia y tecnología son monetizadas a través de privatizaciones o meramente desechadas, anulando las posibilidades de desarrollo autónomo. Los nuevos (y viejos) acuerdos en materia de comercio e inversiones como el acuerdo Unión Europea-Mercosur y el acuerdo de comercio e inversiones recíproco con los Estados Unidos, lejos de estar diseñados para impulsar sectores estratégicos, se orientan a consolidar modelos neo extractivistas.

La ruptura del sistema de reglas derivada de la disputa entre EE UU y China por el modelo energético, el liderazgo industrial y la supremacía tecnológica presiona por la construcción de nuevas áreas de influencia y reparto del mundo tanto por los recursos, como por las rutas comerciales y el acceso a mercados. Las potencias medias, vacilan entre apostar a las políticas industriales y reconstruir una base propia de acumulación en un nuevo paradigma o atender a las exigencias de EE UU.

Este escenario tan complejo y desafiante que caracteriza a la economía mundial debe ser tenido en consideración a la hora de pensar caminos de salida de la crisis social y productiva que dejará como herencia el gobierno de Milei. La construcción de consensos en torno a un proyecto de desarrollo nacional que aspire a recuperar un sendero sostenible de crecimiento con redistribución progresiva del ingreso deberá respaldar la viabilidad de las propuestas en diagnósticos rigurosos acerca de las prioridades en materia económica y social, el tipo de estado a reconstruir (funcional a esas prioridades), los espacios de

política disponibles, las relaciones de fuerza y las oportunidades y riesgos que ofrece el contexto internacional.

En esta construcción una tarea imprescindible es la de identificar los sectores estratégicos capaces de impulsar el desarrollo industrial competitivo y moderno, único con capacidad suficiente de absorción de empleo, pero también de difusión de tecnología e innovación sobre todo el sistema productivo argentino. La identificación de los núcleos dinamizadores del desarrollo industrial debe atender en forma simultánea a las oportunidades domésticas que abren la disponibilidad de recursos estratégicos, las capacidades industriales y tecnológicas construidas; y las transformaciones globales en materia tecnológica, energética y geopolítica. Lo primero responde al reconocimiento de que el desarrollo económico se apoya en la acumulación de capacidades, y por lo tanto estos núcleos los hallaremos en torno a lo que Argentina ya sabe hacer y es posible potenciar. Lo segundo se basa en la convicción de que sin identificar claramente las restricciones así como los espacios de negociación que abre o clausura el nuevo (des) orden internacional, el estudio se transformaría en un listado de sectores a promover voluntarista y estéril.

Sabemos que al final del experimento libertario estaremos en un escalón de indigencia y pobreza estructural más alto, un mercado de trabajo más precarizado y capacidades productivas fuertemente afectadas. La idea de “destrucción creadora” que se intenta sugerir desde algunos sectores no tendrá operatividad alguna, más allá de los discursos ligeros que reflejan resignación frente a la virtual desaparición de producción nacional en un arco amplio de actividades industriales. Por el contrario se trata de un proceso de “destrucción destructiva” porque cierra oportunidades inmanentes asociadas a capacidades industriales y tecnológicas que, con sus insuficiencias y fragilidades, fueron construidas a lo largo de décadas de inversión pública y privada.

Proponemos un abordaje diferente que parte de reconocer que aún si la economía Argentina se caracteriza por una fuerte heterogeneidad y alta especialización comercial en productos primarios, también cuenta con una de las estructuras productivas más diversificadas entre muchas economías periféricas e importantes capacidades en ciencia y tecnología, que incluso en el contexto actual de deterioro y desfinanciamiento persisten. Será cuestión de pensar cómo re dinamizar una industria fuertemente golpeada, manteniendo las capacidades, aumentando el empleo y apuntalando los vectores de las

necesarias transformaciones estructurales imprescindibles para remover un componente central de nuestra restricción externa.

Por ello es necesario trabajar desde el primer momento en la elaboración de una política industrial y tecnológica que integre una estrategia de desarrollo nacional. Su viabilidad dependerá en gran medida de la generación de consensos acerca del estilo de desarrollo que se pretende adoptar, los núcleos dinamizadores de la economía y, recién allí, las acciones e instrumentos de política que deben llevarse adelante para apuntalarlos. Lograr estos consensos es una tarea imprescindible en tanto toda política industrial y tecnológica implica desafiar ventajas comparativas, reasignar renta y afectar intereses. Las experiencias de política industrial sustentadas en el pensamiento heterodoxo entre los años 2002 y 2023, comenzaron en el orden inverso. Se implementaron los instrumentos frente a la aparición de problemas sectoriales y se vieron limitados por la ausencia de una planificación estratégica. En consecuencia, su implementación quedó librada a las condiciones coyunturales y a los factores de poder.

Precisamente la construcción de consensos acerca del estilo de desarrollo a adoptar es un desafío central en la presente etapa donde las condiciones del comercio mundial, el proceso de transición energética y la política de inversiones promovida por el gobierno argentino (condensada en el régimen de grandes inversiones, RIGI) promueven un perfil de especialización sustentado en la explotación de recursos naturales: petróleo, gas y minerales críticos. Si bien se estima que las materias primas agrícolas continuarán creciendo, los recursos naturales “duros” ocuparán una proporción creciente de las exportaciones, lo que implicará una diversificación de las exportaciones primarias, pero, al mismo tiempo, el desplazamiento de las manufacturas de origen industrial. La urgencia que tiene Argentina por garantizar dólares comerciales para afrontar los servicios de la deuda externa y cubrir las necesidades del crecimiento doméstico no debe ocultar el riesgo que supone laacentuación de nuestro perfil de especialización primaria en una dinámica inconsistente con las posibilidades del desarrollo y la equidad.

Consideramos que es imprescindible discutir acerca de las consecuencias del modelo extractivista que se está consolidando en nuestro país. A nuestro juicio, promoverá el pasaje de una situación de heterogeneidad estructural en la que coexisten sectores manufactureros de baja y alta productividad a una nueva

situación de dualidad caracterizada por enclaves de elevada competitividad en torno a los recursos naturales, donde los sectores manufactureros de peor desempeño dejan de existir y el aumento del desempleo es absorbido por servicios de baja productividad con modalidades de contratación precarias, temporarias, en el contexto de una creciente ausencia red de contención de la seguridad social. La contracara de industrias extractivas exportadoras exitosas, en un boom inminente de commodities minerales de cara a la transición energética, será la ampliación de las condiciones de desigualdad que ya atraviesan al cuerpo económico y social argentino.

Cabe advertir, que el salto exportador que puede generar tal perfil de especialización además de no garantizar condiciones de desarrollo inclusivo tampoco permitirá superar el relacionamiento desigual con los países desarrollados circunstancia que, entre otras, está en la base de la restricción externa.

Identificar tales riesgos no supone ignorar las oportunidades que pueden existir en una estrategia de industrialización de recursos naturales críticos y energía a bajo costo. Especialmente en un mundo atravesado por pulseadas geo-económicas en torno a la defensa de las capacidades industriales y tecnológicas, la seguridad energética y la generación de nuevas cadenas que surgen en el proceso de transición hacia una economía verde y el despliegue global de la IA.

Ahora bien, una estrategia de desarrollo integral que promueva un proceso de acumulación productiva sostenible en el tiempo no puede agotarse en un modelo de desarrollo en torno a recursos naturales. Es necesario construir encadenamientos aguas arriba y abajo de estos sectores críticos con alta demanda global, pero además hay que diseñar como se intersectan con otras competencias y actividades de alto potencial, ya sea debido a las condiciones en el mercado regional (como tecnología para el sector agropecuario), al alto dinamismo tecnológico (software, digitalización e IA), a su potencial como difusor de conocimiento tecnológico (bienes de capital) o a su impacto en la competitividad industrial (energía e infraestructura). Es necesario identificar cuáles pueden ser los núcleos dinamizadores de la estructura industrial existente.

Esto requiere dejar de pensar en términos de “destrucción destructiva” y

hacerlo en clave de “acumulación creativa”. Hay necesidad de priorizar las actividades más dinámicas con potencialidad para contribuir al rejuvenecimiento de los viejos sectores aumentando su productividad, ampliar oportunidades de inserción internacional y fortalecer la creación de empleo de calidad. Identificar estos núcleos estratégicos para el desarrollo requiere revisar las principales tendencias internacionales en materia de nuevas tecnologías, las ventanas de oportunidad y las posibilidades de convergencia entre las ramas maduras y las emergentes dentro de un nuevo paradigma.

En este artículo discutiremos la importancia de identificar estos núcleos dinamizadores, cuáles son los complejos productivos que movilizan, y a partir de allí pensar el necesario retorno de una política industrial. Esto es, cómo ante la actual coyuntura internacional de mayor rivalidad y revoluciones tecnológicas y energéticas en curso, se abren ventanas de oportunidad transitorias en ciertas áreas que, combinadas con recursos y capacidades preexistentes, pueden orientar una estrategia de desarrollo.

Proponemos analizar tres actividades que consideramos pueden constituir núcleos dinamizantes de una estrategia para el desarrollo industrial de la Argentina actual. Explicamos cómo se articulan con el contexto tecnológico global y las condiciones emergentes del nuevo orden internacional. Consideramos que este trabajo constituye un primer insumo para asentar una estrategia de desarrollo, entendida como un conjunto articulado y coherente de políticas e instrumentos que a partir de estos núcleos dinamizadores desafíe a la especialización regida según las ventajas comparativas.

I. Categorías para el análisis de los núcleos estratégicos

Aun cuando no existe consenso sobre definición y alcance de la política industrial, partimos de una concepción sistémica de la misma, en la que ésta se articula con la política de ciencia, tecnología e innovación, apuntalando un conjunto selectivo de intervenciones en ciertas áreas dinamizadoras de la estructura productiva.

Argentina presenta la particularidad de contar con una estructura productiva

heterogénea y especializada en la exportación de bienes primarios y commodities industriales. Las actividades intensivas en recursos naturales están cercanas a las mejores técnicas a nivel internacional, mientras que dentro del entramado industrial conviven un conjunto amplio de actividades y sectores que operan con importantes brechas de productividad y rezago tecnológico con ciertos nichos de alta innovación, tal el caso de la biotecnología, el software, la tecnología nuclear y los desarrollos satelitales.

Esta estructura productiva argentina hoy se enfrenta a un mundo en transformación acelerada. Asistimos a un cambio de paradigma tecnológico económico en el que las tecnologías digitales, facilitadas por una transformación energética (electrificación), y las biológicas, impulsadas por nuevos avances científicos, revolucionan las formas de producción, las fuentes de competitividad y el origen de las grandes ganancias tecnológicas. También aparecen nuevos espacios de renta asociados a recursos críticos para el despliegue del paradigma, donde argentina destaca por un conjunto de recursos minerales (cobre, litio y uranio); recursos hidrocarburíferos no convencionales de alta competitividad (vaca muerta) y potencial de energía barata a bajo costo. Por otro lado, la necesidad de mitigar el cambio climático impulsa la innovación en energías limpias con implicancias transversales sobre el sistema productivo.

Una estrategia de desarrollo para una economía periférica es primordialmente una acción deliberada que combine la reducción de tres tipos de brechas: tecnológica, social/territorial y ambiental. Una reducción de las brechas tecnológicas internacionales permitirá ganancias de competitividad y fuentes genuinas de crecimiento. La disminución de la heterogeneidad estructural permitirá una diversificación productiva y la creación de empleo de calidad y cerrar brechas sociales y territoriales. Y por último, un ajuste paulatino hacia una forma de producción más limpias consistentes con los estándares globales, permitirá alcanzar un estilo de desarrollo sustentable en el que sean consistentes el crecimiento económico y las metas socio ambientales.

Entendemos que una estrategia de tal naturaleza requiere de acciones específicas en al menos tres tipos de sectores o actividades:

(i) la promoción *estratégica* de:

- a. las actividades portadoras de las nuevas tecnologías, ampliando y escalando los nichos de alta innovación para que impacten en el resto

de la estructura productiva;

b. los sectores de bienes de producción que juegan un rol vector como difusores y adaptadores a las condiciones locales de estas tecnologías a partir de la interacción y adaptación de las mismas.

(ii) el *acompañamiento* a los sectores con ventajas comparativas que refuerzan su productividad en tanto usuarios de las nuevas tecnologías y de los bienes de producción, y que en función de ello continuarán siendo en el corto y mediano plazo proveedores de divisas.

(iii) la protección rejuvenecedora, a partir de las nuevas tecnologías, de las actividades tradicionales de producción de bienes de consumo durables y no durables que constituyen las industrias usuarias de las actividades promovidas en (i) a través de la acción difusora de las actividades difusoras (ii).

Muchas de las industrias con ventajas competitivas construidas durante la fase fordista de desarrollo, como la petroquímica, la siderurgia y los metales básicos, así como las actividades protegidas dentro del mercado regional como la automotriz, ramas industriales con fuerte prevalencia dentro de la estructura manufacturera argentina, tienen un amplio potencial de rejuvenecimiento a partir de su ajuste a nuevos estándares ambientales. La combinación de esa base industrial con los recursos energéticos renovables domésticos, así como el desarrollo de vectores energéticos como el hidrógeno, podría alentar una expansión de dichas actividades pero en su versión “verde” (acero verde urea verde, combustibles sintéticos y SAF).

La literatura contemporánea de innovación tecnológica desarrolla el concepto de paradigmas tecno-económicos para comprender las transformaciones tecno-económicas globales. Un paradigma tecno-económico es una constelación de innovaciones entre las cuales hay ciertas innovaciones fundamentales que atraviesan y transforman a toda la estructura productiva. Este marco permite identificar los núcleos dinamizantes ya que, para cada paradigma, es capaz de identificar las ramas motrices (origen de la revolución tecnológica), vectores (o difusoras del progreso técnico) y usuarias (o las transformadas por la revolución tecnológica).

Combinar las tendencias tecnológicas globales con un análisis de las capacidades domésticas, permite evaluar cuáles son los sectores que requieren

rejuvenecimiento y adaptación a las nuevas condiciones tecnológicas, productivas e institucionales, así como también las actividades que proveen de la infraestructura necesaria para el despliegue del paradigma. Identificamos tres áreas en las que existen distintos grados de oportunidad para dinamizar la estructura productiva argentina a partir de políticas selectivas:

1. La biotecnología, en tanto saber sobre las técnicas que permiten desarrollar nuevos insumos de carácter biológico con efectos productivos en las actividades primarias e industriales, así como de medicamentos con importantes efectos sobre la salud humana y animal. Argentina tiene en este campo un muy fuerte potencial para el desarrollo de nuevos sectores de especialización, asociados a la innovación agrícola, la salud, los insumos que sustituyen a los de base química y a la creación de fuentes de energía basadas en biomasa, entre otros.
2. La digitalización que, con el despliegue a escala global de la inteligencia artificial, cuenta con el potencial de profundizar la automatización, continuar innovando en las formas de comercialización y pagos y en la gestión del trabajo a través del uso de plataformas. En particular, la IA se apoya en el procesamiento masivo de datos y el crecimiento de la capacidad de cómputo. En el caso de Argentina la IA plantea grandes desafíos. Por un lado, abre oportunidades de segundo orden en ciertos nichos de industrias de bienes de capital para las actividades intensivas en recursos naturales (agrícolas y minerales), en plataformas con alcance regional. Por otro lado, abre importantes riesgos de reprimarización con la instalación de centros de datos con fuentes energéticas de bajo costo (renovables y no renovables).
3. Las industrias vinculadas a la transición energética constituyen un tercer sector con elevado potencial industrializante. Dadas las ventajas para la generación renovable (recursos eólico y solar) en paralelo a su amplio potencial gasífero (Vaca Muerta), la Argentina posiblemente generará un salto cuantitativo y cualitativo en la oferta de energía. Dada su trayectoria industrial puede apostar a participar de las cadenas de valor de estas nuevas industrias, así como profundizar el desarrollo tecnológico en la extracción no convencional de gas y petróleo y en la transformación de estos vectores energéticos. Esto permitirá traccionar sectores de equipamiento para energías renovables y electromovilidad.

