POLICY BRIEF
7

CIECTI
Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación

Energía eólica: algo más que molinos de viento

A nivel global se atraviesa una fase de transición energética basada en una mayor incidencia de la electricidad y un mayor peso de las energías renovables. Si bien todavía los recursos fósiles explican dos tercios de la electricidad generada en el mundo, las energías renovables ya produjeron un salto significativo y alcanzan el 7% del total; en este caso, la energía eólica representa el 50% de las energías renovables.

Dos factores interrelacionados justifican las expectativas que existen sobre el aceleramiento de esta transición en el futuro. En primer lugar, la voluntad política de un creciente número de países –en especial los desarrollados– que se plasma en ambiciosos compromisos por transformar sus matrices energéticas y reducir sus emisiones de CO_2 para así disminuir el calentamiento global. En segundo lugar, el establecimiento de marcos regulatorios y políticas que incentivan y acompañan los esfuerzos privados en investigación y desarrollo (I+D) para aprovechar de modo económicamente viable el sol y el viento y dar continuidad al proceso de innovaciones en las tecnologías solar fotovoltaica y eólica. La reducción de las emisiones de gas de efecto invernadero (GEI), la búsqueda de seguridad y soberanía energética y la preocupación por los riesgos asociados a la energía nuclear continúan impulsando políticas de fomento de las energías renovables.

ESLABONES DE LA CADENA Y *DRIVERS* DE LA INNOVACIÓN

ACTIVIDAD INTENSIVA EN CONOCIMIENTO

Macrositing	*Micrositing*	Construcción del parque	Fabricación del aerogenerador	Transporte y ensamblaje	Conexión a la red	Generación y venta de energía	Operación y mantenimiento
› Bases de datos y atlas eólicos, modelización del recurso eólico	› Modelización del recurso eólico (efecto estela y *layout* del parque)	› Cimientos flotantes (*offshore*)	› Diseño de la turbina (reducción del ruido, desempeño aerodinámico e impacto visual) › Nuevos materiales más livianos › Tecnología de palas modulares › Electrónica de potencia (reguladores de potencia y frecuencia) › I+D en el sistema de acople directo	› Nuevos materiales livianos › Embarcaciones especiales para la instalación de turbinas en aguas profundas	› Acumuladores de energía › Celdas *offshore* de baja tensión › Revestimiento químico de materiales › Microrredes › Sistemas de redes inteligentes para la conexión con las redes de energía eléctrica	› Desarrollo de procesos de gestión de datos › Nuevos desarrollos para una previsión precisa de corto plazo sobre el viento	› Métodos de diagnóstico y testeo (sensores remotos) › Nuevos modelos y logaritmos para el control del parque ("efecto portafolio" e interconectividad entre parques)

La cadena de valor eólica

La cadena de valor comprende una amplia serie de actividades que van desde la identificación del recurso eólico, la concepción de un proyecto de parque eólico y la fabricación de aerogeneradores, hasta la producción de energía y su conexión a la red, energía que es vendida al mercado y cuya calidad depende de las actividades de operación y mantenimiento que se realizan a lo largo de la vida útil del parque, que ronda los 25 años.

Si bien la tecnología existente es considerada "madura", el sector eólico presenta todavía importantes espacios para generar conocimiento a través de la I+D. Cada uno de los eslabones de esta cadena de valor enfrenta desafíos que pueden impulsar el desarrollo de actividades intensivas en conocimiento propias de una agenda de I+D del sector a nivel internacional.

Cabe señalar que la fuerte participación del Estado de los países que hoy están en la frontera del conocimiento es un elemento distintivo y central del desarrollo del sector. En estos países las políticas en ciencia, tecnología e innovación (CTI) para fomentar la innovación en la cadena, que apoyan financieramente las investigaciones que hacen empresas, centros de I+D y universidades, se han combinado con una política energética, marcos regulatorios y esquemas de compras públicas que estimulan su crecimiento. El supuesto implícito es que el fomento y desarrollo de actividades intensivas en conocimiento y la innovación en un sector o cadena productiva se potencian y ganan eficacia cuando se articulan virtuosamente con otros instrumentos y políticas públicas.

