

Diego Daniel Roger

Almacenaje de energía y transición energética

ALTERNATIVAS EN UN HORIZONTE DE DESARROLLO
TECNOLÓGICO E INDUSTRIAL NACIONAL

Introducción

El desarrollo de las energías renovables y de los vehículos eléctricos vienen impulsando de manera paulatina el desarrollo y despliegue de medios de almacenaje de energía (MAE), dentro de los cuales las baterías de ion-litio, quizás, constituyen el caso más conocido, pero no por ello el único, ni menos aún la solución universal para las diversas necesidades de almacenaje energético. Este despegue, que aparece como una tendencia firme en el primer mundo, y que implica una suerte de revolución para el desarrollo y difusión de los MAE, constituye un proceso de cambio tecnológico que, de llevarse adelante las acciones de política pública adecuadas, puede implicar una interesante oportunidad para la industria del país.

La co-evolución de MAE y energías renovables se debe a que, por características de estas últimas, tales como intermitencia, variación de su flujo, entre otras, los primeros son requeridos para expandir y sostener los niveles de capacidad de generación renovable y la calidad del suministro eléctrico en las redes nacionales. Entonces, a mayor penetración en la capacidad instalada de generación de un país, mayores oportunidades de difusión para los MAE.

Por otro lado, desde el punto de vista de los medios de transporte, es preciso que se supla una de las condiciones de los hidrocarburos que no está presente en las energías renovables, la de almacenaje de energía, que permite diferir el uso de la energía contenida en ellos de su producción. Vale recordar que los hidrocarburos poseen un alto grado de densidad energética (unidad de energía dis-

ponible por unidad de volumen) y una alta y rápida disponibilidad de esa energía, ya que por medio de los motores de combustión interna, pueden descargar energía de manera rápida. En el caso de las energías renovables, entregan un flujo de energía que debe ser consumido en el momento en que se produce. Ante ello, existen dos alternativas para que esté disponible para un medio de transporte: o se cuenta con un medio de conexión física (las catenarias en el caso de los trenes eléctricos por ejemplo); o se dispone de un medio que almacene esa energía y la tenga disponible para el vehículo para cuando lo requiera, de modo de autonomizarlo de la red de distribución de energía.

Argentina, que ha empezado a expandir de manera sostenida su capacidad instalada de energías renovables a partir del plan RenovAR, viene a la saga del tema en relación con el primer mundo, pero, de las tendencias que se observan en este, es posible inferir que es cuestión de tiempo para que el mercado de los MAE se empiece a desarrollar en el país. Al respecto, la experiencia muestra que la política pública y, en concreto, las regulaciones e incentivos resultan claves para que ese mercado traccione el desarrollo industrial local, principal vector por el que derraman los beneficios de las energías renovables. Respecto de esto, hay que recordar que la parte industrial de las energías renovables constituyen en el primer mundo, si no uno de los principales, el principal factor de creación de empleos industriales calificados, es decir, de calidad.

En lo que hace a capacidades industriales relacionadas con los MAE, en el país existen diversas empresas del sector de bienes de capital que podrían desempeñar el papel de tecnólogos en tecnologías de almacenaje químicas, térmicas y mecánicas, ya que cuentan con capacidades tecnológicas e industriales que las ponen en condiciones de desarrollar un papel relevante en el sector, claro está, a condición de que las futuras regulaciones se orienten hacia un sendero de desarrollo nacional. El caso de las baterías de litio se diferencia, entre otros elementos, por la estructura del mercado en que estas se insertan, por lo cual, si se quiere apostar a un desarrollo local, es preciso llevar adelante acciones específicas.

Entonces, partiendo de este panorama, el trabajo delinearé la relación existente entre un régimen energético renovable y la necesidad de MAE. Para ello se expondrán los diferentes medios de almacenaje, en función de su tecnología y fundamento, como su funcionalidad. Finalmente, y centrándose nuevamente en el litio, se exploran escenarios para el desarrollo local de almacenaje con baterías de este elemento sobre la base de un proyecto de transición local hacia un régimen energético renovable que maximice el desarrollo de las capacidades industriales y tecnológicas del país.

La transición hacia un régimen energético renovable

Régimen energético y desarrollo

Numerosos estudios han dado cuenta de las relaciones entre energía, desarrollo y bienestar de las sociedades. Estos, provenientes de diversas disciplinas, como la antropología, la economía, la ciencia política o de la interdisciplina, subrayan la relación existente entre la producción de excedentes energéticos más allá de las necesidades metabólicas y el aumento de la complejidad social, la riqueza de la cultura, el bienestar material, la salud o la calidad de vida, entre otros elementos (White, 1964, pp. 337-350; Levi-Strauss, 1969, pp. XLIV-XLVI; Cottrell, 2009, pp. 26-29, 103-140; Hall *et al*, 2009, pp. 29-33; Murphy y Hall, 2010, pp. 112-116; Roger, 2015, pp. 33-39; Schrodinger, 1998, pp. 94-102). Desde la antropología, y cada vez con mayores niveles de sofisticación en la identificación de evidencias, se ha mostrado que el proceso de hominización se ha visto influido tanto por el aumento de la ingesta de calorías a partir de la incorporación de proteína animal en la dieta, primero, y, luego, de su cocción, como por la posterior incorporación al esfuerzo social de energía exosomática, y, de su mano, la aparición de excedentes energéticos más allá de los necesarios para el proceso metabólico, los cuales fueron aplicados de manera sucesiva, en el subsiguiente proceso de sedentarización y complejización social.