Por último, y no por ello menos importante, los recursos en minerales críticos como el litio y cobre pueden constituir una herramienta clave para la construcción de capacidades en la industria de baterías.

En las siguientes secciones comenzamos por analizar la arena internacional en la que se desenvuelven estas dinámicas y sus efectos en la rivalidad entre grandes jugadores, como insumo para identificar los espacios para una política industrial nacional.

II. Transformaciones estructurales globales: geopolítica, tecnología y cadenas

Para delinear los espacios de oportunidad para evitar una nueva oleada de reprimarización en Argentina, es necesario considerar las transformaciones tecnológicas a nivel internacional e identificar a las tecnologías que lideran la reestructuración industrial. Estas transformaciones tecnológicas responden a la necesidad de superar la crisis en la que se encuentra inmersa la economía mundial desde el 2008. En ese marco, es necesario comprender el despliegue de las nuevas tecnologías a partir del recrudecimiento de la rivalidad entre distintos bloques económicos, con reforzamiento de posiciones de dominio en las actividades motrices y con el ascenso de nuevos jugadores globales. La Argentina va a estar irremediablemente alcanzada por estas transformaciones. Por ello es importante identificar los espacios estructurales a promover mediante la política industrial desde un país semi-industrializado. A continuación exploramos las transformaciones tecnológicas y geo políticas en cada uno de los tres núcleos.

II.1 Digitalización e Inteligencia Artificial

La irrupción de la Inteligencia Artificial (IA) se manifiesta como una nueva expresión de transformación estructural. La IA constituye la fase más avanzada de desarrollo del paradigma tecno-económico dominante basado en las tecnologías de la información y la comunicación (TICs), la digitalización

de la información y el uso masivo de datos. Desde sus inicios, este paradigma ha ampliado la constelación de tecnologías que lo componen, integrando actualmente:

(i) el aumento de la capacidad de cómputo con el desarrollo de microchips más rápidos y potentes para entrenamiento de los algoritmos de la IA ya sea en grandes modelos de lenguaje y/o modelos específicos con requisitos particulares de diseño (velocidad, eficiencia energética)¹

(ii) El desarrollo de algoritmos que se estructuran en réplicas de redes neuronales, con el potenciar procesos cognitivos en forma automática entrenados con grandes volúmenes de datos².

(iii) Infraestructura (desde redes de fibra óptica, cables sub oceánicos, además de data centers altamente demandantes de energía) en el que se apoya la centralización de datos, para lo cual son claves la conectividad³ y la capacidad de almacenamiento (Nube), sustentadas en importantes inversiones de infraestructura

Recientemente, el mayor potencial de la IA se ha manifestado en el campo de la IA generativa con el desarrollo de grandes modelos de lenguaje (GML). Pero existen diferentes escalas de capacidad e inversión en entrenamiento e inferencia cuando se comparan los modelos genéricos (ChatGPT) con los modelos específicos, cuyo entrenamiento se limita a un conjunto de datos especializado (Mc Kinsey, 2025)⁴. Los modelos de lenguaje específicos buscan respuestas más precisas, a partir del entrenamiento con información específica, contextualizada y de mayor calidad para abordar un problema particular, requiriendo menor poder computacional –de trillones a millones de parámetros–, lo que reduce costos en la infraestructura de datos y de capacidad de procesamiento, así como del consumo de energía.

1 Este es el caso de chips para entrenamiento de los algoritmos de la IA ya sea en grandes modelos de lenguaje y/o modelos específicos con requisitos particulares de diseño (velocidad, eficiencia energética). Se destacan los chips de GPU (Graphic processing unit) requeridos para el procesamiento paralelo y circuitos integrados aplicados (ASSICS) utilizados para inferencia ejecutada en tiempo real (McKinsey, 2025).

2 Sigman, M., & Bilinkis, S. (2023). Artificial: La nueva inteligencia y el contorno de lo humano. Debate.

3 Que incluye desde redes inalámbricas de baja potencia y amplia cobertura, sistemas 5G y 6G, nuevos sistemas de WiFi y el desarrollo de constelaciones satelitales de órbita terrestre baja (LEO).

4 Chui, M., Issler, M., Roberts, R., & Yee, L. (2025). Technology trends outlook Mc Kinsey Institute

Si bien el potencial de la IA aún no se ha desplegado masivamente en la manufactura⁵, existe una creciente adopción en servicios de soporte al cliente, servicios profesionales, marketing y programación. En la actualidad crece rápidamente la adopción de una tecnología de asistencia en todo tipo de tareas (tareas de gestión, creativas y operativas) en grandes corporaciones: la IA agente (conocida en inglés como agentic AI). Su potencial despierta un gran interés en los grandes grupos tecnológicos y corporaciones de servicios, y en particular, en las expectativas de los mercados financieros dando lugar a una burbuja creciente en el precio de las acciones⁶.

Entre los determinantes del despliegue de la IA, el que explica el mayor volumen de inversiones en activos fijos es la infraestructura. La IA impulsa un aumento en la demanda de centros de datos más grandes y potentes (Chui, et al, 2025). Los GML dependen de grandes almacenes de datos distribuidos en múltiples servidores. El tamaño de los centros de datos está aumentando, y las empresas buscan agrupar grandes instalaciones en clústeres que pueden abarcar hasta 1.000 hectáreas. La energía se vuelve un elemento crítico, tanto por el consumo energético que requiere el procesamiento y almacenamiento de grandes volúmenes de información como por los sistemas de refrigeración, que además hacen uso intensivo de agua⁷. La provisión de energía para los centros de datos debe cumplir con requisitos de estabilidad y constancia lo que implica infraestructuras y equipamiento eléctrico dedicado, que por lo tanto, las fuentes renovables solar y eólica deben combinarse con sistemas de almacenamiento (baterías estacionarias) o con otras fuentes de como la (nuclear, la hidroeléctrica, o la térmica (a gas o carbón). Esto motiva que

5 La incorporación de IA en robots industriales aún se limitaría al taller, sin articulación con la planificación y gestión automatizada. No se ha completado la transición de un sistema de máquinas semi-automatizado a uno completamente automatizado. Si bien existen prototipos de fábricas totalmente automatizadas, las mismas aún son un potencial a realizarse.

6 El entusiasmo en la esfera financiera contrasta con el escepticismo respecto de su demanda en aplicaciones de mayor criticidad como en la industria de defensa (MIT). Esto genera dudas sobre una automatización completa desde el diseño hasta la manufactura en actividades complejas que requieren seguridad y precisión. En este contexto, la seguridad del software, especialmente cuando incluye módulos de IA se vuelve una actividad de creciente interés porque permite integrar el potencial de la herramienta controlando potenciales errores propios de la tecnología como de su aplicación. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2025. Defense Software for a Contested Future: Agility, Assurance, and Incentives. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/29129>

7 https://ig.ft.com/ai-data-centres/?cid=mgp_opr-eml-nsi-omcknsl-mgp-glb--&hlkid=8cb202c4f9244ef696d646ce8f46d733&hctky=15930240&hdpid=b30ef942-7473-489d-a114-05910a23e520

las grandes empresas tecnológicas se vinculen crecientemente con la cuestión de la generación eléctrica y promuevan proyectos disruptivos de generación limpia como tecnología nuclear.

Un aspecto relevante a resaltar es el regulatorio. En el caso de la IA existe actualmente un amplio debate sobre el tipo de regulación y alcance de la misma, pero el modelo de regulación aún está en disputa entre posiciones mayoritarias que apuntan a mayor protección para la ciudadanía tanto por el uso de datos sensibles incluyendo información personal en las etapas de entrenamiento, como por los resguardos y responsabilidades ante fallos en la inferencia (especialmente cuando los usuarios son niños y en aplicaciones para la salud) y otros con un sesgo a que sea el mercado el que defina la dinámica sectorial. El modelo de regulación europeo es más amplio y abarcativo mientras que en los Estados Unidos se está propugnando por una menor regulación con el argumento de no restringir la innovación⁸.

En términos geopolíticos, las capacidades innovadoras en el diseño y manufactura de chips se concentran en un reducido grupo de países de Europa, Estados Unidos, y particularmente Taiwán. Estados Unidos tiene un control cuasi monopolístico a escala mundial de la capacidad de diseño (Chui, et al, 2025). La empresa de Estados Unidos NVIDIA domina a nivel global el diseño de los chips más avanzados, utilizados para modelos de lenguaje de IA y para el almacenamiento en centros de datos. La manufactura de chips se encuentra fuertemente concentrada en Taiwán: la firma TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company) controla el 90% de la manufactura de chips más avanzados.

China asciende poniendo en tensión este polo dominante con epicentro en Estados Unidos. China ha logrado acercarse en modelos de lenguaje específicos, apoyada en su gran escala para el desarrollo de algoritmos. Un nuevo modelo de IA del desarrollador chino DeepSeek llevó a Wall Street a cuestionar si las grandes tecnológicas y las startups de Silicon Valley no se estaban sobre expandiendo en centros de datos y desarrollos de chips para aplicaciones de IA, reforzando la posibilidad de una crisis asociada a la burbuja de IA. A pesar de ello, la carrera por modelos de lenguaje más potentes, demandantes de chips de avanzada, continúa.

8 Ver por ejemplo la Orden Ejecutiva de Trump publicada el 11 de diciembre que limita la regulación de la IA por parte de los estados subnacionales.

Si bien China disputa a Estados Unidos en innovaciones en el desarrollo de nuevos algoritmos, aún se encuentra a una amplia distancia en la frontera de diseño, escalado y manufactura, siendo dependiente de su importación de chips. Como respuesta a ello Estados Unidos viene impulsando medidas restrictivas a las exportaciones a China por parte de sus socios, tanto de chips avanzados como de equipos de litografía para su fabricación.

En materia de infraestructura para IA, todos los bloques económicos están llevando a cabo iniciativas de construcción masiva de centros de datos. Las inversiones exceden a Estados Unidos, que domina en stock y flujo la capacidad instalada de centros de datos. Ejemplos de ello son la iniciativa de MegaFactorías de la Unión Europea, con más de 75 expresiones de interés, la iniciativa de un mega-clúster de IA con un consumo de 5 gigavatios en Corea o el escalado de los centros de datos existentes en Inglaterra⁹.

II.2 Biotecnología

La biotecnología es uno de los campos de la ciencia y la tecnología de mayor dinamismo mundial. Los notables avances de la biología molecular en los años cincuenta del siglo pasado, sobre todo aquellos referidos a la estructura del ADN, y los desarrollos tecnológicos asociados a diferentes técnicas de ingeniería genética a partir de los años setenta, marcaron un punto de inflexión en el potencial de este campo para promover una gran transformación a nivel productivo.

Sin embargo, a diferencia de otros casos, como las TICs el potencial transformador productivo de la biotecnología ha sido, hasta ahora, solo parcialmente realizado. El hecho de tratarse de un conjunto de técnicas de recombinación de información genética que operan sobre la materia viva, otorga a esta trayectoria tecnológica un conjunto de rasgos particulares que afectan su difusión a nivel industrial. Entre estos elementos se destaca la dificultad inherente para codificar y modularizar una innovación que opera sobre un organismo vivo, razón por la cual los aspectos regulatorios, cobran en estas actividades un gran protagonismo. En forma adicional, existen fuentes de incertidumbre vinculadas a la gestión de la propiedad intelectual, al desarrollo de los propios procesos productivos y a la infraestructura científica,

9

<https://www.gov.uk/government/news/prime-minister-sets-out-blueprint-to-turbocharge-ai>

tecnológica y social para el desarrollo de este tipo de producción.

Durante las últimas décadas se han verificado avances importantes en la aplicación de la biotecnología en algunas industrias particulares. En la industria farmacéutica, se manifestó en un nuevo protagonismo de los productos biológicos respecto de los tradicionales de síntesis química. Este proceso se viene dando, de la mano de una trayectoria dominada por las discontinuidades tecnológicas, en vez de la emergencia de un diseño dominante. A los productos biotecnológicos de primera generación, que sustituyen a moléculas existentes, le siguió una segunda generación de drogas biotecnológicas de una estructura molecular más compleja, que demandaban criterios de regulación más exigentes y mayores umbrales de experiencia en bioproceso (Bercowitz et al, 2012).

En el campo agrícola, la transgénesis vegetal ha marcado la dinámica de la innovación de los últimos 30 años. Si bien su difusión fue muy acelerada, su impacto estuvo limitado a unos pocos rasgos agronómicos (tolerancia a herbicidas y resistencia al ataque de insectos) y a unos pocos cultivos (principalmente, soja y maíz). El modelo productivo asociado a estas innovaciones no estuvo exento de controversias sobre su impacto ambiental, en cuestiones como la extensión del monocultivo, el uso intensivo de herbicidas o el avance de la frontera agropecuaria sobre ecosistemas frágiles. Una rama de creciente dinamismo que surgió en los últimos años se refiere a los bioinsumos que vienen a complementar o a sustituir a los insumos de origen químico, con potenciales efectos positivos sobre las condiciones medioambientales de la producción agropecuaria. Esta rama es independiente pero complementaria a la previa.

Un tercer campo de aplicación de la biotecnología es el desarrollo y producción de insumos biológicos para procesos industriales; por ejemplo, enzimas que son utilizadas como insumos para industrias como la alimentaria o la química. A su vez, existe un campo de aplicación de la biotecnología para el desarrollo de biocombustibles y de nuevos materiales.

Pero los últimos avances en la biotecnología podrían potenciar su aplicación industrial, no en una sino en las tres áreas de aplicación mencionadas, ya que podrían reducir la brecha entre el potencial científico-tecnológico existente y su impacto sobre la dinámica industrial y productiva. Los principales vectores

de cambio a considerar son:

i. La existencia de nuevos avances científicos en el campo de la genómica y de la proteómica, sobre cuya base, se desarrollan nuevas técnicas que permiten ampliar el marco para el desarrollo de nuevos productos. Los casos más destacados son el de la edición génica y el de las técnicas de ARNm. Éstas permiten una mayor precisión en el proceso de transformación del ADN de un organismo y una simplificación en el propio proceso de transformación, que reduce los tiempos y los costos del desarrollo de nuevos productos. Este nuevo potencial tecnológico está asociado, en el caso de la biofarma, al desarrollo de nuevas vacunas y fármacos y, en el caso de la agricultura, a nuevos y más variados alcances, como los de tipo agronómico relacionados con la sequía, las inundaciones o el calor extremo (aspectos cruciales para la adaptación de la actividad agropecuaria al cambio climático), o aquellos que afectan los aspectos nutricionales de los alimentos, en la biotecnología industrial.