Evolución de la industria eólica

A lo largo de los últimos treinta años la energía eólica registró un importante desarrollo que se advierte en los siguientes hechos estilizados:

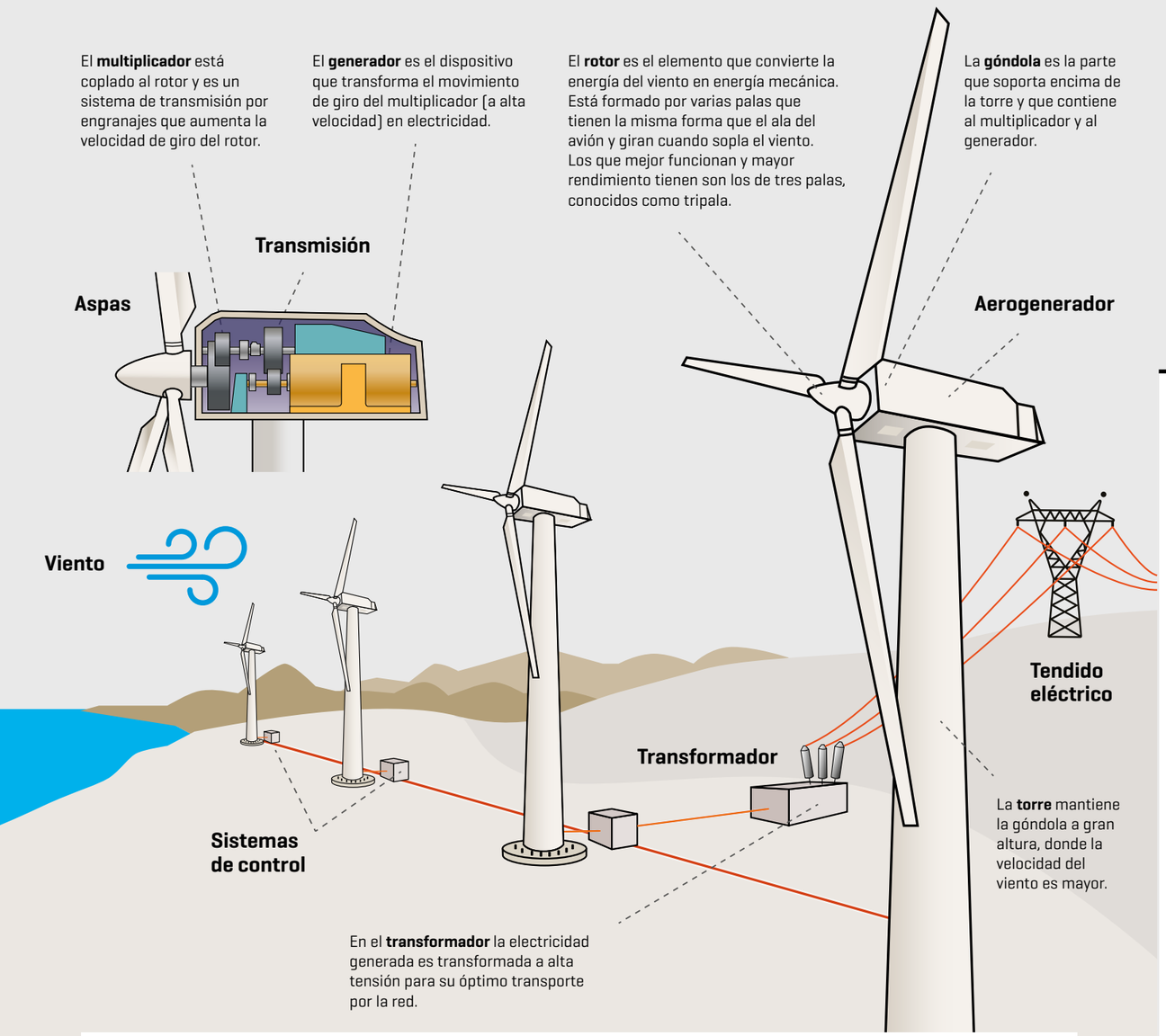
- Un crecimiento exponencial de la potencia instalada a lo largo del tiempo. El *stock* de potencia está apenas por debajo del medio millón de GW (2015), que es el resultado de crecientes incorporaciones anuales de nueva potencia (flujo) en los últimos quince años.
- La potencia instalada está fuertemente concentrada en tres países que explican dos terceras partes del total: China (35%), Estados Unidos (17%) y Alemania (10%).
- Aumentos en el grado de penetración de la energía eólica (medida por la generación eólica como porcentaje de la demanda eléctrica del país total) en varios países: Dinamarca (42%), Portugal (23%), Irlanda (23%) y España (20%).
- Los nuevos aerogeneradores reflejan el sendero de innovación que ha venido recorriendo el sector dando respuesta a los desafíos técnicos: una creciente potencia nominal promedio, torres más elevadas, palas más grandes (mayor área de barrido) y factores de capacidad más altos.
- La curva de aprendizaje se ve reflejada en los costos decrecientes de inversión por MW instalado y MWh producido.
- Los grandes jugadores mundiales son un puñado de firmas globalizadas, entre las que se destacan empresas de países que fueron pioneros en el sector eólico y recientes incorporaciones de firmas chinas: Vestas (Dinamarca), GE Wind (Estados Unidos), Goldwind (China), Gamesa (España), ENERCON (Alemania), Siemens (Alemania) y Nordex Acciona (Alemania).