Como antecedente de estas aproximaciones, ya Levi Strauss (1969, pp. XLIV-XLVI) y White (1964, pp. 337-350) han señalado que existe una relación intrínseca entre la energía y los modos de organización social, en tanto que la cultura, como expresión específica de lo humano, contiene a la tecnología, elemento clave para que el hombre haya podido acceder al uso de otras fuentes energéticas más allá de su cuerpo. Así, tanto ciertos modos de organización social (tecnologías blandas, como modos de propiedad, formas de arreglos entre partes, etc.) como artefactos, en el sentido que normalmente se entiende a la tecnología, se entrelazan para, por ejemplo, explotar en la antigüedad a las grandes zonas de bosques comunales, o para, en la revolución industrial, extraer el carbón y utilizarlo en máquinas de vapor para producir fuerza motriz.

Siguiendo esta línea argumental, se desarrollarán con posterioridad enfoques que piensan de manera explícita a cada conjunto de tecnologías y relaciones en torno a la explotación de un recurso o un conjunto de recursos energéticos, como un régimen energético. Entonces, y retomando lo anterior, es posible apreciar que a lo largo de la historia del proceso de hominización, luego del de se-

dentarización, y de manera más reciente del de industrialización, es posible apreciar una sucesión de regímenes energéticos que han acompañado un sostenido proceso de complejización social, aumento de la población, crecimiento del bienestar y, en suma, de desarrollo de la humanidad. Al respecto, en la figura 1 se pueden apreciar algunas de las citadas transiciones, y la evolución del producto bruto mundial, el cual experimenta un súbito despegue a partir de la era de los combustibles fósiles.

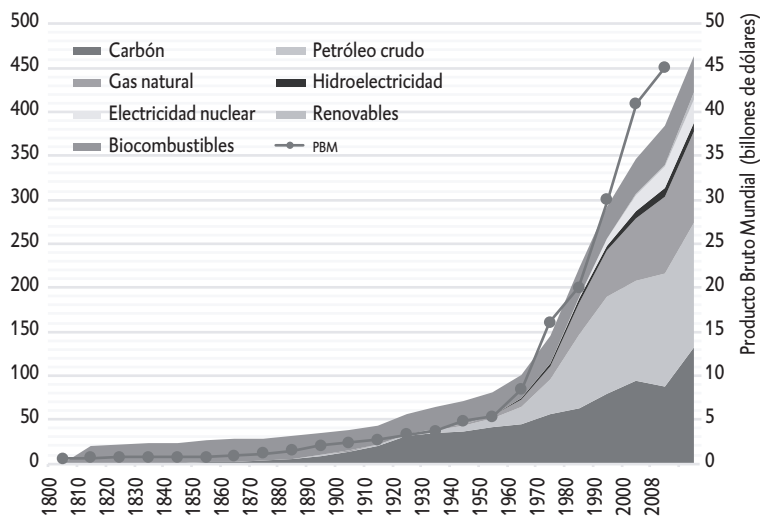
Como se aprecia, la principal fuente energética antes de la Revolución Industrial fue la biomasa, la cual fue desplazada primero por el carbón, luego por el petróleo y actualmente por el gas natural, en un proceso de lenta descarbonización de la matriz energética, el cual se extiende con el despliegue de las energías renovables. En estos datos, hay dos elementos que nos interesa resaltar. Por un lado, el lapso que abarcan las transiciones de una fuente energética a otra, unos 50 o 60 años; por el otro, y si se exploran cada uno de estos lapsos en lo que hace a usos de tecnologías, modos de organización y paquetes tecnológicos asociados a fuentes energéticas, se puede apreciar que el dato de la principal fuente energética constituye una variable *proxy* de régimen energético, por lo cual es lícito observar a las transiciones de la figura 1 como el tiempo que lleva la gestación y transición de un régimen energético a otro.

Al respecto, estos tiempos se relacionan con tres elementos principales. Por un lado, el desarrollo de las tecnologías, tales como motores de combustión interna; el desarrollo de sus paquetes tecnológicos, como las tecnologías para manejar y transportar en barco el gas licuado criogénico, y, por último, el desarrollo de las infraestructuras que se requieren para transportar y disponer de dichos recursos, cuyo ejemplo más claro son los oleoductos o gasoductos (Smil, 2013, pp. 20-24). Entonces, si bien la transición se trata de un proceso de adopción y desplazamiento de una fuente energética por otra, esencialmente de lo que se trata es de un proceso de cambio tecnológico. Es por ello, entonces, que, si se quiere comprender la dinámica de difusión de una fuente energética o un conjunto de ellas, sus implicancias y los desafíos y oportunidades que entraña, es preciso analizar la dinámica del cambio tecnológico en el capitalismo.