Es importante enfatizar que esta reducción de los costos para el desarrollo de nuevos productos constituye una caída de las barreras a la entrada solo para aquellos países que cuentan con sistemas de innovación que alcanzan ciertos umbrales mínimos en materia de infraestructura de investigación y formación en el campo biotecnológico, en tanto que el uso de éstas técnicas está condicionado al dominio de un saber más básico sobre el campo de la biología en general.

ii. Un segundo elemento de oportunidad está asociado a la revisión de los marcos regulatorios que afectan el desarrollo de los nuevos productos. Los elementos de cambio en este aspecto no son lineales. Si por un lado, la difusión de la edición génica (y en particular de su técnica más avanzada, CRISPR Cas9, está asociada a una significativamente menor barrera regulatoria en varios países (con Estados Unidos a la cabeza), existe cierta resistencia, principalmente en Europa, para validar el nuevo esquema regulatorio. La resolución de esta controversia marcará fuertemente el horizonte para el desarrollo de nuevos productos, principalmente en el campo agrícola. Por su parte, las tecnologías de ARNm, de fuerte impacto para el desarrollo de las vacunas contra el COVID, pueden mostrar amplias aplicaciones, no solo en biofarma, sino también para el desarrollo de nuevos bio-insumos agrícolas.

No obstante también está sujeta a controversia, originada en el propio Estados Unidos¹⁰, sobre la seguridad de sus efectos sobre la salud.

iii. Finalmente, el campo de oportunidad para el desarrollo de la biotecnología y de su impacto en la transformación de una serie de industrias que tienen un carácter estratégico por su impacto en la salud y la alimentación humana, se vincula con la posibilidad de que éstos desarrollos puedan dar respuesta a los problemas de una excesiva intensificación química (tanto en materia de fármacos como en insumos agrícolas) que está encontrando un límite en materia de eficacia (por ejemplo, bacterias y malezas resistentes) como de impacto ambiental. La sustitución de productos químicos por biológicos aparece en el horizonte como una gran ventana de oportunidad para el desarrollo de las industrias de base biotecnológica. Esta oportunidad, sin embargo, está condicionada por cierta percepción pública adversa respecto del propio uso de técnicas avanzadas de biología molecular, con particular énfasis en el desarrollo de productos modificados genéticamente dirigidos a la alimentación humana.

Con sus particularidades, **el escenario internacional en materia de biotecnología** también está marcado por un liderazgo definido por parte de Estados Unidos y otros países de Europa, con Alemania como referencia principal, y con un bloque emergente, liderado por China, pero en el que se destacan países como Corea del Sur y la India a partir de procesos imitativos.

Estados Unidos viene sosteniendo desde hace años un claro predominio en materia de innovación biotecnológica, apoyado en un sistema de ciencia y tecnología que cuenta con programas nacionales de investigación financiados públicamente y que está articulado con el mercado de capitales; en la definición y gestión de un marco regulatorio y de propiedad intelectual que se impone como modelo dominante a escala internacional y en una política de promoción productiva y escalamiento global en ciertos desarrollos biotecnológicos específicos (Mazzucato, 2013; Wade, 2014). Sobre esta base, Estados Unidos se volvió el actor dominante en el desarrollo de empresas especializadas en I+D biotecnológico y en la conformación (o re-configuración, según el caso)

10 En agosto de 2025 el gobierno de Estados Unidos rescindió 22 contratos para el desarrollo de vacunas de ARN mensajero alegando problemas de seguridad. Al respecto, ver: <https://www.lanacion.com.ar/estados-unidos/cancela-contratos-de-vacunas-de-arn-mensajero-y-cuestiona-su-seguridad-nid05082025/>

de grupos empresariales con un foco puesto principalmente en productos farmacéuticos o insumos agrícolas que tendieron a dominar estas industrias a nivel global. En los últimos años, este liderazgo productivo se verifica en su capacidad para generar diseños dominantes en torno de productos como las vacunas desarrolladas a partir técnicas de ARN mensajero, de fármacos elaborados a partir de moléculas complejas, como los anticuerpos monoclonales, así como también de nuevos productos agro biotecnológicos, ya sean transgénicos o a través de las técnicas de edición génica.

Por su parte, Europa, y sobre todo Alemania, detenta capacidades avanzadas de I+D y empresas de relevancia mundial, tanto en biofarma como en insumos agrícolas. La posición dominante de Estados Unidos, sin embargo, se verifica, no solo en su liderazgo a nivel científico y tecnológico, sino también en su capacidad para incidir y reconfigurar la relación entre las nuevas oleadas de técnicas biotecnológicas y los marcos regulatorios que le dan sustento a su difusión a nivel internacional.

China viene desarrollando desde hace tiempo una trayectoria de aprendizaje en materia de biotecnología, con una creciente intensidad de inversión en materia de I+D y en manufactura avanzada. Sus hitos principales fueron, en el caso de la biofarma, el desarrollo temprano, aunque con técnicas maduras, de vacunas contra el COVID y en materia agrícola, la adquisición en el año 2016 de una empresa europea, líder nivel mundial en el desarrollo y producción de semillas y agroquímicos (Sztulwark et al, 2023). Por su parte, otros países asiáticos han desarrollado estrategias diferenciadas, basadas más en la imitación temprana de biosimilares que en el desarrollo de productos biológicos originales (Lavarello et al, 2021).

En suma, para un país como Argentina, las oportunidades del escenario internacional en materia biotecnológica están asociadas a la capacidad de impulsar procesos de aprendizaje acelerados a partir de su interacción con los sistemas de innovación más avanzados (Europa y Estados Unidos) pero con un mayor espacio de complementariedad a nivel tecnológico y comercial con China y el resto del bloque asiático.

II.3 Transición energética

La transición energética constituye el tercer núcleo de transformación

tecnológica de gran envergadura a nivel global, con implicancias sistémicas en el plano productivo. A diferencia de los casos anteriores, donde los cambios tecnológicos son empujados predominantemente desde la ciencia, aquí el principal motor ha sido la demanda a través de la política pública. Frente a la actual crisis climática, las políticas orientadas al desarrollo y adopción de nuevas fuentes energéticas y tecnologías limpias han actuado como un potente catalizador de procesos de aprendizaje en un número significativo de industrias asociadas con la generación, almacenamiento, transporte, distribución y consumo de energía. La seguridad energética también ha sido impulsor del proceso de transición, especialmente frente al retroceso de algunos países en las agendas ambientales. La cuestión de la seguridad en la agenda de transición ha adquirido un protagonismo excepcional en el contexto de la guerra en Medio Oriente, frente al segundo shock de combustibles fósiles de la década (considerando a la Guerra en Ucrania y el cierre de los gasoductos hacia Europa el primero).

A lo largo de no más de 15 años las tecnologías limpias tuvieron muy fuertes ganancias de eficiencia, al punto de sobrepasar en ventajas de costos a las tecnologías fósiles¹¹. Este es el caso de los paneles solares fotovoltaicos y la generación eólica, que si bien son tecnologías que datan de la década los 70 y 80s (impulsadas originariamente por la crisis del petróleo), las ganancias de eficiencia y reducción de costos se han alcanzado a lo largo de la última década. Algo similar ocurre con las baterías de ion-litio, una tecnología cuyas patentes fundamentales se desarrollaron en los 80s, pero que el alcance de producción y difusión logrado en los últimos 5 años ha sido notable, de la mano del avance en la electromovilidad y su uso en baterías estacionarias para resguardo de energías renovables¹².

Gran parte de las innovaciones del núcleo de tecnologías limpias tiene una base de conocimiento científica basada en la química, la electroquímica y

11 El costo nivelado de la generación solar y eólica se ha visto reducido en forma consistente con las mejoras tecnológicas. Si bien depende de la calidad de los recursos renovables, en muchos casos los costos de generación a través de estas fuentes son menores que los costos nivelados de la generación a través de turbinas a gas en ciclo combinado, la tecnología de generación fósil más eficiente (Graham et al, 2025, Lazard, 2025 e IEA, 2025).

12 Las baterías pasaron de 800 a menos de 100 USD el KWh, entre 2024 y 2025 (Graham et al, 2025). Por otra parte, estimaciones de Lazard (2025) muestran para el caso de los EE UU que el costo nivelado de la generación solar con resguardo de baterías se equipara a la de generación de ciclo combinado (entre 50 y 116 USD por MWh, mientras que la generación solar sin baterías se ubica entre 38 y 78 USD por MWh).

los materiales (materiales, membranas, semiconductores), y en la ingeniería para el montaje de sistemas completos y la electrónica y la digitalización para el control automatizado. En el despliegue de este conjunto de innovaciones han sido fundamentales los procesos de aprendizaje por experimentación, las innovaciones incrementales, las tecnologías de procesos y las escalas de producción.

Posiblemente los casos de la energía solar y las baterías son los más significativos dentro de la revolución tecnológica de las energías limpias. Los avances científicos en materiales semiconductores han permitido que las celdas fotovoltaicas ganaran eficiencia (mayor generación por superficie), mientras que el crecimiento de la producción permitió reducir los costos de manufactura¹³. Por su parte, el almacenamiento de energía en baterías de gran capacidad y de densidad energética surge de un conjunto de innovaciones complementarias en las que convergen nuevos materiales con propiedades específicas y los sistemas de control electrónico (hardware y software) de gestión de un número creciente de celdas dentro de un pack de baterías (Battery Management System). El desarrollo de diferentes químicas de baterías, por ejemplo el litio hierro fosfato (LFP), fue determinante para la reducción promedio del costo de las baterías al minimizar el costo total de los materiales (este tipo de baterías no contienen cobalto)¹⁴.

Lo más relevante de este proceso es que las nuevas tecnologías limpias impactan sobre un universo mucho más amplio de servicios, productos y procesos asociados con la transición. En particular, porque facilitan la electrificación

13 Algunos medios se han referido a esta curva de aprendizaje como la ley de Swanson (en comparación con la ley de Moore, que se aplica a los microchips) según la cual cada vez que se duplica el volumen total de paneles solares producidos, su costo se reduce un 20 %. Los paneles solares redujeron sus costos de producción un 70%, de 9,70 dólares por vatio en 1980 a 3,03 dólares por vatio un cuarto de siglo después, en 2005. Bajó un 75% adicional en los diez años siguientes hasta 2015, alcanzando un precio de 0,75 USD por vatio y un 60% adicional hasta los actuales 0,3 USD por vatio. Estas reducciones de costos se deben a mejoras en la fabricación. (The Economist, 2012 <https://www.economist.com/cassandra/2012/12/19/beware-of-swansons-law>; Financial Times, 2016 <https://www.ft.com/content/d9f9f1b4-a3f0-11e5-873f-68411a84f346>).

14 Las baterías LFP han venido ganando proporción del mercado total de baterías desde 2020. Aun con menor densidad energética su uso en electromovilidad ha sido determinante en la reducción de costos de vehículos eléctricos y facilitó el despliegue de las baterías estacionarias. Las baterías LFP son en promedio un 60% más baratas que las NMC <https://about.bnef.com/insights/clean-transport/lithium-ion-battery-pack-prices-fall-to-08-per-kilowatt-hour-despite-rising-metal-prices-bloombergnef/>.

que es clave para el despliegue efectivo de las tecnologías digitales e incluso dan viabilidad a largo plazo a la IA. Esto ocurre no sólo porque pueden evitar el potencial desastre climático al que conduciría una expansión de la IA alimentada exclusivamente con energía fósil¹⁵, sino porque el despliegue de las energías renovables está favoreciendo procesos de electrificación que encuentran fuertes sinergias con las tecnologías digitales. Por ejemplo, solo a partir de las mejoras en las baterías de ion litio ha sido posible la producción de autos eléctricos competitivos y con altas prestaciones además de la reducción de emisiones (autonomía, seguridad). Al mismo tiempo los autos eléctricos facilitan la conducción autónoma y la integración de servicios digitales a la movilidad (convergencia entre teléfonos celulares, IA agente y automóvil) a partir de la integración de datos sobre tránsito, conducción, destinos, etc. Por otra parte, el mismo crecimiento de la generación renovable ha puesto presión a las innovaciones en los sistemas eléctricos (por la intermitencia de la generación) abriendo el mercado de baterías estacionarias y su rol en la amortiguación de sistemas eléctricos con predominio de renovables.

Por otro lado, las ganancias en eficiencia en la generación renovable están abriendo la posibilidad de producción de hidrógeno de bajas emisiones, esto permite el desarrollo de nuevas tecnologías como los electrolizadores y las pilas de combustibles, que comparten una misma base de conocimiento que las baterías de ion-litio (electroquímica). El desarrollo del hidrógeno permitiría descarbonizar sectores críticos lo que requerirá de innovaciones complementarias (hornos de reducción directa de hierro a hidrógeno, combustibles sintéticos, y una nueva rama de industria química pesada basada en hidrógeno en vez de hidrocarburos, incluyendo fertilizantes de origen no fósil).

Resulta importante señalar que las tecnologías mencionadas hasta aquí son tan solo el núcleo de un sistema tecnológico mucho más amplio y complejo, que incluye por ejemplo la iluminación led (tecnología también asociada a los semiconductores y que tiene un impacto crucial en la eficiencia energética), los superconductores eléctricos (fundamentales para el transporte de electricidad desde los lugares con recursos renovables hasta los centros de consumo), las tecnologías para redes inteligentes (incluyendo medidores inteligentes,

15 Se estima que la tasa de crecimiento de la demanda de energía eléctrica se duplicará en los próximos años a consecuencia de la expansión de la IA pasando de una tasa histórica 2% anual a un 4% anual o superior, mientras que se estima que la demanda de electricidad originada en la IA se cuadruplicará en los próximos años (IEA, 2025).

gestores de baterías, inversores eléctricos) que implica la digitalización de la gestión de las redes eléctricas y su integración con herramientas de IA, las bombas de calor para la calefacción doméstica eléctrica y la combinación entre biocombustibles con combustibles sintéticos (HVO) y tecnologías para almacenamiento, captura y uso de carbono (CCUS por sus siglas en inglés). Este último caso, es observado con especial interés como estrategia de descarbonización de las industrias de petróleo y gas, en la medida en que por un lado extienden la vida de los recursos fósiles mientras que involucran capacidades propias de estas industrias asociadas con la geología, la gestión de gases, y la inyección de sustancias en el subsuelo. De hecho, gran parte de los proyectos de CCUS son desarrollados por empresas de petróleo y gas, donde la reinyección de CO₂ reemplaza el uso de agua u otras sustancias en la recuperación terciaria de petróleo. En este escenario no puede dejar de subrayarse la importancia de la transición del propio sector e industrias hidrocarburíferas, donde el gas gana protagonismo como combustible de la transición (o puente para la descarbonización) por sus menores emisiones asociadas y sus ventajas de costos.