La energía eólica en la Argentina

En los últimos veinte años la demanda de electricidad en la Argentina se duplicó: de 64,7 TWh en 1995 a 132,1 TWh en 2015. A diferencia de las tendencias mundiales, tal expansión fue atendida principalmente por fuentes de generación térmicas (fósiles). Diversificar esta matriz y ampliar la capacidad de generación constituyen un desafío para el sector de energías renovables, que mantiene una muy baja penetración en el sistema (0,6% de la potencia de generación total instalada en el país en 2015) a pesar de las políticas de fomento intentadas a lo largo de ese período. Se estima que para el año 2021 es necesario incorporar 900 MW por año para expandir el sistema y atender la demanda creciente e incorporar cerca de 2.000 MW para recuperar reserva y absorber la baja de equipamiento térmico obsoleto. A su vez, esto requiere la ampliación y el fortalecimiento de la infraestructura en la red de transporte.

Entre 1994 y 2016 se produjeron dos oleadas de inversiones en la generación de energía eólica. La primera (1994-2006) estuvo principalmente gestionada por cooperativas eléctricas locales que instalaron aerogeneradores importados de pequeño porte –menor a 1 MW de potencia nominal–. La segunda (2008-2016) incluyó proyectos más grandes y aerogeneradores de mayor potencia –más de 2 MW–, encuadrados en la Ley N° 26.190/2006 y el Programa GENREN. Con el objetivo de impulsar el desarrollo tecnológico local en varios eslabones de la cadena y la participación, entre otras instancias, de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica –a través del Fondo Argentino Sectorial–, se asignó financiamiento específico a seis consorcios público-privados. La inversión total, incluidos los aportes propios de las empresas, fue de alrededor de 22 millones de dólares. Emergen en este período fabricantes nacionales de aerogeneradores (NRG e IMPSA) que alcanzan a cubrir el 30% de la nueva potencia instalada –61,4 MW y treinta equipos–; sin embargo, la empresa IMPSA enfrentó severos problemas financieros y hasta una convocatoria de quiebra, y se diluyó como proyecto de tecnólogo nacional al interrumpir su sendero de acumulación de capacidades tecnológicas y productivas propias.