Cambio tecnológico y energía

A lo largo de la historia, el esfuerzo de las sociedades para acceder a diferentes fuentes energéticas se ha relacionado de manera estrecha con la tecnología. Entonces, comprender la dinámica del pro-

Figura 1. Consumo de fuentes energéticas y producto bruto mundial



Fuente: Elaboración propia sobre la base de The Maddison-project (2013); BP, (2016). El consumo de energía está expresado en exajoules.

ceso de cambio tecnológico y su relación con los regímenes energéticos resulta clave para un país subdesarrollado porque permite comprender la dinámica que rige a los procesos de transición de régimen energético; ayuda a identificar qué es clave y qué no en el esfuerzo social necesario para los procesos de desarrollo; permite formular políticas adecuadas para identificar y caracterizar oportunidades; y ayuda a diseñar estrategia y políticas adecuadas para aprovechar las oportunidades de desarrollo que dicho proceso de cambio tecnológico produce. Entonces, en lo que sigue del apartado, se reseñarán algunos de los aspectos más importantes de dicho proceso, sobre la base de los enfoques que mayor poder heurístico ofrecen en el campo de la teoría económica respecto del problema del cambio técnico en el capitalismo.

Con un enfoque asociado con la teoría de los ciclos económicos, el evolucionismo neoschumpeteriano ha propuesto vincular a estos con oleadas de desarrollo relacionadas con el ciclo de vida de un conjunto de tecnologías núcleo de lo que han llamado “una revolución tecnológica” (Pérez, 2004, pp. 19, 32-47). Dichas oleadas tienen una duración de unos 50 años, y realizan un recorrido de cuatro etapas o fases, que van desde el momento de su aparición o disrupción, hasta el que alcanzan su madurez y virtual estancamiento. La curva que describen entonces las tecnologías en su vida –en forma de “S” achatada– se relaciona con su proceso de innova-

ción y difusión tecnológica, pero, también, su ritmo es marcado por la progresiva saturación de mercados.

Dado que dicha curva se recorre desde un momento de juventud o nacimiento de las tecnologías hasta su madurez, el enfoque postula que en los momentos iniciales o fase 1 de la evolución de las tecnologías, los países retrasados que posean algún nivel mínimo de trayectoria industrial y de políticas públicas –es decir, de capacidades– tienen la oportunidad para sumarse al proceso de desarrollo tecnológico mundial, o sea, acoplarse al centro en el proceso de cambio tecnológico que articula al mundo, al país y a las firmas.

En la figura 2, se ilustra el ciclo de vida de las tecnologías con sus respectivas fases y el momento de doble oportunidad tecnológica que significan tecnologías maduras de una revolución tecnológica agotada y la emergencia de nuevas constelaciones tecnológicas de una revolución naciente (Pérez, 2001, p. 125; 2004, pp. 32-47).

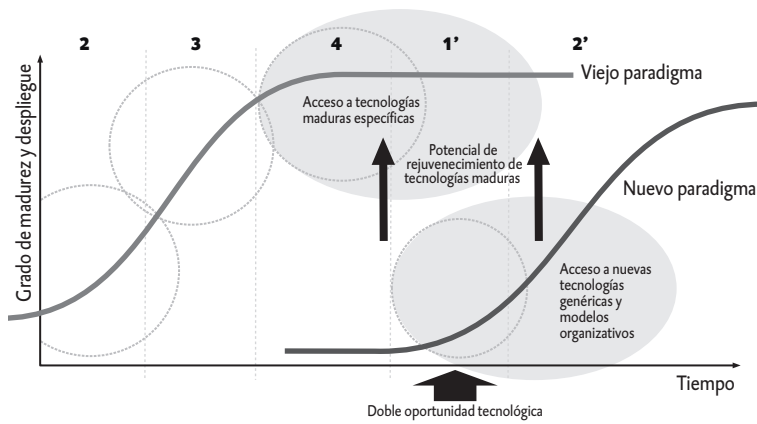
El cambio técnico es, entonces, el vector por el cual aparecen oportunidades de desarrollo para los países más atrasados. Tal proceso puede analizarse en tres niveles a la hora de pensar estrategias de desarrollo que, desde una perspectiva evolucionista neoschumpeteriana, busquen reducir la brecha tecnológica: estos niveles son el macro (mundo), mezzo (país), micro (la firma o empresa). Dicha segmentación permite comprender cómo se generan y difunden las innovaciones, y de qué modo se puede trabajar para generar desarrollo por la vía de la innovación tecnológica (Roger, 2015, pp. 15-33, 45-49). En tal sentido, entendemos el desarrollo (en un sentido general)¹ como la capacidad de un país de aprovechar sucesivas y cambiantes ventanas de oportunidad surgidas del proceso de cambio técnico mundial (Dossi, 2003, pp. 121-128; Pérez, 2001, pp. 124-125).

En el nivel macro, se genera el proceso de innovación tecnológica de punta, que sigue un camino del centro a la periferia en su proceso de difusión, y que, describiendo ciclos de aproximadamente medio siglo, transforma el mundo mediante revoluciones tecnológicas que se asocian a la emergencia de racimos de nuevas tecnologías y el ciclo de vida que describen (Pérez, 2001, pp. 116-119; 2004, pp. 48-64). La curva en “S” que describen las tecnologías marca el ritmo del desplazamiento de las ventajas para la producción hacia los países menos adelantados, sobre todo a medida que se acercan a su madurez.

En la figura 3, se pueden apreciar requisitos de conocimientos científico, experiencia, *know-how*, capacidad para usar mano de obra no calificada y la importancia de las ventajas de ubicación en función del ciclo de vida de las tecnologías, y, por ende, su madurez.