En todos estos casos de sectores asociados a la transición sobresale la importancia de la industria de bienes de capital, ya sea en la producción de equipamiento para la generación y transporte eléctrico, como en la producción de bienes de consumo durable en el proceso de electrificación (de hogares, transporte, etc). La riqueza y vastedad del sistema tecnológico que se despliega con el crecimiento de las tecnologías limpias abre grandes ventanas de oportunidad de equipamiento crítico (aerogeneradores, paneles solares, electrolizadores, autos eléctricos, baterías, equipamiento y tecnología para la industria de petróleo y gas), pero también la posibilidad de ventanas menores o idiosincráticas que pueden ser aprovechadas por actores de menor tamaño (trackers y soportes para paneles solares, inversores eléctricos, partes y piezas para el equipamiento de energía eólica, equipamiento para biogás como biodigestores, dispositivos para redes inteligentes, integración de sistemas electrónicos y luminotécnicos, proveedores metalmecánicos para la industria del petróleo y gas, equipamiento para industria de procesamiento de hidrocarburos, etc).

Una última consideración sobre este núcleo tecnológico refiere al uso intensivo de nuevos materiales y especialmente nuevos recursos mineros. Los materiales para la producción de baterías (litio, níquel, cobalto), de cobre

para la expansión de la electrificación, de tierras raras para la producción de los imanes permanentes requeridos en los aerogeneradores y en los motores eléctricos, el silicio para los paneles solares, las luces led, las pantallas, entre otros usos, hace que la industria de extracción y procesamiento de estos minerales sea un eslabón fundamental de estas nuevas cadenas, así como la extracción también constituye un núcleo central en el paradigma fósil.

Las fases de extracción y procesamiento de los denominados materiales críticos para la transición hoy se encuentra fuertemente concentrada en capitales chinos, sobre lo cual han montado su estrategia de control sobre las cadenas completas de tecnologías limpias. El modo organizacional chino en las cadenas de valor de las tecnologías limpias ha permitido una baja constante de los precios de estas tecnologías, pero al mismo tiempo ha desplazado jugadores occidentales y desalentado el ingreso de nuevos jugadores. En la medida en que China ejerce el control del mercado de cadenas críticas, una lógica de inversiones guiadas por la rentabilidad esperada de mercado se ve desafiada por potenciales intervenciones estratégicas de China sobre las cadenas de valor. El riesgo de un juego estratégico de China afecta la “bancabilidad” de los proyectos, es decir no hay financiamiento que pueda congeniar el alto riesgo de intervención de mercado con menor rentabilidad por precios bajos.

Esta situación conduce a que en **materia geopolítica** se verifique un cambio de gravitación de occidente a Asia a partir del ascenso, en particular, de China como el epicentro del liderazgo en este tipo de innovaciones. Los orígenes de este giro deben buscarse hace más de cuatro décadas, con las políticas de deslocalización de actividades manufactureras de los años 90s y 2000s. La radicación de centros de manufactura en China promovida por las grandes empresas multinacionales de Estados Unidos y Europa provocaron una pérdida de capacidades de innovación y particularmente de escalado a la manufactura y facilitaron el aprendizaje tecnológico del gigante asiático.

EEUU dominó en sus comienzos un conjunto amplio de las tecnologías limpias, como paneles solares cuyas patentes fundamentales eran norteamericanas, con un desarrollo de la tecnología vinculado a la industria de semiconductores (laboratorios Bell) y aplicaciones aeroespaciales. Actualmente ha sido desplazado por China, especialmente en las tecnologías de manufactura y la escala de producción en los paneles de primera generación (silicio cristalino). Sin embargo, el liderazgo en tecnologías fotovoltaicas de segunda generación

(telurio cadmio), que apunta a reducir costos y de tercera generación, cuyo objetivo es incrementar la eficiencia, aún está en disputa entre empresas chinas, alemanas y norteamericanas.

En el caso de los aerogeneradores, Europa mostraba liderazgo, especialmente a partir del desempeño tecnológico y de mercado de las empresas Siemens-Gamesa, Vestas y Nordex, sin embargo, la potencia manufacturera china, junto con el encarecimiento de la producción europea de la mano del aumento de los costos de la energía, han hecho que hoy las marcas chinas como Goldwind dominen el mercado y sean líderes tecnológicos, en por ejemplo, eólica off-shore. En el caso del hidrógeno, Alemania apostó a sostener el liderazgo tecnológico, con el desarrollo de tecnologías PEM¹⁶ en electrolizadores. China, por su parte, sin competir en esta trayectoria apostó por la menos compleja pero más estable y barata tecnología de electrólisis alcalina, pudiendo hoy comercializar equipamientos hasta cuatro veces más baratos que los alemanes¹⁷.

En el caso de las baterías, el predominio tecnológico estaba en EEUU, Japón y Corea del Sur, con experimentación en químicas de batería de alta densidad energética y bajo peso (NMC). China, por su parte, utilizó su producción creciente de autos eléctricos como espacio para el aprendizaje en baterías de litio ferro-fosfato (LFP), menos aptas para autos de alto rendimiento, pero más estables y baratas. Con mejoras incrementales actualmente las baterías LFP están en un rango de performance similar a las níquel-manganeso-cobalto (NMC).

Frente a esta pérdida de capacidades de frontera en muchas de las tecnologías limpias EEUU opta por fortalecer su posición dentro del paradigma fósil liderando la extracción de recursos no convencionales. Esto le ha permitido a EEUU volverse un exportador neto de hidrocarburos, con una posición muy fuerte en GNL.

16 La tecnología PEM se refiere al Intercambio protónico de membrana, esta tecnología puede producir hidrógeno de alta pureza y presurizado, lo que permite trabajar con mayores volúmenes, como desventaja, la tecnología es menos conocida y requiere ser optimizada, también lleva platino e iridio que encarece el equipamiento y lo hace sensible a los precios de materiales críticos.

17 Hydrogen Insights estima que los electrolizadores alcalinos chinos son <https://www.hydrogeninsight.com/electrolysers/chinese-alkaline-electrolysers-are-more-expensivewhen-exported-but-still-a-quarter-of-the-price-of-western-tech-woodmac/2-1-710385>

En síntesis, actualmente China muestra dominio en todas las tecnologías limpias especialmente en lo que refiere a capacidad de manufactura. Aun cuando las patentes en las tecnologías de frontera puedan estar en manos de empresas europeas, japonesas, coreanas o norteamericanas, las mejoras incrementales sobre las tecnologías más maduras y las altas escalas de producción, conducen a que China controle sus mercados principales incluso limitando el potencial desarrollo de esas trayectorias tecnológicas. Europa sostiene sus objetivos de descarbonización y apunta a una estrategia de industrialización verde le permita recomponer capacidades industriales, pero hasta la fecha estos esfuerzos no han mostrado resultados contundentes. Por su parte, EEUU que se posiciona en un lugar de mayor fortaleza que la UE al disponer de recursos hidrocarbúricos, garantizando de este modo la seguridad energética, apunta a sostener competitividad de su industria con bajo costo de la energía de origen fósil. Esta estrategia, tiene sus riesgos, tal como lo demuestra la volatilidad de los precios de los hidrocarburos.

Un punto crítico de la geopolítica en tecnologías limpias refiere a los materiales necesarios para la manufactura de los equipos e infraestructuras. De hecho, la escasa disponibilidad y la enorme capacidad de procesamiento localizada en China ha vuelto al abastecimiento de estos materiales una cuestión crítica para el despliegue de las tecnologías de la transición y otras industrias relacionadas, incluyendo industrias duales (civil-militar). Esto ha despertado preocupaciones por cuestiones de seguridad, por ejemplo por el uso de baterías en drones, equipamiento crítico de la industria militar. Por otro lado, los países con disponibilidad de estos materiales, pero sin capacidad de procesamiento ni de manufactura de las tecnologías limpias han buscado a través de políticas basadas en el nacionalismo de recursos escalar en cadenas de valor (Estevez y Riofrancos, 2025).

Este hecho junto con el dominio de las cadenas de suministros de materiales estratégicos hace que sea muy difícil para Europa, Estados Unidos y otros países del mundo disputar este liderazgo. Frente a esta situación se observan dos tendencias: por un lado Europa, que aspira a sostener su agenda de descarbonización, se encamina a atraer inversiones chinas y solicitar contenido local y transferencia tecnológica. Por el otro, Estados Unidos abandona la agenda de la transición y se embarca en una estrategia para establecer un liderazgo energético norteamericano basado en la explotación y exportación de combustibles fósiles, con foco especialmente en gas natural licuado. Esta

posición puede ser entendida como defensiva, ya que surge en el contexto en el que China emerge como líder indiscutido de la transición energética y utiliza como arma el acceso a minerales críticos.

III. Argentina: capacidades locales en núcleos estratégicos

Como se desprende del análisis previo, la aceleración del cambio tecnológico en la IA, la biotecnología y la transición energética, con la emergencia de un nuevo jugador mundial y el recrudecimiento de las disputas por la provisión de los materiales críticos y el control de las tecnologías clave plantea ventanas de oportunidad transitorias en ciertos rubros en los que Argentina cuenta con capacidades y/o recursos complementarios para el ascenso industrial. Como se discutió en la primera sección, la reindustrialización requiere seleccionar aquellos sectores en los que, si bien la frontera es amplia, existen posibilidades de acortar distancias tecnológicas y de productividad a partir de una acción deliberada de política industrial.

Digitalización e IA

Argentina está lejos de la frontera tecnológica en materia digital en todos sus componentes. Esto plantea un gran desafío para la política industrial, ya que una adopción pasiva de estas tecnologías condiciona la trayectoria de desarrollo, no solo de las TIC, sino de una multiplicidad de actividades usuarias. Sabemos que los modelos de negocio de varias industrias manufactureras y agrícolas están sujetos a economías de red, en las que las plataformas digitales son las que mayor capacidad tienen para apropiarse de rentas (Rikap y Lundvall 2022). Por ejemplo, las plataformas en la industria de maquinaria agrícola condicionan el mantenimiento de capacidades en un segmento donde Argentina tuvo ventajas competitivas. El acceso a datos por parte de las empresas que controlan estas plataformas les permite entrenar modelos sobre una base más amplia¹⁸ y avanzar en modelos predictivos, acortando el ciclo de lanzamiento

18 En el caso de Bayer, obtiene datos provenientes de más de 89 millones de hectáreas en 20 países que están suscritos a su plataforma Climate FieldView. La plataforma digital de Syngenta cubre más de 88 millones de hectáreas en todo el mundo. Thomas Eickhoff, "New Frontiers in Digital and Carbon Farming", Bayer, 20 de junio de 2023, <https://>

de nuevos productos (por ejemplo, Bayer afirma que al usar IA para analizar datos genómicos ha reducido los ciclos de mejora genética de 5-6 años a solo 4 meses¹⁹). Quienes controlan las capacidades de cómputo y el entrenamiento de modelos específicos para cada industria usuaria a través de la nube podrán consolidar su liderazgo (por ejemplo, John Deere).

El primer componente a analizar es la capacidad de Argentina en el segmento de desarrollo y manufactura de chips. Argentina no cuenta con capacidades medias en este segmento. Solo existe cierta capacidad de desarrollo de chips analógicos (para WiFi, Bluetooth, 5G, radares), no así de chips más avanzados, donde predomina la importación desde las fundiciones asiáticas²⁰. Existen complementariedades en el diseño y producción conjunta con Brasil de microcontroladores (MCUs), con aplicaciones específicas para control industrial en la agroindustria, sistemas para vehículos eléctricos/biodiésel o dispositivos médicos de bajo costo.

En cuanto al desarrollo de modelos de lenguaje, existen capacidades privadas en ciertos grupos de plataformas de comercialización y sistemas de pagos electrónicos que han incursionado en la IA. Argentina cuenta con una industria de software que tuvo su desarrollo a partir de la Ley de Software del 2004, con capacidades de programación, y que hoy enfrenta el desafío de avanzar en la automatización de ciertas fases de programación y ampliar su oferta de servicios para diversificar su cartera de clientes. Entre las grandes empresas ya internacionalizadas, se adopta una estrategia de desarrollo de modelos de lenguaje para usos específicos, adaptando los grandes modelos de lenguaje dominantes a nivel internacional, buscando insertarse en cadenas globales de valor hegemónicas por grandes plataformas.

No obstante, esta trayectoria de inserción en plataformas globales en un

www.bayer.com/sites/default/files/2023-07/New%20Frontiers%20in%20Digital%20and%20Carbon%20Farming_CS%20Innovation%20Summit%202023.pdf.

19 <https://www.bayer.com/en/innovation/unleashing-the-potential-of-ai>

20 Es de resaltar que Brasil cuenta con capacidades de manufactura de este tipo de chips ya maduros. Además de contar con centros como el CEITEC tienen capacidades de producción en series chicas y existen capacidades de manufactura en empresas como HT Micron (filial de la empresa de Corea del Sur) para chips que provee a las filiales de electrónicas de consumo (teléfonos, televisores y computadoras) y usos industriales en internet de las cosas con el desarrollo de Semi-conductores para Sistemas Lora de comunicación de amplio alcance de uso en el agro. <https://htmicon.com.br/>

esquema concentrado es acompañada por potencial en materia de desarrollo de contenidos digitales. Este es el caso de la industria de videojuegos, en la que Argentina muestra un liderazgo en América Latina a partir de sus ventajas de programación y la especificidad del lenguaje. Es de destacar un nutrido ecosistema de empresas de programación de videojuegos que emplea a más de 10.000 profesionales (desarrolladores, artistas, diseñadores, productores, etc.), con un fuerte crecimiento en roles técnicos y creativos. Se destacan 5 jugadores de relevancia regional, 5 medianos, 10 pequeños y 20 micro, sumado a más de 600 iniciativas individuales con instancias de formación retroalimentadas comunitariamente²¹.

Por último, en materia de infraestructura, Argentina desarrolló entre 2011 y 2020 el tendido de redes de fibra óptica en el marco de la Red Federal de Fibra Óptica (REFEFO) y capacidades en desarrollos satelitales en torno a la empresa estatal subnacional INVAP. También cuenta actualmente con un número reducido de centros de datos operados tanto por actores públicos como privados. En Argentina existen 49 centros de datos (mientras que en Brasil hay 211 y en Chile 64)²². La capacidad alcanza cerca de los 32 MW y entre los principales centros de datos se encuentra el de ARSAT²³, empresa estatal argentina que presta servicios a organismos estatales, universidades y sectores productivos. Se trata de un centro de datos de tecnología avanzada Tier III, ubicado en la provincia de Buenos Aires. Si bien su arquitectura no está optimizada específicamente para cargas de trabajo intensivas en IA, como el entrenamiento de modelos de lenguaje o redes neuronales multimodales, sus capacidades podrían ampliarse en el marco de joint ventures público-privadas²⁴. También es de destacar, que el sector privado ha instalado centros de datos modernos operados por grupos como Telecom, Claro, Kio Networks o Equinix. Estas empresas ofrecen servicios de colocación, respaldo, almacenamiento y conectividad para clientes corporativos, pero no han sido diseñadas para

21 Observatorio de la Industria de Videojuegos de Argentina. Informe 2024. ADVA

22 <https://www.datacentermap.com/datacenters/>

23 <https://www.arsat.com.ar/datacenter/>

24 En el ámbito científico la Argentina cuenta con la supercomputadora Clementina XXI, inaugurada en 2023 en el Centro de Datos de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), representa un hito en capacidad de cómputo para el país. Su uso está orientado a investigaciones en física, química, bioinformática y otras áreas académicas, pero no se configura como un entorno abierto o compartido para el entrenamiento de modelos de IA de uso general ni para ofrecer servicios públicos de inferencia (<https://www.argentina.gob.ar/ciencia/sistemasnacionales/clementina-xxi-descubri-la-supercomputacion>).

desarrollar modelos de IA a partir de entrenamientos con cómputos de alto rendimiento (HPC) basados en GPUs.