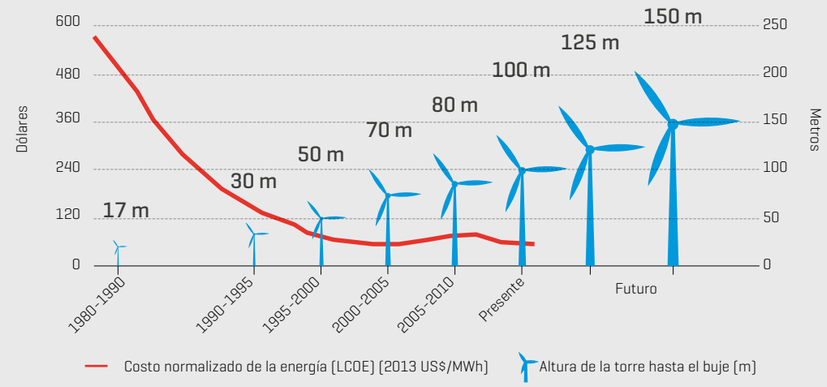
LOS AEROGENERADORES



La transformación del viento en energía se logra con aerogeneradores. Las palas de estos artefactos convierten el movimiento del viento en energía mecánica y el generador la transforma en electricidad mediante inducción electromagnética. La magnitud de la energía generada depende de la velocidad y constancia del viento y de las características del aerogenerador. Por ejemplo, un aerogenerador de 3 MW de potencia puede generar hasta 26.280 MWh en un año, pero la producción real de energía depende del viento efectivamente recibido. El cociente entre la producción real y la potencial se denomina **factor de capacidad**: cuanto más alto es este, mayor la productividad y más rentable la inversión. Para aprovechar el recurso eólico al máximo, es indispensable entender su dinámica. El viento que sopla más cercano a la tierra es menos veloz que el que se desplaza en alturas más elevadas. Por ello, la industria de aerogeneradores tiende a construir torres cada vez más altas y con rotores y palas más grandes, para ampliar las áreas de barrido y alcanzar mayor velocidad y producción. Por otro lado, en las costas marítimas hay pocas interferencias topográficas y se registran vientos más veloces y menos turbulentos, lo que ha incentivado a la industria a innovar en aerogeneradores *offshore*.

EVOLUCIÓN DEL LCOE

En US$/MWh



La política actual

El Programa RenovAr de 2016 y la Ley N° 27.191/2015 sitúan a las energías renovables como un eje estratégico de la política energética nacional; además, dicha ley establece la meta del 20% del consumo eléctrico del país en el año 2025 abastecido por estas fuentes. La reglamentación de la ley prioriza un enfoque de diversificación de la matriz energética, sin introducir consideraciones de política de CTI. Los incentivos principales se basan en un marco jurídico tendiente a generar confianza y reducir el monto de inversión por MW de potencia, y a disminuir el riesgo de los inversores ofreciendo garantías para el pago de la energía vendida. El programa opera a través de convocatorias públicas a las que se debe presentar una propuesta técnica (que habilita a los beneficios a la inversión) y una oferta de precio de MWh al mercado mayorista (CAMMESA), base de la competencia.

La sumatoria de las inversiones proyectadas en el marco de las dos licitaciones del Programa RenovAr (2.424 MW de potencia), de los parques heredados del viejo GENREN a los que se les ofrecieron incentivos similares a los otorgados en las licitaciones (445 MW) y de nuevos parques privados (226 MW) arrojan un total de 3.095 MW distribuidos en 46 parques eólicos. Este resultado multiplicaría por 14 la capacidad de generación preexistente. Si se atiende a que internacionalmente la inversión por MW es de alrededor de 1,5 millones de dólares por MW instalado –dos tercios corresponden al aerogenerador–, la inversión agregada estimada para generación eólica sería aproximadamente de 4.500 millones de dólares. Cuatro empresas propietarias de parques, tres argentinas y una china explican poco más de la mitad de la nueva potencia. La información disponible respecto de los avances en las diferentes obras –en 28 de los 46 parques– señalan que serán instalados 637 equipos con un promedio de potencia de 2,9 MW y de 95,5 m de altura al buje. La firma que más aerogeneradores ha vendido como parte de este proceso es, por lejos, la danesa Vestas (290 equipos), que instaló capacidad productiva para ensamblar equipos en el país.

Cabe señalar que la normativa busca también incrementar progresivamente el porcentaje de partes y piezas de producción nacional que componen el aerogenerador; hasta el 2020 se lo considera nacional si integra 35% de partes locales, coeficiente que sube al 50% en 2023. De todas maneras, la regulación no estimula taxativamente la incorporación de partes de mayor sofisticación tecnológica en el equipo ni otras actividades intensivas en conocimiento en el resto de la cadena.