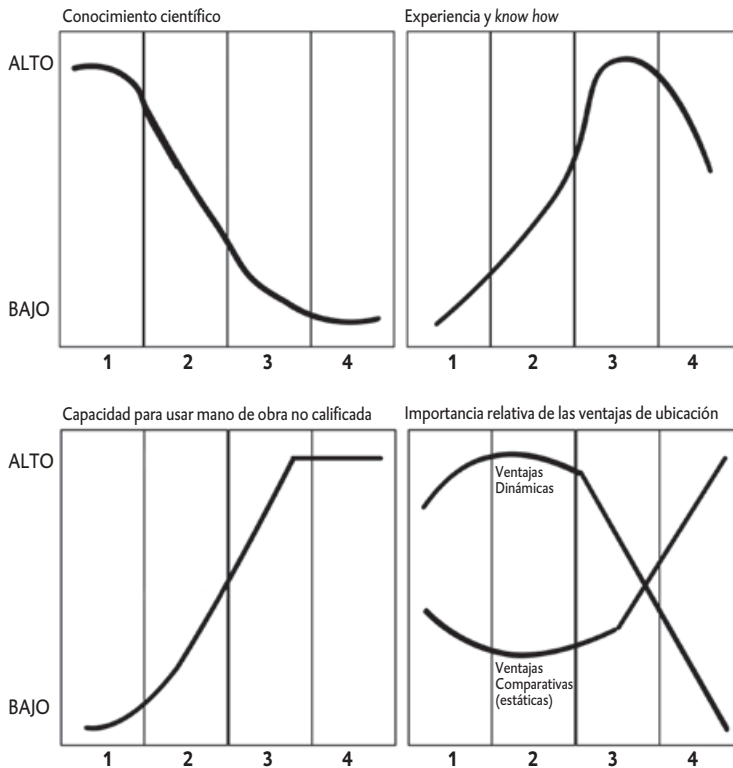
¹ Dejamos fuera de la discusión del artículo la distribución del ingreso, pero el trabajo asume que, para generar empleo de calidad y sustentable, este debe estar asociado con sectores que producen altas rentas, terreno donde la innovación y las tecnologías de punta reinan.

Figura 2. Ciclo de vida de las tecnologías, revoluciones tecnológicas y ventanas de oportunidad



Fuente: Pérez (2001, p. 125).

Figura 3. Cambio en los requisitos de ingreso según la fase de evolución de las tecnologías



Fuente: Pérez (2001, p. 118).

El citado ciclo, descrito inicialmente por Hirsch (1965, pp. 92-97) y formalizado por Wells (1968, pp. 1-6), muestra que las tecnologías hacen en sus fases iniciales un uso más intensivo de mano de obra calificada (más costosa) y conocimientos científicos básicos. A medida que las actividades se van estandarizando, la mano de obra calificada va siendo desplazada por equipos cada vez más costosos y de operación más sencilla (mayor automatización), a la vez que los requerimientos de *management*² se simplifican, y no exigen gran experiencia, lo cual, en conjunto, permite que se puedan “exportar” las actividades productivas al tercer mundo para aprovechar la mano de obra barata y poco calificada, que puede operar dichos equipos. Resumiendo, cuanto más madura es una tecnología más se ve impulsada hacia la periferia por su curva de madurez, hecho que se complementa con la búsqueda de industrias de las periferias para poner en marcha procesos de desarrollo.

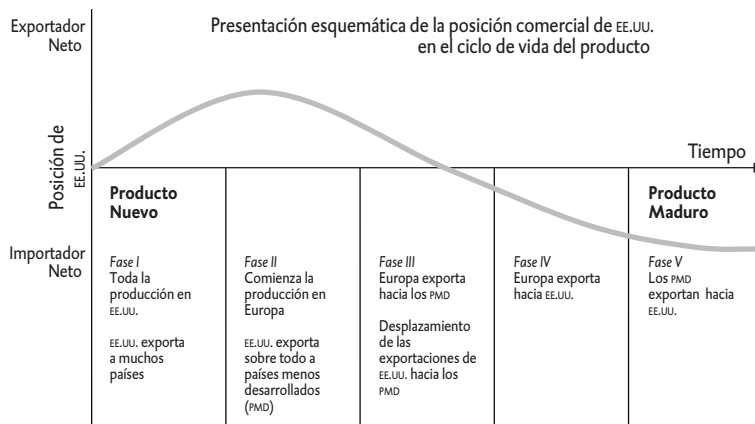
En la figura 4, se ilustra la dinámica tecnológica-productiva citada para el caso de la producción de Estados Unidos en la industria electrónica. Entonces, sobre lo ilustrado por las figuras 2, 3 y 4, es posible apreciar que, en su ciclo de vida, las tecnologías generan oportunidades para los países más atrasados, pues, tal como muestra la figura 4, en la fase 1 de cada revolución tecnológica asociada con un nuevo grupo de tecnologías, las barreras de entrada para nuevos jugadores son relativamente bajas, y, en la fase 4, se puede acumular experiencia sobre la base de mano de obra barata o ventajas comparativas (la doble oportunidad que señala la figura 2).