Por lo tanto, Argentina depende casi por completo de plataformas de grandes jugadores mundiales para entrenar y desplegar modelos de IA. La demanda local de centros de datos es provista por servicios como AWS, CoreWeave, Microsoft Azure, Google Cloud, RunPod, Lambda Labs y Paperspace. Todas estas empresas localizan sus centros de datos en países con mercados más grandes. Este es el caso de Microsoft Azure, que cuenta con una planta con GPUs. La latencia no es óptima, pero es apta para muchos trabajos por lotes (batch) y es uno de los grandes proveedores de infraestructura. La ausencia de capacidades locales se traduce en una baja soberanía sobre los datos, creando dependencia operativa, servicios no adaptados para grandes flujos de trabajo, fuga de divisas y pérdida de control sobre los datos y los modelos.

Anuncios sobre la instalación de un gran centro de datos ("Megascaler") de 500 MW de capacidad en el que invertiría la empresa líder mundial OpenAI en asociación con empresarios locales abrió la discusión sobre los desafíos para la inserción de Argentina como exportador de capacidad de cómputo y la necesidad de avanzar en una regulación. Más allá que el anuncio no se cumplió, es de interés dar cuenta que esa modalidad de inserción en el primer eslabón de la cadena de IA se basa en la transformación de energía en capacidad de cómputo, una alternativa para países ricos en recursos naturales, como Arabia Saudita. Dada la fuerte sobrecapacidad estimada, a menos que se diseñe para usos específicos, llevaría a un segmento altamente comoditizado: vender capacidad de cómputo a bajo precio. En el mejor de los casos, y siempre que haya una planificación a mediano plazo, generaría algún encadenamiento con el sector nuclear o el desarrollo de fuentes de energía limpia. Por otro lado, la demanda de fuerza de trabajo es muy baja, en tanto las tareas de programación se realizan en forma remota en las casas matrices de los grupos que controlan los centros de datos (Arbache, 2024) mantenimiento y gestión de la integración física-energética. Un centro de datos mediano en operación no emplea más de 100 trabajadores, y requiere una evaluación de los efectos socioambientales, desde el uso de recursos hasta el desplazamiento de otras actividades. La prudencia estratégica es clave, dado el actual proceso de sobre expansión de estos proyectos en varios bloques (Leicht, 2025).

Biotecnología

A diferencia de la IA, la Argentina ha logrado mantener una larga tradición histórica de investigación científica en el campo de las disciplinas de base biológica. A lo largo de las últimas décadas, y con las sucesivas oleadas de nuevas técnicas biotecnológicas, se fue produciendo en el país un sostenido incremento de sus capacidades básicas y aplicadas en este campo. Esto incluye el aumento de la oferta académica con carreras de grado y posgrado, el incremento en el número de investigadores en las disciplinas afines radicados en Institutos y centros de investigaciones dependientes del CONICET, las Universidades Nacionales y el INTA y, por consiguiente, de un fortalecimiento de las capacidades del sistema para desarrollar de capacidades innovativas en torno de la biotecnología (Sztulwark y Lavarello, 2025; Stubrin, 2022).

La política científica también evolucionó en este periodo acompañando al desarrollo biotecnológico de los organismos de CyT y, en parte, a la creación de empresas. Así, ya en la primera mitad de la década de 1980 se crearon los primeros programas de apoyo a la actividad biotecnológica y de cooperación internacional. La relevancia del sector biotecnológico llevó a la creación de programas, fondos y líneas específicas desde la década de 1990 así como a su incorporación en los planes estratégicos de ciencia, tecnología e innovación que se formularon durante las primeras dos décadas del presente siglo. Sin embargo, los niveles de inversión en I+D son relativamente bajos y con cierta inestabilidad sujeta a las dificultades macroeconómicas y al cambio en la orientación general de las políticas públicas (Sztulwark et al, 2023).

La política orientada al sector productivo, aunque cuenta con algunos instrumentos, fue el eslabón más débil de este esquema de promoción.

Entre estos instrumentos se destacan los beneficios impositivos que otorga la Ley de Biotecnología N° 26.685 y los Fondos de capital semilla creados por la Ley N° 27.349 de Capital Emprendedor y gestionados por las aceleradoras, que han permitido la multiplicación de las pequeñas empresas, especialmente start-ups, en los últimos años (Stubrin, 2022). El desarrollo de las capacidades productivas en torno de la moderna biotecnología en Argentina tuvo una trayectoria sujeta a una fuerte especificidad sectorial. En el caso de la Salud Humana, que en parte converge con el segmento de Salud Animal, esa trayectoria productiva se inicia en la década de 1980 con la instalación de las

primeras firmas dedicadas a la biotecnología. Desde entonces esta actividad se ha ido complejizando, principalmente desde la década de 1990 con la creación de pequeñas y medianas empresas nacionales que se involucraron en desarrollos tecnológicos propios, aprovechando oportunidades de bajo costos regulatorios, nichos de productos específicos o mercados de baja escala, es decir aquellos espacios que las empresas multinacionales no abordaban. La falta de alineamiento de los instrumentos de promoción industrial con la política de CyT, así como la dificultad de ampliar el mercado hacia el espacio regional, truncaron el escalamiento productivo.

En ese contexto, Argentina fue desarrollando un enfoque estratégico de la propiedad intelectual que permitió, a través de una serie de definiciones institucionales compatible con el marco internacional vigente, limitar las prácticas de sobre-patentamiento de las empresas multinacionales y abrir, de este modo, un espacio para las innovaciones incrementales de empresas nacionales. Es de crucial importancia valorizar estos aprendizajes institucionales, uno de los más importantes de las políticas industriales de inicios del nuevo milenio, evitando que sean modificados en los acuerdos comerciales bilaterales.

Esos avances, a su vez, se dieron en el marco de políticas de promoción específicas a ese sector. En particular se destacan los programas implementados por la Agencia Nacional de Promoción de la Ciencia y la Tecnología. Una primera generación de instrumentos, como los Aportes No Reembolsables o el Créditos Fiscal, de carácter más horizontal, tuvieron un impacto menor. Sin embargo, a partir de una serie de aprendizajes institucionales, en el año 2010 se desarrolla un instrumento de promoción más avanzado, el FONARSEC, que tiene un carácter más selectivo y sistemático, y que dio apoyo a la generación de plataformas biotecnológicas para la producción nacional de vacunas y de proteínas recombinantes (Lavarello et al, 2023). Las políticas de ciencia y tecnología en este campo, sin embargo, no estuvieron siempre bien integradas con otros instrumentos de promoción complementarios, como el caso de las compras públicas. En efecto, una excesiva fragmentación de los sistemas de compras del gobierno y del sistema público de seguridad social limitó la posibilidad de alcanzar economías de escala necesarias para un mayor desarrollo industrial.

Desde el punto de vista productivo, de acuerdo con Lavarello et al (2023), el país cuenta con una importante base empresarial en este rubro. De las

71 empresas existentes, casi la mitad son emprendimientos productivos que aún no han superado la fase de desarrollo de producto. Del resto se destaca un conjunto de filiales de empresas multinacionales (15%), otro de firmas especializadas en biotecnología (10%) y, finalmente, de un segmento de empresas farmacéuticas diversificadas (27%). En ese marco, se fue construyendo un sendero de maduración tecnológica que permitió pasar, en una primera etapa, de la imitación de productos biosimilares de primera generación (moléculas simples) al desarrollo y producción de biosimilares de segunda generación (moléculas más complejas, como los anticuerpos monoclonales), que demandan una mayor capacidad de desarrollo de producto y de un estándar de calidad en bioprocesos compatible con los elevados estándares internacionales. En esa trayectoria se inscriben, además, la capacidad de producción de vacunas y el desarrollo de kits de diagnóstico.

En el caso de las aplicaciones al sector agrícola, el segundo gran vector de la biotecnología, el país adoptó desde mediados de los años noventa un marco regulatorio para la aprobación de cultivos transgénicos que habilitó una temprana y veloz difusión de esa nueva tecnología. En el marco de la existencia de ciertas capacidades previas en activos complementarios, como el caso de los desarrollos de mejoramiento vegetal por métodos convencionales, y articulada en el marco de un paquete tecnológico con agroquímicos y maquinaria agrícola, el país logró posicionarse como adoptante temprano de un modelo productivo de creciente dinamismo. La aprobación de eventos transgénicos, mayormente desarrollados por empresas multinacionales, se constituyó con el paso del tiempo en política de Estado, dando una gran continuidad a la trayectoria existente.

Una situación diferente ocurrió con las regulaciones en materia de propiedad intelectual, dado que las diferencias entre la Ley de Patentes y la de Obtenciones Vegetales provocó conflictos entre los proveedores de la nueva tecnología y los usuarios, sobre todo en las especies autógamias, como la soja o el trigo, que presentan condiciones técnicas de inapropiabilidad más fuertes (Rapela, 2020). Finalmente, con la aparición de la edición génica como técnica emergente, el país adoptó un marco regulatorio que implica una reducción de las barreras a la entrada para la aprobación de nuevos productos y que busca promover el desarrollo de nuevos emprendimientos nacionales (Goberna et al 2022).

Desde el punto de vista productivo, la biotecnología agrícola en Argentina se

encuentra dominada por empresas multinacionales radicadas en el país, que combinan su negocio de semillas con el de protección de cultivos y servicios de Agtech. Esta situación convive con una base emergente de empresas nacionales, mayor parte pequeñas y medianas, en rubros diversos como los bioinsumos, el mejoramiento vegetal convencional o emprendimientos en áreas de alta innovación (Sztulwark et al, 2023).

En ese marco se destacan algunos casos de empresas nacionales que, apoyadas en cierta trayectoria previa, han logrado avances significativos en materia de innovación biotecnológica, tanto en cultivos transgénicos, como el caso del trigo con tolerancia a la sequía, o en proyectos avanzados de impacto productivo en materia de edición génica. También se destaca el caso de una firma orientada al fitomejoramiento convencional, aunque asistido por marcadores moleculares, que ha logrado una muy exitosa internacionalización en el caso de nuevas variedades de soja. En el rubro de los bio-insumos, en el marco de una heterogénea base empresarial, se destaca el caso de una empresa de bioestimulantes de alcance global integrada en un grupo económico nacional, así como de emprendimientos de alto potencial innovativo, que incluyen el uso de las novedosas técnicas ARN mensajero. En la mayoría de estos casos, se trata de desarrollos tecnológicos vinculados al sistema científico-tecnológico público nacional (CONICET, INTA, Universidades) y, en menor medida, a programas de promoción empresarial a nivel provincial (O'Farrell et al, 2022; Gonzalo et al, 2023).

En suma, las oportunidades para el desarrollo de la biotecnología como promotor de procesos de cambio estructural se vincula con el fortalecimiento del sistema de ciencia y tecnología, con la articulación de este sistema con la emergente base empresarial existente y en la puesta en marcha de mecanismos de promoción productiva que permitan un salto de escala compatible una dinámica industrial de alcance mundial. Se trata de un conjunto de actividades productivas diferenciadas pero que tienen una base tecnológica común, en las que el país tiene ciertas ventajas relativas a otros campos de conocimiento de fuerte dinamismo mundial.

El aprovechamiento de estas oportunidades, en varios segmentos de las industrias mencionadas, está vinculado, además, con una mirada estratégica relativa al marco regulatorio y la gestión de la propiedad intelectual, elementos decisivos en una actividad en la que toda innovación de producto

es un acto mediado por la norma y sobre cuya configuración tiene una alta incidencia un oligopolio altamente consolidado a nivel mundial (Sztulwark y Laverello, 2025). En el caso de la salud humana y animal, el requisito de novedad requerido para otorgar una patente (altura inventiva) y el alto estándar regulatorio para aprobar su uso, adquiere un carácter decisivo, ya sea para sostener una trayectoria de aprendizaje a partir de la alta innovación de los países desarrollados como para obtener acceso a nuevos mercados en los que existen altas barreras regulatorias. Una mejor articulación a nivel nacional y regional del sistema de compras públicas, aparece como un espacio necesario para promover un salto de escala a nivel de manufactura.

Por el lado de la biotecnología agrícola, en cambio, la ventaja principal radica en existencia de un mercado de semillas e insumos agrícolas de gran escala en los países del Mercosur que puede actuar, si se da una mejor coordinación pública a nivel regional, como un importante vector por el lado de la demanda. Esa oportunidad, a su vez, se ve amenazada por cierta percepción pública negativa respecto a la alimentación de productos transgénicos como por el impacto ambiental que se deriva de un paquete tecnológico que, en algunos casos, provocó un fuerte proceso de intensificación química. En sentido contrario, la sustitución de productos químicos por otros de tipo biológico y el pasaje de productos transgénicos a otros editados genéticamente (que no incluyen la presencia de genes foráneos) emerge como un camino de alto potencial para el desarrollo de la industria agro-biotecnológica argentina.

Transición energética

En el caso de las tecnologías limpias, la mayor distancia se presenta a causa de las masivas escalas de producción chinas, que son las responsables de la caída de los costos de producción y básicamente alejan de la competencia a potenciales nuevos ingresantes. Sin embargo, al igual que en los núcleos previos, hay en el país capacidades incipientes que podrían potenciarse en trayectorias de alcance regional o participando de una forma creciente (mayor valor agregado, producción y empleo) aunque periférica (sin jugar un lugar de liderazgo tecnológico) dentro de estas cadenas. Las ventajas radican en que existen desarrollos de capacidades en ciencia, tecnología e innovación en segmentos críticos de estas nuevas tecnologías y en una base industrial manufacturera que puede beneficiarse de una actualización tecnológica por el despliegue de nuestras industrias limpias.

Por otra parte, debe mencionarse que existe una distancia importante entre el actual desarrollo de Vaca Muerta y competencias tecnológicas autónomas para la extracción, procesamiento y exportación de hidrocarburos y especialmente de GNL. El desarrollo del proyecto actual basado en una planta licuefactora flotante, si bien es una buena noticia en materia de ampliación de la capacidad exportadora argentina, es limitado el desarrollo de capacidades tecnológicas propias.

Entre los principales desarrollo tecnológicos locales corresponde mencionar: i) el desarrollo de la tecnología LFP y la construcción de una planta de baterías de escala demostrativa entre YTEC, Conicet y la Universidad de La Plata, ii) desarrollo de un electrolizador alcalino (YTEC) y dos plantas de producción de hidrógeno en escala demostrativa (Hychico y Pico Truncado), iii) desarrollo de vehículos eléctricos y retrofit de buses²⁵, iv) desarrollo y producción de aerogeneradores (IMPESA y NRG Patagonia), más tarde discontinuada, y v) el proyecto para la producción de paneles solares en San Juan (EPSE). Todos estos casos han sido demostrativos de altas competencias locales en las áreas de conocimiento de las nuevas tecnologías limpias, pero no han mostrado capacidades de producción eficiente y en escala industrial.