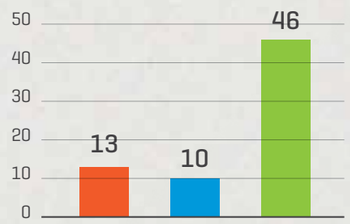
Inversiones en capacidad de generación eólica en la Argentina

1994-2002
(Ley N° 25.019/98)

2008-2016
(Ley N° 26.190/06 y Programa GENREN)

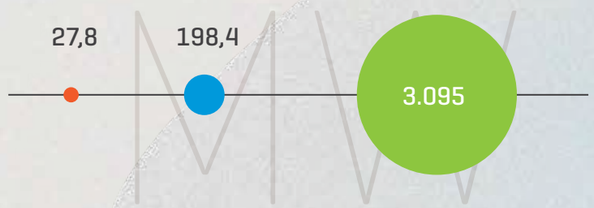
2016-abril de 2018
(Ley N° 27.191/15 Programa RenovAr, rondas 1 y 2)*

CANTIDAD DE PARQUES EÓLICOS

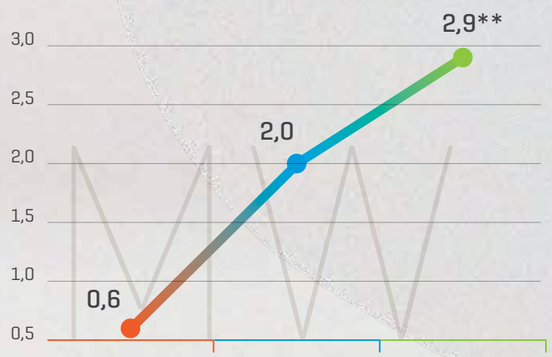


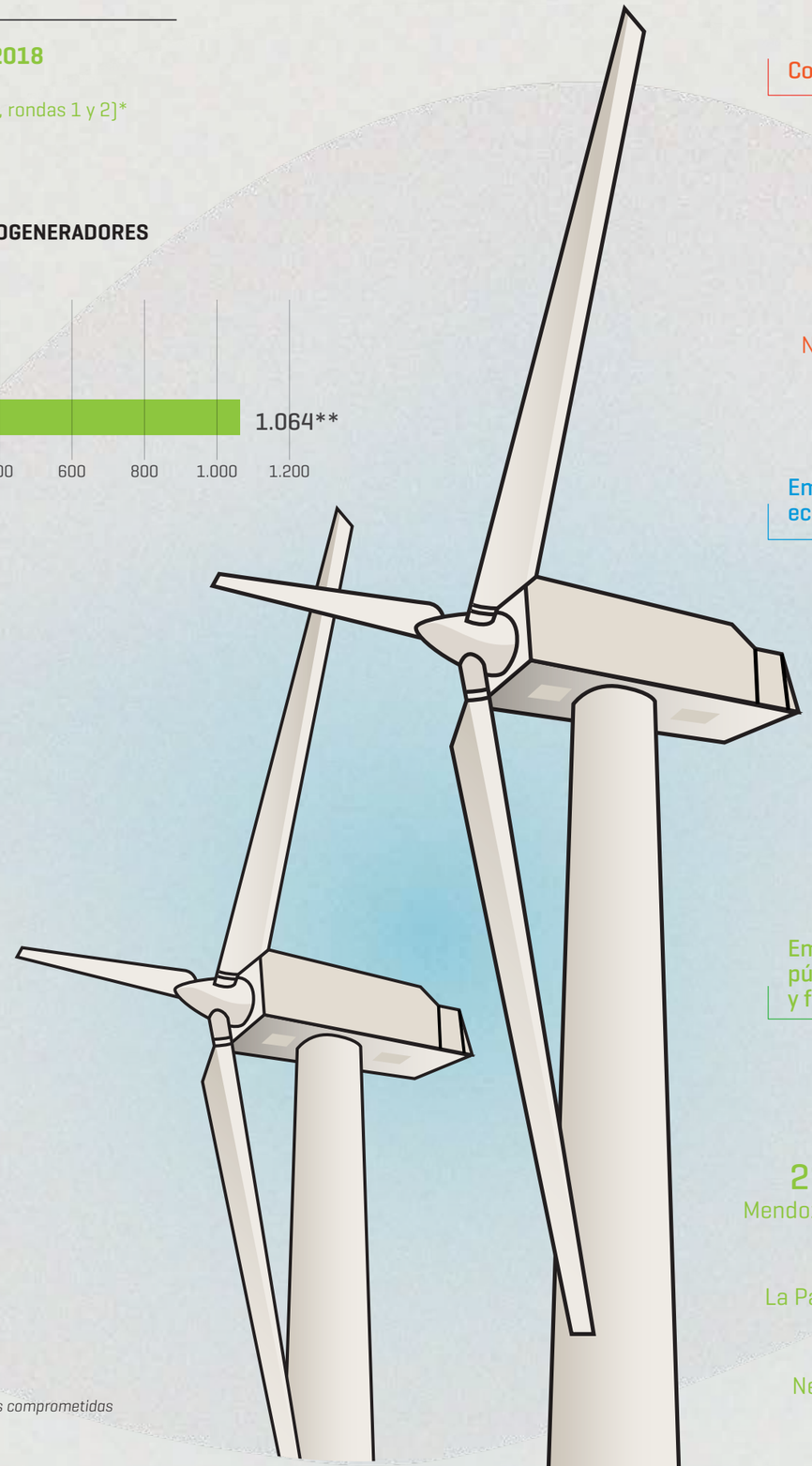
CANTIDAD DE AEROGENERADORES

POTENCIA INSTALADA (MW)



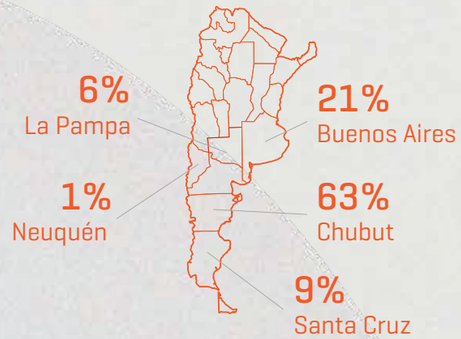