Retomando lo expuesto, en la fase 1 del ciclo de vida de las tecnologías de una revolución tecnológica, resulta más factible el intento de un proceso de adelantamiento tecnológico. En consecuencia, se puede concluir que, a la hora de proponer o considerar una estrategia de desarrollo asociada a la tecnología, se deben analizar los momentos en los cuales se encuentran las tecnologías implicadas, pues la mayor o menor posibilidad de éxito de la estrategia se asocia a la existencia o no de una ventana de oportunidad, la cual se define en la coincidencia de una fase de desarrollo de una tecnología con las capacidades nacionales y en las firmas (empresas) para aprovecharla. En la figura 5, se ilustra el potencial para el desarrollo que ofrece cada fase en el despliegue de las tecnologías para un país atrasado.

Si se quiere realizar un análisis del estado de madurez de, por ejemplo, las energías renovables, se debe crear a partir de una serie estadística, un indicador que sirva como variable *proxy* de la curva de madurez de la tecnología. Sobre esta base, entonces, y tomando como tal a los MW instalados de energía eólica y solar fotovoltaica en el mundo, se puede obtener el resultado ilustrado por la figura 6.

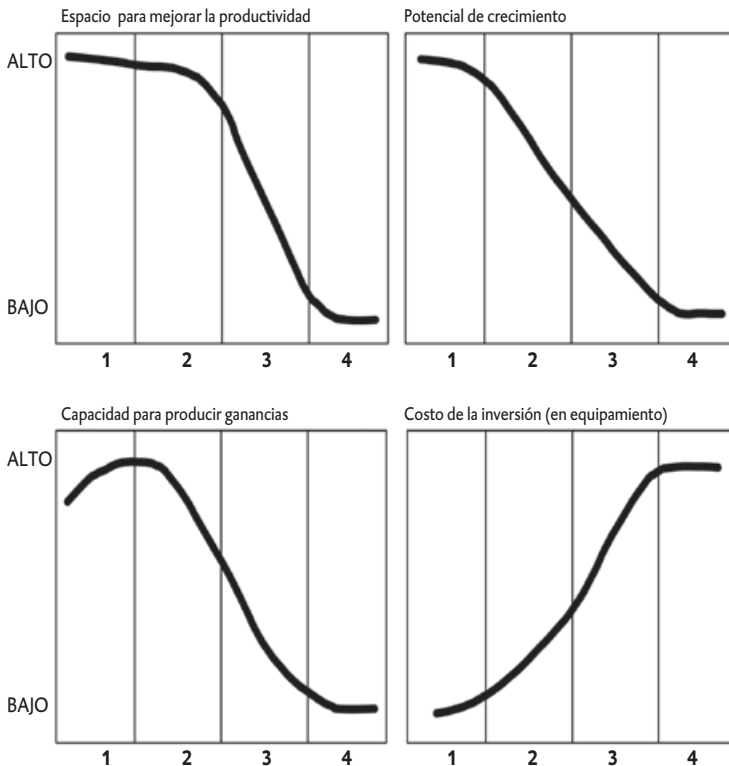
² Los requisitos para una fábrica en la periferia, no es el caso de las capacidades para gestionar toda la cadena de valor, pero hay que señalar que dichas capacidades permanecen en el centro, pues la gobernanza de las cadenas globales de valor se asienta en la empresa que conduce el proceso.

Figura 4. Despliegue geográfico de las tecnologías a medida que se acercan a la madurez



Fuente: Pérez (2001, p. 117).

Figura 5. Cambio en el potencial de las tecnologías según la fase de evolución



Fuente: Pérez (2001, p. 118).

Si se coteja la figura 6 con la 2, se puede apreciar que el despliegue de la energía eólica y la solar se encuentran en la fase 1 o principios de la 2, y que, por ende, existe un amplio margen para la mejora de la productividad, ganar mercados, bajar costos, etc., lo cual se dará de modo principal por el mayor desarrollo tecnológico.

Esta tendencia implica que la generación eléctrica de origen eólico y solar fotovoltaica se encuentran en un momento de rendimientos crecientes, por lo cual la Tasa de Retorno Energético³ de estas se incrementa a medida que se gana eficiencia por dicho proceso, en el sentido de que cada MW adicional de potencia de los quipos requiere una menor proporción de materiales, mano de obra y, en suma, energía. Si bien esta lógica tiene fundamentos distintos en cada uno de los casos, el proceso general es el mismo para ambas fuentes de generación.

El cambio tecnológico en la transición a un régimen energético renovable

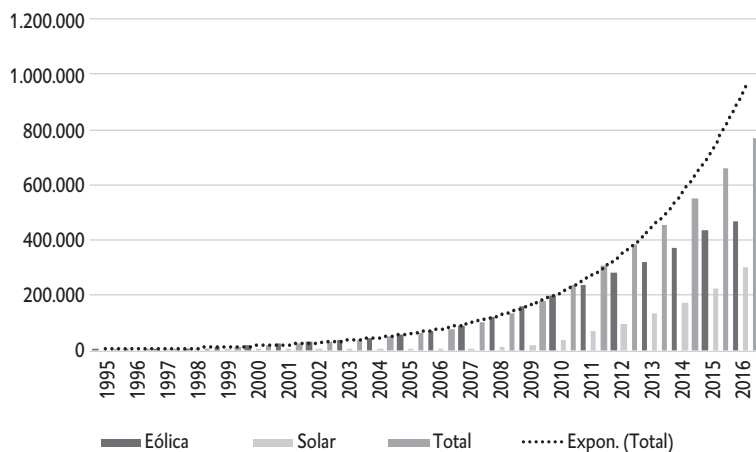
El desarrollo y expansión de las fuentes de generación de energías renovables se apoya, sin duda, en múltiples factores, pero, a la fecha, las legislaciones han desempeñado un papel central a la hora de inducir su difusión y baja de costos. Ahora bien, avanzar hacia un régimen energético que esté organizado de manera central en torno a las renovables requiere que se desarrolle de manera simultánea a estas uno o diversos paquetes tecnológicos relacionados con su uso, como los vehículos eléctricos y MAE, e infraestructuras, como puntos de recarga para vehículos eléctricos y redes inteligentes, que permitan gestionar un *mix* de generación y almacenaje que debe garantizar la continuidad del suministro eléctrico a pesar de la intermitencia de los recursos renovables.