Corresponde mencionar que parte de estas tecnologías Argentina las ha logrado dominar sobre la base de su conocimiento en industrias asociadas. Los avances en baterías y electrolizadores fueron realizados por YTEC (empresa de base tecnológica en cabeza de YPF y CONICET). Por otro lado, los conocimientos más profundos en energía solar se asocian al rol de CNEA y a la aplicación de paneles en la industria satelital argentina. En el caso del hidrógeno, también la CNEA junto a instalaciones clave como la planta de agua pesada, han avanzado en el conocimiento requerido para la producción de hidrógeno así como de amoníaco utilizado en la industria de fertilizantes²⁶.

La producción de aerogeneradores, por su parte, fue desarrollada por dos empresas vinculadas al sector energético en el país. IMPESA con competencias en la fabricación de equipamiento para centrales hidroeléctricas y NRG proveniente de la industria del gas y el petróleo. A estas trayectorias tecnológicas

25 Adaptación de buses a combustión a buses eléctricos.

26 La CNEA ha sido centro de formación de expertos en tecnologías asociadas a las energías limpias. Por ejemplo los mayores expertos de hidrógeno del país se vinculan con la producción de agua pesada que utiliza como tecnología de extracción de deuterio en el método denominado «intercambio isotópico monotérmico entre amoníaco-hidrógeno».

corresponde agregar una base industrial que puede adaptarse y perfeccionarse en estas industrias, por contar por ejemplo con un número importante de empresas con certificación ASME para manufactura compleja, incluyendo equipamiento utilizado en tecnología nuclear. En síntesis, el desarrollo de estas tecnologías en el país no solo cuenta con una base científica en universidades y centros tecnológicos, sino también una base industrial.

Sin embargo, todas las experiencias de desarrollos tecnológicos asociados a la industrias de la transición fueron truncadas en la fase del prototipo. La ausencia de una demanda doméstica para estas soluciones junto con regulaciones que promuevan su adopción y la ausencia de una política de integración regional en estas industrias limitaron la puesta en marcha de proyectos productivos. Hemos señalado que la demanda doméstica y la experimentación en la fase de producción fue crítica para que China pudiera introducir las innovaciones incrementales que condujeron a la reducción de costos. Sin la consolidación de una demanda doméstica o regional es difícil el escalado de las tecnologías desarrolladas exitosamente.

El rol de la industria del petróleo y gas puede jugar un papel contradictorio. Por un lado, ha sido impulsora de experimentación y desarrollo tecnológico en industrias limpias, pero al mismo tiempo el potencial hidrocarburífero del país y en especial desde el despliegue de Vaca Muerta puede alimentar una falsa dicotomía que, ante la ausencia de una estrategia deliberada de promoción de las energías limpias, trunque las oportunidades para aprovechar el despliegue industrial en torno a la transición energética.

La disponibilidad de recursos minerales críticos (litio y cobre) junto con las tecnologías vinculadas a extracción y las demandas socioambientales de las comunidades locales pueden ser herramientas determinantes para la construcción de capacidades de manufactura. Esto ocurre especialmente en el caso del litio, donde el acceso al material puede abrir un espacio para la negociación de transferencia tecnológica, agregado de valor y acceso a mercado de productos procesados (como materiales catódicos).

De hecho, desde el surgimiento de la minería de litio en el país, se ha consolidado una base científica con conocimiento sobre el recurso, sus formas de extracción y sobre procesamiento (hidrogeología de salares, síntesis de LFP, producción de litio metálico). Pero poner en valor estas capacidades científicas y técnicas

requiere de un proceso de negociación con las empresas que operan en los salares argentinos y de las cadenas de valor en baterías y electromovilidad. Hasta la fecha, estas capacidades se han desarrollado en ausencia de un vínculo efectivo con la industria extractiva. De hecho, la concentración de la extracción en empresas extranjeras ha limitado el acceso al material por parte de grupos de investigación. Por ejemplo, YTEC vio dificultado el acceso a carbonato de litio mientras que la empresa que desarrolló un proceso para producir litio metálico localizada en el parque tecnológico litoral centro (Clorar) accede a material y financiamiento chileno.

Transformar estas capacidades incipientes en una industria competitiva globalmente no es obvio ni sencillo. Muchas de estas capacidades tecnológicas están radicadas en Universidades, Centros Tecnológicos y start-ups de base tecnológica. La industria metalmecánica que puede acompañar al desarrollo de estas industrias está compuesta mayormente de pymes con capacidad adaptativa pero restricciones importantes en materia de capital y tecnología. Además es el segmento más golpeado por las políticas del gobierno de Milei, degradando día a día ese entramado productivo. Por su parte, YPF (a través de YTEC), IMPSA (actualmente en manos extranjeras) e Invap, son posiblemente las empresas de mayor tamaño con posibilidades de liderar algunas de las trayectorias asociadas a la transición. Pero dadas las condiciones actuales no es parte de sus estrategias corporativas.

Un comentario aparte merece la industria automotriz doméstica que se ha mantenido al margen de las transformaciones globales hacia la electrificación. A pesar de tener 9 terminales automotrices, en la actualidad no hay producción de vehículos eléctricos e híbridos²⁷, salvo la producción de modelos domésticos en baja escala de las empresas Volt y Coradir que manufacturan vehículos urbanos con restricciones de circulación en rutas y autopistas.

El desarrollo de las industrias de transición y especialmente de los segmentos de mayor valor de estas cadenas demandan altos volúmenes de capital, mercados amplios y actualización tecnológica. Las capacidades domésticas constituyen un buen punto de partida, pero posiblemente sea necesaria la participación de empresas extranjeras que operan en la frontera tecnológica. En este contexto,

²⁷ Stellantis recién en el 2026 podría empezar a producir dos modelos con una tecnología conocida como mild hybrid, que permite sobre la base de una batería recargable durante la conducción reducir el consumo de combustible, pero no cuenta con autonomía para desplazarse de forma eléctrica.

las políticas de inversiones extranjeras condicionadas a transferencia y contenido local pueden ser una estrategia crítica en estas industrias. También será crítico el mayor involucramiento de los grandes jugadores locales (YPF, Inva y posiblemente IMPSA).

IV. Elementos preliminares para la formulación de una estrategia de desarrollo productivo para Argentina

Del análisis combinado de las tendencias tecno-económicas a nivel internacional, con su manifestación en el recrudecimiento de la competencia mundial, y de las capacidades que la Argentina posee en las tres áreas que son objeto de este documento, es posible plantear en forma tentativa y exploratoria algunos elementos preliminares para la formulación de una estrategia de desarrollo productivo para Argentina. Estos elementos presuponen grados de autonomía política y de capacidad operativa a nivel estatal significativamente mayores a los prevalecientes en la actual coyuntura de desestructuración de las capacidades básicas del aparato público y de sobre-adaptación a los requerimientos geopolíticos de Estados Unidos y a las necesidades geo-económicas de China.

En el caso de la IA, dada la amplia e irreversible brecha tecnológica respecto al centro en materia de microelectrónica, el foco de una estrategia de desarrollo productivo debería orientarse hacia el desarrollo de software y modelos específicos a partir de datos locales. Para ello se deberán tener en cuenta tres aspectos: (i) la necesidad de establecer la soberanía de los datos, que será mayor cuando estos sean estratégicos; (ii) la complementariedad con el uso local: adecuar la infraestructura local a las necesidades de inferencia en sectores productivos que requieren acceso continuo a flujos de datos, como las actividades manufactureras y agrícolas; (iii) la especificidad del entrenamiento.

Es importante resaltar que Argentina muestra un amplio potencial de adopción de IA en usos específicos en sectores manufactureros y de contenidos digitales, entre ellos:

- En la industria de maquinaria y equipos, la posibilidad de incluir telemetría, que a partir de sensores y otras fuentes de datos entrene

modelos predictivos para mejorar los procesos productivos. Este es el caso de la fabricación de sembradoras, donde la empresa Crucianelli, a través de su empresa de agricultura de precisión asociada Leaf, tiene un desarrollo incipiente de servicios en tiempo real diagnósticos del desempeño de la siembra y sugiere al productor cambios de partes de la máquina, que dispute con la creciente expansión de las plataformas grandes multinacionales de maquinaria agrícola y agroquímicos-biotecnología,

- En la industria farmacéutica, además de utilizar IA para la gestión de stocks, se exploran alternativas entre empresas de biofármacos y el sistema científico para optimizar los (bio)procesos mediante el entrenamiento de modelos específicos con datos de distintos parámetros físico-químicos.
- La generación de algoritmos para optimizar el desarrollo de contenidos digitales (videojuegos y otros nuevos consumos en español).

Potenciar los usos específicos con la infraestructura de CYT (con universidades nacionales, CNEA) y empresas posibilitaría acciones conjuntas de política industrial en:

(i) Oportunidades científicas y tecnológicas, a partir de la inserción en redes internacionales y la creación de centros de excelencia en la formación de ingenieros y técnicos en desarrollo de modelos y programación en distintas capas que se articulen con institutos tecnológicos regionales. La potenciación de instituciones creadas recientemente, como es el caso del Centro interdisciplinario de inteligencia artificial es un punto de partida en este sentido.

(ii) Impulsar el desarrollo de capacidades tecnológicas en IA en modelos específicos en las firmas a partir del entrenamiento de Grandes Modelos de Lenguaje y/o modelos de código abierto financiados mediante mecanismos de aportes no reembolsables (ANR) y orientado a sectores manufactureros, contenidos digitales y servicios de software en los que existen paquetes tecnológicos abiertos (maquinaria agrícola, maquinaria para ciertos servicios mineros, etc.).

(iii) La reformulación de los regímenes promocionales existentes

estableciendo requisitos de desarrollo local de software y/o diseño de chips aplicados. Por un lado, establecer como condición para acceder al régimen de promoción de Tierra del Fuego al menos una línea de producción que desarrolle en la región y en el continente estas tecnologías. Por el otro, focalizar la Ley de Economía del Conocimiento a aplicaciones de software e IA orientadas a usos productivos y desarrollo de contenidos.

(iv) Impulsar marcos normativos adecuados que, además de asegurar soberanía y seguridad de los datos²⁸, generen un entorno transitoriamente protegido para desarrolladores locales de modelos específicos. En este sentido en el año 2023 se desarrolló una guía con directrices teóricas y prácticas destinadas al sector público, tendientes a garantizar la transparencia, confiabilidad y acceso equitativo a los avances tecnológicos vinculados a la IA²⁹.

(v) Requisitos de transferencia de tecnología y acceso a capacidad de cómputo a inversiones extranjeras en centro de datos. Participación de ARSAT y Gobiernos Provinciales en casos de inversiones conjuntas público-privadas.

Este tipo de estrategia requiere acciones coordinadas entre distintos organismos públicos y privados para el desarrollo de capacidades técnicas locales. Existen antecedentes de coordinación en este campo, como lo fueron la Mesa Nacional de Internet de las Cosas, entre el año 2021 y 2022, el Foro Argentino Multidisciplinario de Inteligencia Artificial, y su confluencia en la creación de la Mesa Interministerial de la IA del año 2023. Estas acciones si bien requieren secuencias de acciones en un proceso de ensayo y error en mesas de trabajo, demandan un importante grado planificación (sincrónica) de las distintas acciones, con distintos plazos de obtención de resultados, pero asociados al cumplimiento de metas como contraprestación de apoyo financiero. La apuesta estratégica es el desarrollo de modelos específicos para

28 Luvini, P., Juara, J. G., O'Farrell, J., Kunst, M., & Yankelevich, D. Oportunidades para la Argentina en la cadena de valor de la IA. FUNDAR Argentina.

29 En el marco de la Mesa Interministerial de la IA en el 2023 se avanzó en la elaboración de una propuesta de marco normativo y de política que incluía aspectos éticos (seguridad y privacidad de datos, manipulación, discriminación), riesgos asociados a la difusión (efectos sobre el empleo, sobre las brechas tecnológicas y la concentración) y aspectos del desarrollo local de la IA.

sectores que pueden ser rejuvenecidos o convergen tecnológicamente con la IA. Una estrategia de este tipo requiere acciones con distintos horizontes temporales:

- **Plan a cinco años:** ampliación de las capacidades de ARSAT para generar capacidad de cómputo para modelos específicos en sectores de agroindustria, bioprocesos y otras actividades usuarias intensivas en recursos naturales. Paralelamente, limitar la instalación de centros de datos que no cumplan con requisitos de uso de energía con bajas emisiones de CO² y técnicas que no usen agua para refrigeración. El impulso a inversiones conjuntas con capital extranjero (joint ventures) en centros de datos de tamaño intermedio, favoreciendo a empresas nacionales con participación estatal. La inversión estará sujeta a la transferencia de tecnología a la contraparte local, limitación al uso de datos locales y cumplimiento estricto de regulaciones socioambientales y de ordenamiento territorial.
- **Plan a 10 años:** promoción del diseño de chips y algoritmos adaptados a las necesidades de las industrias locales, mediante la subcontratación de manufactura a proveedores globales. Aprovechamiento de datos propios e integración con LLM abiertos para la producción en sectores críticos intensivos en datos (maquinaria agrícola, sistemas de automatización minera y petróleo y gas, biotecnología, defensa). Para tal fin adaptar la ley de promoción del conocimiento y el régimen de Tierra del Fuego con requisitos de desarrollo nacional.

En particular, estas medidas deberían estar acompañadas de un marco regulatorio para la adopción de IA y de centros de datos que tengan en cuenta distintos riesgos que plantean estas tecnologías: la pérdida de soberanía en áreas estratégicas, la seguridad y privacidad de los datos, la sustitución de control humano en áreas de decisión sensibles, el impacto ambiental de la instalación de grandes data centers con sus efectos en el uso del agua y la sobrecarga de la demanda de electricidad, y los efectos en las emisiones de carbono.

Cuadro 1. Núcleo estratégico de TICs. Síntesis.

Condiciones Tecno-económicas mundiales	Cambios geopolíticos y económicos	Capacidades nacionales de Argentina	Implicancias estratégicas: áreas de intervención
1. Avances en microelectrónica (chips) 2. Desarrollo de algoritmos (Grandes modelos de lenguaje) concentrado en “7 magnificients” 3. Infraestructura (Data Center y satelital) 4. Marco regulatorio en definición (barreras transitoriamente bajas)	1. Estados Unidos (y socios) lidera chips, IA e infraestructura 2. China disputa en modelos específicos IA y código abierto (dependiente de chips). 3. Europa domina bienes de capital (litografía EUV)	1. Brecha irreversible en motriz microelectrónica y GML de IA. 2. Científicos, Ingenieros y técnicos calificados en segmentos acotados de la frontera mundial de IA 3. Capacidades empresariales en difusoras: plataformas comerciales y de pagos, aprendizajes incipientes en electrónica, automotriz y agricultura de precisión. 4. Infraestructura (red fibra óptica)	1. Apoyo a oportunidades tecnológicas: Reforzamiento de las infraestructuras de cómputo (Data Center) y formación de programadores de excelencia. 2. Promoción de capacidades infantiles con foco en desarrollo de Modelos específicos (nichos de usos productivos en agro, minería, farma, contenidos digitales. 3. Marco regulatorio y de incentivos: Focalización régimen economía conocimiento, requisitos desarrollo en Compra gubernamental en modelos específicos. 4. Marcos normativos que garanticen soberanía y control democrático de datos

Condiciones Tecno-económicas mundiales	Cambios geopolíticos y económicos	Capacidades nacionales de Argentina	Implicancias estratégicas: áreas de intervención
			5. Gobernanza pública: Empresas mixtas en DATA CENTERS

Fuente: elaboración propia.