POTENCIA MEDIA (MW POR AEROGENERADOR)



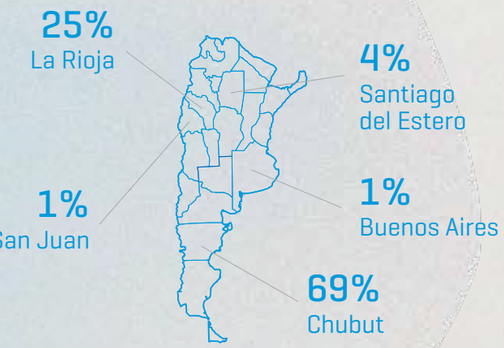


DISTRIBUCIÓN REGIONAL DE LA POTENCIA INSTALADA Y PERFIL DE OPERADORES

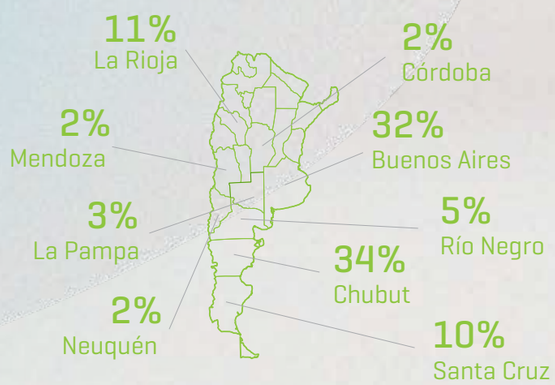
Cooperativas eléctricas locales



Empresas públicas y conglomerados económicos privados



Empresas transnacionales, públicas y de capital nacional privado y fondos de inversión



PAÍS DE ORIGEN DE LOS AEROGENERADORES (EN PORCENTAJES DE LA POTENCIA INSTALADA DE MW)