Así, entonces, la transición constituye un camino por construirse, en el cual las soluciones tecnológicas que lo conformarán no se hallan definidas y conviven diversas alternativas de manera simultánea. Poder identificar cuáles son los elementos centrales que marcan o pueden marcar el paso del proceso de cambio tecnológico constituye un elemento básico para la formulación de políticas en el campo energético e industrial, ya que, como hemos visto, la identificación en momentos tempranos de tecnologías clave puede constituir la llave para el aprovechamiento de oportunidades.

La relación de estos tres elementos definirá, entonces, buena parte del proceso de cambio tecnológico, ya que el desarrollo de infraestructuras y paquetes tecnológicos, tiene un peso preponde-

³ La tasa de retorno energético se obtiene de dividir la energía que contiene una unidad de volumen de una fuente energética por la cantidad de energía que se requiere para la prospección, producción, procesamiento y llevada al punto de consumo de dicha energía. De este modo, constituye una representación del esfuerzo social que requiere cierta fuente energética para ser producida, a la vez que, sobre la base de líneas históricas, constituye un indicador muy preciso de la tendencia termodinámica del recurso y, por ende, su aporte al esfuerzo productivo global de una sociedad.

Figura 6. Instalación acumulada mundial eólica, solar y tendencia



Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de BP (2017).

rante en la definición del tamaño del mercado para las renovables, pues, sin medios de almacenaje y redes inteligentes, existen topes técnicos a la penetración de las renovables. Por ejemplo, el nivel y velocidad de difusión de los vehículos eléctricos, sobre todo los autos, impacta en el nivel de penetración de los medios de almacenaje, pues estos constituyen en sí mismos una expansión de la capacidad de almacenaje global de una red, ya que los autos permanecen la mayor parte del tiempo sin usarse. Lo mismo puede decirse de la tasa de expansión de la generación y almacenaje distribuido con redes inteligentes y esquemas tarifarios segmentados que pueden permitir cambiar el esquema de picos y valles del sistema, ya que desplazan consumos y generan reservas.

Estos dos ejemplos nos muestran que, de cara a un nuevo régimen energético, el ritmo de la innovación está asociado, en buena medida, a la existencia de legislación que induzca la difusión tecnológica, pero que, en lo fundamental, cree y desarrolle mercados al imponer rumbos o metas al sistema energético nacional. Por otro lado, y regresando a los medios de almacenaje, la diversidad de tecnologías que existen se relacionan también con una diversidad de requerimientos de almacenaje de energía, y una diversidad también de comportamientos de estos medios ante tales requerimientos.

Antes de avanzar sobre la lógica que condiciona el desarrollo del mercado de los medios de almacenaje en general y de las baterías de litio en particular, resulta preciso conocer con más detalle el mundo de los MAE, sus usos y algunas características.

Los medios de almacenaje de energía y las energías renovables

Contexto y desafíos

La baja de costos en los medios de almacenaje –principalmente baterías⁴–, sumado a cambios regulatorios en el mercado de las energías renovables y su creciente difusión y peso en la matriz energética, están impulsando el desarrollo de medios de almacenaje asociados con energías renovables que, en el segmento comercial, ya empiezan a resultar competitivos –es decir, una opción igual o más barata que otras alternativas de compra de energía en mercados de distribuidores o mayoristas.

En la actualidad, el almacenaje de energía se encuentra hegemónico por las centrales de bombeo, que representan el 96% de los 176 GW de potencia nominal de almacenaje instalados en el mundo para mediados de 2017. El resto de la capacidad se reparte entre almacenaje térmico, con 3,3 GW (1,9%), baterías, con 1,9 GW (1,1%), y otros medios mecánicos de almacenaje, con 1,6 GW (0,9%) (IRENA, 2017, p. 22). En la figura 7, puede apreciarse la distribución por tecnología en capacidad instalada de almacenaje.

En lo que hace a costos, se pueden observar sostenidos descensos, que para el año 2030 se estiman en cerca del 66% para las baterías, lo cual tiene el potencial para multiplicar por 17 el mercado actual,⁵ lo que propicia el despegue de un segmento que hoy está en sus inicios (IRENA, 2017, p. 22). En la figura 8, se pueden apreciar escenarios de costos para diferentes tecnologías de baterías según el IRENA.