En **el caso de la biotecnología**, del análisis presentado se derivan un conjunto de implicancias estratégicas generales que conducen hacia una serie de acciones en campos de actuación complementarios.

En primer lugar, si bien el país cuenta con una importante tradición científica en este campo y, a su vez, durante las últimas décadas, se fueron desplegando instrumentos de promoción pública para el desarrollo tecnológico nacional, las asimetrías existentes en materia de escala de I+D en relación a los principales polos tecnológicos de la biotecnología mundial (Estados Unidos, Europa y el bloque emergente asiático) sigue siendo una barrera a la entrada que le pone un techo a la expansión de estas actividades. A su vez, no se trata solamente de un problema de escala de la inversión, sino también del modo en el que ésta se despliega, a partir de cierto grado de complementariedad entre la inversión pública en investigación básica y la privada más orientada al desarrollo de productos. De este modo, la primera y principal implicancia estratégica para el desarrollo de estas actividades consiste en un modelo de intervención pública a nivel científico y tecnológico que permita producir un salto de escala en materia de I+D en torno de las nuevas técnicas de recombinación genética y un nuevo tipo de articulación público-privada en el que la inversión pública en materia de investigación (genómica, proteómica, entre otras) se vea complementada con la inversión privada para el desarrollo de nuevos productos.

En segundo lugar, alcanzar escala de I+D y desarrollar nuevas complementariedades en el plano tecnológico es condición necesaria pero no suficiente para el desarrollo de un conjunto de industrias de base biotecnológica a nivel nacional. El escalado productivo asociado al desarrollo de nuevos

productos, ya sean éstos de carácter imitativo u original, supone promover capacidades en materia de bioprocesos que, en un marco de alta intensidad de la competencia a nivel mundial, constituye una segunda barrera a la entrada a sortear. Esta capacidad en materia de bioprocesos está asociada a una alta exigencia tanto de naturaleza tecnológica, en tanto las nuevas oleadas de técnicas biotecnológicas exigen constantes ajustes, como regulatoria, por los estándares internacionales en materia de manufactura que regulan la actividad. Esta capacidad en bioprocesos es particularmente crítica en las industrias de salud humana y animal, así como en la de bioinsumos industriales. Una situación diferente ocurre en el campo agrícola, en el que los procesos de escalado están asociados a procesos de reproducción biológico, vinculados centralmente a tareas de multiplicación de semillas, cuyas capacidades están bien desarrolladas en el país. En este campo, la complementariedad productiva principal a considerar es entre los eventos biotecnológicos y el breeding de semillas, actividad rejuvenecida por el uso de herramientas IA.

Un tercer campo de actuación para el desarrollo de la agrobiotecnología en el país tiene que ver con el marco institucional que regula la difusión de las tecnológicas y las condiciones de apropiación de las ganancias que se derivan de la innovación. Este marco institucional, como fue mencionado previamente, está fuertemente influenciado por los polos centrales a nivel mundial en materia de biotecnología. Esto es, tanto en el terreno del establecimiento de los estándares regulatorios que definen las condiciones de aprobación de nuevos productos y la validación de los bioprocesos como en materia de la legislación sobre propiedad intelectual, el margen de acción para un país como Argentina es más bien limitado. Sin embargo, la capacidad para explotar al máximo esos limitados espacios de libertad regulatoria, por ejemplo, en lo que refiere a las condiciones de patentamiento a nivel nacional de las innovaciones desarrollados por las empresas multinacionales, la incidencia sobre el marco que regula la aprobación de nuevos productos agrícolas a través de la edición génica o la posibilidad de desarrollar una “acción dorada” por parte del sector público cuando se transfiere tecnología estratégica al sector privado, por citar solo unos pocos ejemplos, constituye un desafío fundamental para la política pública.

Finalmente, el cuarto campo de actuación de tipo estratégico remite a las condiciones de acceso al mercado de los productos biotecnológicos desarrollados y producidos en el país. En efecto, en el marco de las condiciones geopolíticas

mencionadas previamente y de una coyuntura de nuevas prácticas comerciales de tipo proteccionista a nivel mundial, los procesos de articulación comercial a nivel regional en el espacio del MERCOSUR o de acuerdos comerciales con terceros países o bloques emergentes (como BRICs) en las industrias de base biotecnológica, aparecen como un espacio crucial para la intervención pública en este campo. En relación a la biotecnología agrícola, el elemento fundamental a considerar es la existencia a nivel MERCOSUR, de un sector agrícola de gran porte internacional que tracciona una alta demanda de insumos de alto valor. La regulación del acceso a ese mercado y la posibilidad de sustituir innovaciones provenientes de los principales polos de la biotecnología mundial se presenta como una acción estratégica de primer orden. Algo similar ocurre con la industria de vacunas y fármacos veterinarios. Por su parte, en relación a la industria farmacéutica, el acceso al mercado está vinculado, por un lado, a la articulación de las demandas del sistema público de salud, tanto nacionales como regionales y, por otro, al aprovechamiento de ciertos acuerdos comerciales extra regionales. Superar cierta fragmentación del sistema de compras nacionales y desarrollar mecanismos de integración y complementariedad a nivel regional y extrarregional en este campo, son desafíos de alta relevancia para la intervención pública.

En el marco de estos grandes campos de actuación, el desarrollo de la biotecnología en Argentina requiere un conjunto de acciones con diferentes horizontes temporales.

- **Plan a cinco años:** Reestablecer el financiamiento y la jerarquía institucional a las organizaciones que conforman el sistema de ciencia y tecnología nacional. En el campo propiamente biotecnológico, los actores centrales a fortalecer son el CONICET, Universidades y el INTA. Promoción, a partir de instrumentos financieros y tecnológicos, de apoyo acelerado a la generación de capacidades en bioprocesos del sector privado en biofarma y bioinsumos industriales. Articulación entre el desarrollo de nuevos productos agro-biotecnológicos y la industria de breeding convencional, rejuvenecida a partir de las nuevas técnicas de IA.
- **Plan a diez años:** Desarrollar proyectos estructurantes de alta innovación en el que se complementen los cuatro campos de actuación (ciencia y tecnología, escalado de procesos, marco institucional y acceso al mercado) de manera simultánea, a partir del desarrollo de núcleos productivos de carácter público privado, de alcance regional

pero con proyección global. Focos centrales de la innovación: eventos agro-biotecnológicos con nuevos rasgos de calidad nutricional y para mitigación de cambio climático y productos farmacéuticos principalmente imitativos, con apuesta complementaria por productos originales de nicho.

Cuadro 2. Núcleo estratégico de Biotecnología. Síntesis.

Condiciones Tecno-económicas mundiales	Cambios geopolíticos y económicos	Capacidades nacionales de Argentina	Implicancias estratégicas: áreas de intervención
1. Emergencia de nuevas oleadas científicas con impacto en técnicas productivas (ADNr, ARNm). 2. Transición de lo químico a lo biológico 3. Proceso de centralización de capitales. 4. Reducción transitoria de barreras regulatorias para el desarrollo de nuevos productos.	1. Estados Unidos / UE: liderazgo en nuevas biotecnologías 2. China: aprendizaje acelerado con brechas regulatorias. 3. India, Corea del Sur: aprendizajes acelerado reduciendo brechas regulatorias.	1. Capacidades CyT en desarrollo de eventos agrobio/ imitativos farma de la motriz (crisis de financiamiento) 2. Capacidad empresarial acotada en difusoras semillas, biosimilares, vacunas y en insumos agrícolas e industriales 3. Ausencia de articulación de un mercado regional ampliado	1. Apoyo a oportunidades tecnológicas: Salto de escala en proyectos de I+D en nuevas técnicas 2. Promoción de capacidades infantiles en nuevas generaciones de IFA y semillas / empresas locales 3. Marco regulatorio y de incentivos: Autonomía relativa en materia de propiedad intelectual y estándar regulatorio 4. Articulación regional (Mercado ampliado Mercosur) 5. Gobernanza pública: Participación pública en empresas promovidas.

Fuente: elaboración propia.

En el caso de **las industrias de la transición energética** el análisis realizado destaca un contraste. Por un lado, parece emerger una gran oportunidad asociada a la disponibilidad de recursos naturales críticos que van desde la calidad de los recursos renovables hasta la minería, con foco especial en el litio por su rol fundamental en la manufactura de baterías. También destaca un conjunto de capacidades tecnológicas asociadas a industrias de alta complejidad que guardan relación con la transición, como la tradición nuclear y aeroespacial. Estas capacidades podrían constituir acervos tecnológicos críticos para desplegar las industrias de la transición. Por último, pero no menos importante, existen las capacidades asociadas a una industria metalmecánica construida a lo largo del proceso de industrialización por sustitución de importaciones que pueden contribuir en la construcción de un sistema tecnológico e industrial en estas nuevas actividades. Esto permitiría no solo poner en valor las capacidades existentes sino además facilitar procesos de actualización tecnológica, mejoras de eficiencia y alcanzar los nuevos estándares ambientales. La industria automotriz constituye en sí misma un espacio productivo clave que demanda actualización tecnológica frente a la transición.

Por otro lado, emergen riesgos asociados a las disputas geopolíticas en materia de la transición energética, que hacen que el camino para desarrollar estos sectores sea especialmente arduo. La competencia entre China y occidente ha provocado respuestas heterogéneas entre los bloques hegemónicos, donde Estados Unidos parece abandonar la carrera en tecnologías limpias, aunque sostiene metas de abastecimiento de recursos con motivos de seguridad, mientras que la UE busca radicar inversiones que permitan impulsar industrias limpias cuando ya presenta un claro rezago con relación a China. Por su parte, el gigante asiático ha perseguido una estrategia de expansión de la capacidad de manufactura, que resultó tremendamente efectiva para ganar competitividad, pero al mismo tiempo mina la rentabilidad de estos sectores, acortando márgenes de ganancias y desalentando nuevas inversiones. En esta disputa una cuestión no resuelta es hasta qué punto el dominio de tecnologías limpias, la creciente electrificación y energía barata puede favorecer a China en el campo de las tecnologías digitales, y por el otro cómo EEUU sostendrá el crecimiento de demanda energética que provocan los centros de datos y la IA con dependencia de China en el abastecimiento de materiales para baterías, y equipamientos para energías renovables (paneles solares, equipamiento eléctrico, etc).

En este contexto, la disputa geopolítica asociada al acceso a materiales y la construcción de cadenas de valor puede ser una oportunidad para países con disponibilidad de los recursos, pero especialmente cuando esos recursos se combinan con capacidades de base que permiten aspirar a formar parte de las cadenas de valor emergentes. Esto demanda desplegar una estrategia de negociación con la inversión extranjera, donde el acceso a recursos esté condicionado a la actualización y construcción de nuevas capacidades tecnológicas y productivas.

Los desarrollos en escala piloto o demostrativa constituyen una buena base para una negociación efectiva, aunque el marco institucional heredado de los 90s, el RIGI, acuerdo entre la UE y el Mercosur y el potencial acuerdo con EEUU pueden constituir barreras al establecimiento de las condicionalidades a las inversiones (Ahumada y Chang, 2025, Estevez, Chang y Schollmeyer, 2025).

Las experiencias internacionales asociadas a políticas de escalado en industrias de energías limpias, electromovilidad y minerales críticos establecidas por países en desarrollo demuestran que existen márgenes de acción para la política, aun dentro del contexto restrictivo descrito. Esto requerirá sin embargo de vocación negociadora a favor de la construcción de nuevas industrias.

Dado este contexto, los instrumentos deben buscar la identificación de los espacios para la promoción de capacidades locales aun cuando puedan parecer marginales, como ensamblaje de turbinas eólicas y otros equipamientos para energías renovables. La apertura de los paquetes tecnológicos de las energías renovables puede ser la puerta de entrada para el aprendizaje y el sostenimiento de industrias metalmecánicas, clave dentro del tejido industrial argentino.

El acceso a mercados, así como a recursos críticos puede constituir parte de esa estrategia de negociación con empresas extranjeras. Esto implica nuevos marcos regulatorios y la identificación de espacios disponibles para establecer condiciones a las inversiones extranjeras, tanto en el acceso a mercados como a recursos. Solo con la participación de la industria local es posible evitar una inserción dependiente en las cadenas de la transición.

- **Plan a cinco años:** sostener las capacidades domésticas en ciencia, tecnología e innovación en las diferentes cadenas de valor de la

transición energética: litio, baterías y electromovilidad, hidrógeno de bajas emisiones, captura y almacenamiento de carbono, energías renovables (especialmente eólica, geotérmica, undimotriz y mareomotriz), reactores nucleares modulares, acero verde. Establecer planes de transición energética orientados a la creación de demanda con metas y objetivos. Establecer cuotas de abastecimiento de minerales críticos para la transformación doméstica como contraparte de las inversiones extranjeras. Identificar actores y socios para desarrollos conjuntos en tecnologías como baterías. Utilizar las herramientas de contenido local y transferencia (o compromisos de I+D local) todas las veces que sea posible. Alinear objetivos de transición y políticas ambientales con objetivos de desarrollo industrial en el marco de las cadenas de valor de la transición (por ejemplo, buses eléctricos). Identificar campos de actuación de YPF dentro de la transición energética.

- **Plan a 10 años:** Dominar sistemas productivos asociados a la transición con integración de producción propia y en articulación con actores internacionales. Producir baterías para una demanda interna y regional de vehículos eléctricos, baterías estacionarias y/o otros usos. Tener producción de hidrógeno y derivados, tener producción doméstica de los bienes de capital asociados a las cadenas de la transición. Participar de los proyectos extractivos de proveedores domésticos. Establecer un rol de YPF dentro de la transición energética.

Cuadro 3. Núcleo estratégico de transición energética. Síntesis.

Condiciones Tecno-económicas mundiales	Cambios geopolíticos y económicos	Capacidades nacionales de Argentina	Implicancias estratégicas: áreas de intervención
1. Innovaciones radicales e incrementales, mejora de eficiencia y reducción de costos paneles FV, baterías, etc..	1. China: liderazgo tecno-productivo 2. UE con objetivos de desarrollo industrial y productivo verde (aunque en debate)	1. Capacidades para la producción de tecnologías “enablers” (nuclear, aeroespacial) y extractivos (oil&gas)	1. Apoyo a las oportunidades tecnológicas: adaptación de tecnologías a características locales.