- 43% Dinamarca
- 38% España
- 19% Alemania

- 39% Dinamarca
- 31% Argentina
- 26% Francia
- 3% España
- 1% Alemania

- 50% Dinamarca
- 18% Alemania/España
- 10% China
- 5% Alemania
- 3% Argentina
- 14% sin información del país de origen de la tecnología

* *Las cifras referenciadas en verde en todo el infográfico corresponden a las inversiones comprometidas aunque no necesariamente completadas.*
** *Calculado con base en información de las inversiones anunciadas a abril de 2018 (637 aerogeneradores y 1.852 MW).*

Reflexiones sobre la política y recomendaciones

El liderazgo y rol activo del ex Ministerio de Energía y Minería en el diseño de la regulación priorizó la rápida generación de más energía eléctrica al menor precio posible. En este escenario, el Ministerio de Producción intenta que las inversiones correspondientes contemplen mayor producción y empleo nacional. Probablemente, un mayor involucramiento del ex Ministerio de Ciencia en el proceso de decisiones habría propiciado incentivos para impulsar, además, actividades intensivas en conocimiento.

La disponibilidad de recursos naturales puede constituirse en una oportunidad para los países en desarrollo en la medida en que se incorpore conocimiento proveniente de esfuerzos científico-tecnológicos domésticos. Sin embargo, el enfoque de la política actual se acerca más a una visión relativamente convencional de la sustitución de importaciones en relación con la fabricación del aerogenerador. Más allá de la loable intención de tender a la producción local de un porcentaje creciente de partes del equipo, la no consideración de su sofisticación tecnológica refleja más una preocupación por el "qué se hace" (tipo de producto) que por el "cómo se hace" (conocimiento incorporado en los procesos).

De tal forma, para aprovechar al máximo las oportunidades que ofrece el viento como fuente potencial de energía eléctrica, se sugiere:

- Encarar una agenda de I+D+i a nivel nacional que contribuya a una economía más intensiva en conocimiento. La evidencia indica que las oportunidades de innovación y de incorporación de conocimiento exceden largamente el proceso industrial ligado a la fabricación de las turbinas eólicas.
- Definir una estrategia integral que conjugue políticas de CTI y políticas no CTI para permitir que el avance de la actividad eólica en la Argentina acompañe una expansión del entramado productivo local y de su capacidad de agregar conocimiento a los problemas existentes a través de soluciones domésticas innovadoras.
- Profundizar y darle más entidad al involucramiento de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva en el diseño y la evaluación de los programas. En razón de su experiencia previa y de sus potencialidades actuales, la Secretaría podría contribuir en por lo menos dos direcciones: a través de inversiones en espacios intensivos en conocimiento, desde la creación de un centro de I+D *ad hoc* hasta la articulación de esfuerzos dispersos existentes en distintas universidades nacionales; mediante el estímulo a la generación de capacidades transversales a diferentes sectores –por ejemplo, todo lo inherente a mecánica pesada de precisión–, para ampliar las conexiones entre la expansión del sector eólico *onshore* y el eventual impulso de nuevos sectores.
- Avanzar, en vistas de la futura reglamentación de la ley de generación distribuida –que brindará incentivos a través del Fondo para la Generación Distribuida de Energías Renovables para instalaciones residenciales, industriales y de usuarios de menos de 300 kW–, en el estudio de las posibilidades que se abren para el financiamiento de proyectos de I+D y las eventuales ventajas a proveedores locales.
- Analizar y proponer mecanismos específicos de transferencia de tecnología y conocimiento para que en las posibles licitaciones a nivel provincial se establezcan incentivos a proveedores locales de instalaciones, servicios de instalación y mantenimiento.

bajar DT14

Este *policy brief* fue elaborado, entre otras fuentes, a partir del Documento de Trabajo N° 14 del CIECTI, "Innovación y marcos regulatorios en energías renovables: el caso de la energía eólica en la Argentina", de Carlos Aggio, Vladimiro Verre y Francisco Gatto, de 2018.

CIECTI
Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación

Godoy Cruz 2390, PB (C1425FQD)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
+54 11 4899-5500 (int. 5684)
info@ciecti.org.ar
www.ciecti.org.ar