Este pronunciado descenso del costos de las baterías augura una expansión de estas dentro de la futura capacidad de almacenaje, tal como lo muestra la existencia de cada vez más proyectos con almacenaje en baterías de litio, como el de Wartsilä, en Texas;⁶ el nuevo proyecto de Tesla, en Australia;⁷ o la oferta récord que ha conseguido Xcel Energy, para solar más almacenamiento, a un precio de US\$ 26 el MW/h.⁸ Si bien este último es un caso excepcional, ya que se conectará a la red recién en 2023 y, por ende, aprovechará la curva de costos decrecientes de los medios de almacenaje, muestra a las claras el escenario en el que se mueve el sector, con costos (LCOE) para el almacenamiento solar a gran escala que rondan los US\$ 82 MW/h y, para la eólica más almacenamiento, en un rango de US\$ 30 a 60 MW/h para el mercado de los Estados Unidos.

Apreciando este panorama se comprende la apuesta de jugadores como Vestas⁹ o Gamesa,¹⁰ que entran al negocio del almacenaje, ya sea como desarrolladores o tecnólogos, y muestran con ello que consideran que existe un mercado, pero que también los

⁴ <<https://elperiodicodelaenergia.com/el-almacenamiento-energetico-ya-tiene-un-coste-competitivo-en-el-sector-comercial/>; <https://elperiodicodelaenergia.com/los-costes-de-las-baterias-podrian-caer-un-66-hasta-2030-y-multiplicar-por-17-el-mercado-de-almacenamiento/>>.

⁵ <<https://elperiodicodelaenergia.com/los-costes-de-las-baterias-podrian-caer-un-66-hasta-2030-y-multiplicar-por-17-el-mercado-de-almacenamiento/>>.

⁶ <<https://elperiodicodelaenergia.com/wartsila-y-e-on-completan-dos-sistemas-de-almacenamiento-de-99-mw-en-texas/>>.

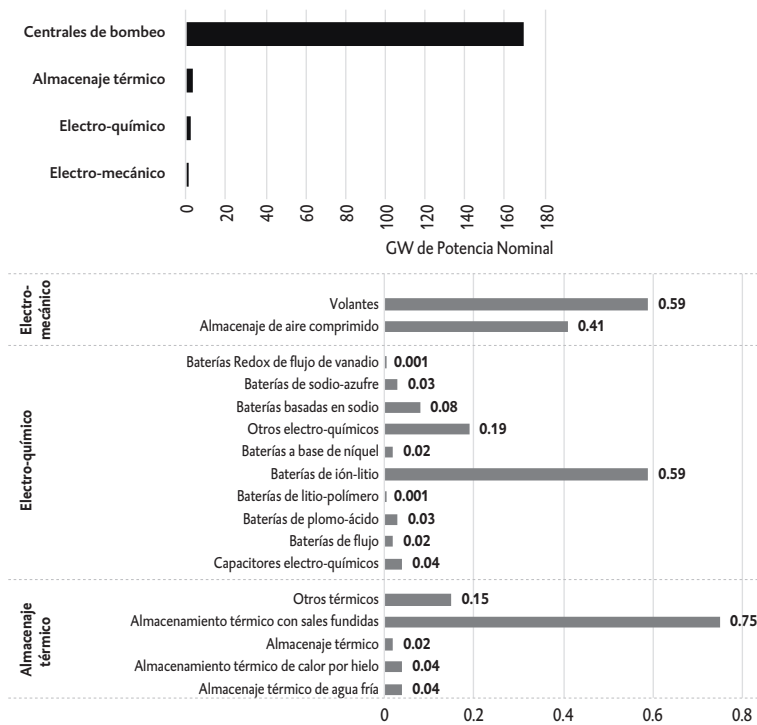
⁷ <<https://elperiodicodelaenergia.com/australia-vuelve-a-confiar-en-tesla-para-un-nuevo-proyecto-de-almacenamiento/>>.

⁸ <<https://elperiodicodelaenergia.com/xcel-consigue-ofertas-para-energia-solar-y-eolica-combinadas-con-almacenamiento-a-precios-nunca-vistos/>>.

⁹ <<https://elperiodicodelaenergia.com/vestas-apuesta-por-los-proyectos-hibridos-de-eolica-solar-y-almacenamiento/>>.

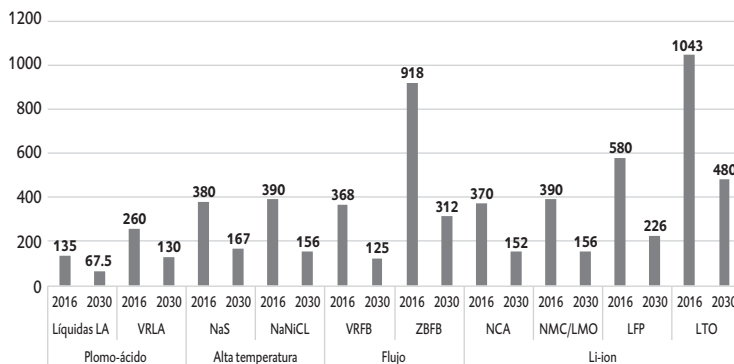
¹⁰ <<https://elperiodicodelaenergia.com/siemens-gamesa-construye-una-planta-de-almacenamiento-termico-para-aprovechar-los-excedentes-de-eolica/>>.

Figura 7. Potencia nominal mundial de almacenaje de energía por tecnologías para mediados de 2017



Fuente: Adaptación propia a partir de IRENA (2017, p. 22).