Condiciones Tecno-económicas mundiales	Cambios geopolíticos y económicos	Capacidades nacionales de Argentina	Implicancias estratégicas: áreas de intervención
2. Complementariedad con TICs 3. Transversalidad en el uso 4. Impulsado por lo regulatorio (mitigación climática)	3. Salida de EEUU del acuerdo de París y de la Agenda 2030 pero sostiene interés en materiales críticos, baterías y tecnologías de uso dual (civil-militar)	2. Problemas para pasar de prototipos a producción en escala 3. Disponibilidad de recursos críticos 4. Sectores usuarios que requieren adaptación a energías limpias (electrificación) por motivos regulatorios (demanda)	2. Promoción de capacidades infantiles: vinculación entre tecnólogos y proveedores. Negociación sobre la base de recursos estratégicos 3. Marco regulatorio y de incentivos: trade-off entre acceso a mercados y requerimientos de integración 4. Articulación regional: mercado ampliado para tecnologías y recursos 5. Gobernanza pública: nuevo marco regulatorio de RRNN. Empresas mixtas subnacionales y nacionales.

Fuente: elaboración propia.

V. Conclusiones preliminares

A dos años y medio de un nuevo experimento neoliberal en Argentina, esta vez en una variante radicalizada, de inspiración libertaria, se vuelve urgente traer nuevamente al centro de la discusión la cuestión productiva. No solo para

contraponerse al dogmatismo ortodoxo de una imaginaria libre competencia, sino también para ir más allá de un legado heterodoxo que tiene muchas dificultades para renovarse, incluso en un escenario de cambios mayores en el escenario político y económico internacional.

La cuestión productiva es el corazón de una estrategia de desarrollo económico y social. Y es la base para dotar a la macroeconomía de una estabilidad real que sea capaz de sostenerse en el tiempo. Tampoco puede pensarse por fuera de una estructura mundial, que la delimita. Lo productivo, entonces, se configura mundialmente a partir del despliegue de las fuerzas de la alta innovación, que se manifiestan en un conjunto de técnicas y dispositivos cuya difusión revoluciona el sistema económico en su conjunto. En este período histórico, ese papel se juega, principalmente, en torno del complejo electrónico-informático, pero también del biotecnológico. Digitalización y recombinación genética son la principal fuente de cambio de un conjunto de industrias de alto dinamismo mundial. La revolución en torno a las energías limpias y la transición energética son, por su parte, habilitadoras del despliegue de estas industrias porque pueden proveer condiciones materiales para la expansión de las nuevas industrias en consistencia con objetivos ambientales y climáticos.

Por otro lado, esas fuerzas de alta innovación tienen efectos sobre la estructuración del resto de las industrias. La penetración de esa alta innovación en las actividades maduras pone en marcha procesos de rejuvenecimiento y de innovación complementarias a la principal, que representan ventanas de oportunidad para los países de desarrollo tardío como Argentina. En ese marco, en este documento se propuso identificar y caracterizar tres núcleos estratégicos para el desarrollo productivo, a partir de los cuales avanzar hacia un debate más amplio sobre el desarrollo del país.

Esos núcleos se definen en relación a las actividades productivas que se construyen en torno de las tecnologías digitales y biotecnológicas y al proceso de transición energética que se estructura en torno de esos procesos de alta innovación. Se trata de un conjunto diferenciado pero complementario de actividades productivas que tienen un alto dinamismo tecno-económico a nivel mundial y que, por lo tanto, están asociadas a altas barreras a la entrada para su ingreso. El ejercicio propuesto en este documento consistió en identificar la naturaleza de esas barreras, contemplando tanto sus determinaciones productivas como las geopolíticas, y contraponerlas con las capacidades

nacionales existentes y el potencial para cerrar la brecha existente. Eso puso en primer plano la necesidad de identificar en cada uno de esos núcleos los espacios de oportunidad y los mecanismos de intervención pública, en sus diferentes campos de actuación, para potenciarlos. A continuación, las principales conclusiones del trabajo.

En el caso de la digitalización, la principal oportunidad se encuentra asociada al hecho de que la adopción de técnicas de IA en usos productivos específicos aún presenta fallas que no pueden resolverse en grandes modelos de lenguaje. Eso abre un espacio para el impulso de plataformas locales en distintos sistemas productivos y de contenidos. La Argentina cuenta con capacidades para el entrenamiento de modelos específicos de IA, el aprendizaje profundo y los grandes datos junto a capacidades en tecnología satelital. Existen capacidades locales en programación de algoritmos de control en sistemas productivos en los que los “paquetes tecnológicos” aún se encuentran abiertos. A su vez, hay una base científica y de ingeniería en sistemas en las universidades, junto con un entramado de empresas que incluye grandes plataformas orientadas a servicios, una comunidad de programadores e importantes capacidades estatales en materia de tecnología satelital, como en el caso de ARSAT.

Sobre esta base existe la posibilidad de crear un nuevo núcleo dinámico a partir de iniciativas de carácter público-privado para brindar infraestructura de nube y capacidad de cómputo para usos productivos. Esto implica reforzar el presupuesto de Ciencia en disciplinas básicas (lógica, matemática), atraer inversiones en centros de datos bajo requisitos de acceso a capacidad de cómputo, y reorientar la Ley de Promoción de la Economía del Conocimiento a articulaciones público-privadas que desarrollen complementariedades entre las capacidades digitales con las de los usos productivos.

La posibilidad de desarrollar un núcleo estratégico entorno de la biotecnología se apoya en el hecho de que, a pesar de las asimetrías existentes con los grandes polos de innovación mundial en este campo, el país cuenta con un umbral de capacidades científicas y técnicas avanzadas, con empresas que han avanzado —en los segmentos de mejoramiento vegetal y de productos farmacéuticos— en procesos de escalamiento productivo mundial, en el desarrollo de ciertos aprendizajes críticos en materia regulatoria y en la existencia de una demanda regional de insumos agrícolas de gran envergadura que puede dar un acceso privilegiado a un mercado de alto valor.

Los requerimientos para avanzar en este núcleo remiten a la promoción de un salto de escala en materia de I+D y, por lo tanto, al financiamiento de las principales instituciones en el que estas tareas se realizan; al apoyo al desarrollo de capacidades de bioproceso, en particular en las áreas de salud humana y animal, pero también de los insumos industriales; a la articulación de un marco institucional que sea capaz de aprovechar los escasos grados de libertad existentes en materia de definición de estándares regulatorios y sobre propiedad intelectual; y, por último, a la promoción de una política de compras públicas en materia de salud y de acuerdos comerciales regionales y extra-regionales que permitan una mayor acceso a mercados en tiempos de un creciente proteccionismo.

El desarrollo de las energías limpias y las tecnologías de la transición se posiciona como un núcleo estratégico por dos motivos, en primer lugar porque permitiría incorporar un nuevo conjunto de industrias hoy ausentes pero cercanas a la base industrial del país. Es la oportunidad para reconfigurar parte importante de la manufactura metalmecánica, la industria de bienes de capital y equipamiento, orientándola hacia un segmento de alto crecimiento, tanto en el mercado doméstico como internacional. En segundo lugar porque sólo con una matriz productiva que cumpla estándares ambientales exigentes podrá ser competitiva. La difusión de las tecnologías de la transición es por lo tanto un camino para la actualización tecnológica de diversos sectores productivos. Entre todos ellos, el sector automotriz emerge como un caso paradigmático. Sin participar de estas cadenas, el país profundizará su dependencia tecnológica.

En simultáneo Argentina cuenta con algunos recursos críticos en este contexto de transición que ya están siendo explotados (como el litio) otros que se profundizará su explotación (como el cobre) y recursos renovables que pueden ser la base para la radicación de nuevas industrias que demanden energía limpia en gran escala. El hidrógeno es un ejemplo, pero también los centros de datos. Estas industrias van camino a ser enclaves con bajo nivel de involucramiento local. Una estrategia de desarrollo debe considerar que estas inversiones pueden profundizarse en un contexto en el que la energía limpia pasa a ser una necesidad crítica. Sin herramientas para participar aguas arriba y abajo de estas cadenas, implica que los proyectos se desarrollarán como enclaves, perdiendo una oportunidad valiosa de aprendizaje y de transformación industrial.

La definición y potenciación de estos núcleos productivos estratégicos no debe considerarse como una apuesta por objetivos de intervención aislados que busquen consolidar enclaves de alta innovación. Por el contrario, una estrategia de desarrollo productivo consiste en desarrollar al mismo tiempo ciertas actividades prioritarias, con trayectorias específicas que tienen fuertes exigencias en múltiples planos, con un abordaje sistémico que pueda desplegar la difusión inter-sectorial de la alta innovación al resto de la estructura existente. En ese marco, las actividades difusoras asumen un rol crucial como parte del núcleo estratégico, en particular en un país como la Argentina, en el que el tejido de actividades que potencialmente pueden absorber los influjos de las actividades motrices de la transformación productiva se encuentran en una situación de debilidad en un mundo signado por el recrudescimiento de la competencia. No se trata de proteger una industria infantil sino de rejuvenecerla aprovechando las capacidades tecno-productivas que lograron sobrevivir a las sucesivas experiencias de apertura y de liberalización desde 1976 a la fecha.

Por último, la definición de una estrategia de desarrollo debe ser pensada como un proceso de reasignación del excedente económico hacia un conjunto de grandes proyectos estructurantes conformados en torno de los núcleos estratégicos identificados. Sobre todo en un mundo en el que la innovación continua, la mayor escala y el desarrollo articulado entre actividades fuertemente complementarias van de la mano. Fenómeno que nos invita a pensar la manera en que se generarán las condiciones políticas para que la acumulación de capital sea orientada por una planificación de largo plazo desde un proyecto político soberano y no a su inversa.

Bibliografía

Ahumada, José Miguel, and Ha-Joon Chang. "A new international economic order for the twenty-first century: an agenda for industrial and trade policies from the Global South." *Review of Keynesian Economics* 13.4 (2025): 562-580.

Arbache, J (2024) "Os Custos e Benefícios dos Data Centers" GESEL, UFRJ, Brasil.

Berkowitz, S. A., Engen, J. R., Mazzeo, J. R., & Jones, G. B. (2012). Analytical tools for characterizing biopharmaceuticals and the implications for biosimilars. *Nature reviews Drug discovery*, 11(7), 527-540.

Chui, M., Issler, M., Roberts, R., & Yee, L. (2025). Technology trends outlook. McKinsey Institute.

Graham, Euan; Nicolas Fulghum y Katie Altieri (2025). Global electricity review. Ember 2025.

Estevez, Isabel y Thea Riofrancos, "Global Green Industrial Policy: Navigating Power Dynamics for a Pro-Working-Class, Pro-Development Green Transformation, " Climate and Community Institute, September 2025, <https://climateandcommunity.org/research/global-green-industrial-policy>.

Estevez, A., Chang, M. y Schollmeyer, A. (2025). Industrial Strategy: Methodological Approaches, Lessons, and Pitfalls*

Goberna, M. F., Whelan, A. I., Godoy, P. and Lewi, D. M., (2022) 'Genomic Editing: The Evolution in Regulatory Management Accompanying Scientific Progress.' *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10.

Gonzalo, M., O'Farrell, J. y Mendoza, F. (2023). Financiamiento de start-ups agrobiotecnológicas en Argentina: avances, dilemas e iniciativas de política. Policy Brief. Fundar.

International Energy Agency (IEA) (2025). *Energy and AI*. Disponible en: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/601eaec9-ba91-4623-819b->

[4ded331ec9e8/EnergyandAI.pdf](#)

Lavarello, P. J., Sztulwark, S., Mancini, M., y Juncal, S. (2020): "Imitación creativa frente a las oportunidades de la farma-biotecnología", Revista Brasileira De Inovação, 19, e020008.

Lavarello PJ, Gutman G, Pita JJ.(2023), "Biosimilars and Heterogeneous Technological Trajectories in the Argentine Biopharmaceutical Industry", Journal of Law, Medicine & Ethics. ;51(S1):116-125.

Lazard (2025) Levelized Cost of Energy+ Report. <https://www.lazard.com/news-announcements/lazard-releases-2025-levelized-cost-of-energyplus-report-pr/>

Luvini, P., Juara, J. G., O'Farrell, J., Kunst, M., & Yankelevich, D. Oportunidades para la Argentina en la cadena de valor de la IA. FUNDAR Argentina. <https://fund.ar/publicacion/oportunidades-para-la-argentina-en-la-cadena-de-valor-de-la-inteligencia-artificial/>

Mazzucato, M. (2013): The Entrepreneurial State, Anthem Press, New York.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2025). *Defense Software for a Contested Future: Agility, Assurance, and Incentives*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://www.nationalacademies.org/publications/29129>.

O'Farrell, J., Pizzo, F., Freytes, C., Aneise, A. J. and Demeco, L. (2022b) Pilares de la innovación en la biotecnología agrícola argentina. FUNDAR. https://www.fund.ar/wp-content/uploads/2022/06/Fundar_Pilares-de-la-innovacion-en-biotecnologia-agricola.pdf

Rapela, M. (2020) 'La interacción entre los derechos de propiedad intelectual y los procesos de innovación abierta aplicados en el mejoramiento vegetal moderno', Revista Iberoamericana de la Propiedad Intelectual, Vol. 13, pp. 9-33.

Pérez, C. (2010): "Technological revolutions and techno-economic paradigms", Cambridge Journal of Economics, 34(1). 185–202.

Rikap, Cecilia, and Bengt-Åke Lundvall. "Big tech, knowledge predation and the implications for development." *Innovation and Development* 12.3 (2022): 389-416.

Sigman, M., & Bilinkis, S. (2023). Artificial: La nueva inteligencia y el contorno de lo humano. Debate.

Stubrin, L. (2022) 'Un análisis del crecimiento de la actividad biotecnológica en la Argentina en clave sistémica (1982-2022)', Desarrollo Económico, 62(236), pp. 50–78.

Sztulwark, S., Wahren, P., Locher, V. y Girard, M. (2023): "La Argentina ante el nuevo escenario de la industria agrobiotecnológica mundial", Pampa, núm. 28, e0075, Julio-Diciembre.

Sztulwark, S. y Lavarello, P. (2025): "La biotecnología como base para el establecimiento de un núcleo endógeno en la Argentina", Revista de la CEPAL, 146, agosto.

Tylecote, A. (2019): "Biotechnology as a new techno-economic paradigm that will help drive the world economy and mitigate climate change", Research Policy, 48(4). 858–868.

Wade, R. (2014): "The paradox of US industrial policy: The developmental state in disguise", en J. M. Salazar et.al., Transforming economies. Making industrial policy work for growth, jobs and development, UNCTAD-ILO, geneve.

HEINRICH BÖLL STIFTUNG

BUENOS AIRES

Argentina | Uruguay | Paraguay



La Fundación Heinrich Böll es la fundación política alemana cercana al partido Alianza90/Los Verdes. Tiene su sede central en Berlín y actualmente cuenta con 34 oficinas en todo el mundo. La Fundación y su oficina en Buenos Aires se sienten especialmente comprometidas con las políticas para una transición social-ecológica y un desarrollo sustentable, la promoción de la democracia y la justicia de género, así como con la consolidación institucional y profundización de los derechos humanos. Asimismo, considera clave fortalecer a la sociedad civil en el dialogo permanente entre ciudadanía e institucionalidad política como práctica democratizadora. Hacen especial hincapié en el intercambio de conocimientos y la comprensión mutua entre actores en Europa y América Latina, para lo cual promueven el diálogo internacional.