Figura 8. Potencial de reducción de costos para almacenaje de electricidad en baterías para 2030



Nota: LA = plomo-ácido; VRLA = plomo-ácido regulado por válvula; NaS = azufre sódico; NaNiCl = cloruro de níquel sódico; VRFB = batería de flujo redox de vanadio; ZBFB = batería de flujo de bromo de zinc; NCA = níquel cobalto aluminio; NMC / LMO = óxido de manganeso y cobalto de níquel / óxido de litio y manganeso; LFP = fosfato de hierro y litio; LTO = titanato de litio. Valores en us\$/kWh.

Fuente: IRENA (2017, p. 18).

medios de almacenaje empiezan a conformar la realidad y el modo en el cual las renovables se expanden, de cara a un mercado con cada vez mayores índices de penetración de energía renovable en la capacidad de generación. En particular, el proyecto de Siemens-Gamesa muestra que las baterías no son la única alternativa que seguir, y que casos como el del almacenaje térmico ofrecen alternativas diversas al del ultracompetitivo –y dominado por la escala– mercado de las baterías de ion-litio.

Al respecto puede verse que el desarrollo del mercado depende mucho también de la necesidad que se requiere cubrir, pues, en general, cada medio de almacenaje ofrece soluciones mejores o más competitivas para algunos usos específicos, los cuales dependen de la velocidad de descarga, la densidad energética, la cantidad de ciclos que soporte o la escala o magnitud de energía que puede almacenar. Desde este punto de vista, aparecen una gran cantidad de alternativas a la hora de pensar en el desarrollo local de medios de almacenaje, pues existen diferentes “distancias” tecnológicas a diversas tecnologías, desde algunas en la cual dicha distancia es nula, como las centrales de bombeo –donde empresas como IMPSA las pueden diseñar y construir los equipos–; pasando por otras en las que existen distancias intermedias, como diversos almacenajes térmicos –donde diversos fabricantes de calderas o de centrales nucleares manejan los conocimientos–, hasta otras donde es muy amplia, como el caso de los volantes de súper altas velocidades.

Por otro lado, y como otro elemento para tener en cuenta de cara al desarrollo del mercado, tal como los mercados son diversos, los vectores de baja de costos lo son también y abarcan elementos relativamente simples, como transitar una curva de aprendizaje o lograr escalas; incrementales, como mejorar la cantidad de ciclos en la vida útil de un sistema de baterías; o complejos, como el desarrollo de nuevos materiales. En cualquier caso, todos se asocian de un modo u otro a las políticas públicas, porque, en general, las regulaciones son las que habilitan mercados, a la vez que el apoyo público con herramientas diversas –desde subsidios a investigación hasta créditos blandos y de largo plazo para desarrollos– es el que permite que se generen y recorran senderos de desarrollo de tecnologías y capacidades.

Así, entonces, incluir dentro de la generación eléctrica a recursos renovables no tradicionales implica desplazarse hacia un mundo nuevo en lo que refiere a sistema eléctrico, en particular, y régimen energético, en general. Estos dos conceptos, que abarcan el mundo de la energía, pero en diferente grado y diverso nivel de abstracción, denotan la necesidad de resolver una serie de desafíos y alternativas que solo en parte se pueden adelantar, pero que, en buena medida, ofrecen una interesante oportunidad para

el desarrollo industrial y tecnológico de aquellos países que estén dispuestos y hagan algo por aprovecharla.

Estas oportunidades se relacionan de manera estrecha, con el cambio tecnológico que implican las tecnologías renovables de generación (Roger, 2015, pp. 76-97), pero, a diferencia de lo que se podría pensar, no existe solo una solución para cada problema o necesidad, ni mucho menos el imperativo de realizar desarrollos tecnológicos enormes para impulsar un camino tecnológico nacional. Se trata más bien de desarrollar alternativas de políticas que propongan a las capacidades tecnológicas nacionales, senderos para utilizar lo que existe en la dirección propuesta, a la vez que generar los mercados en los cuales esas capacidades puedan realizar los aprendizajes necesarios a fin de desarrollar competitividad. En tal sentido, una vez más, el papel de regulación y promoción del Estado es inseparable del de desarrollo, pues el *business usual* implica dar lugar simplemente a las empresas que otro Estado (extranjero) desarrolló con anterioridad, o sea, a la importación. A modo de ilustración, en la figura 9 se muestra el estado de madurez de diferentes tecnologías de almacenaje en relación con su costo y riesgo tecnológico.

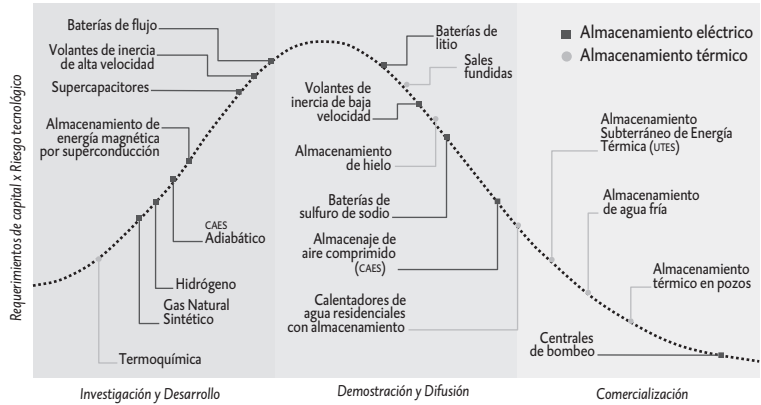
Como se aprecia, entonces, existe una gran diversidad de opciones, distribuidas también en diversos estados de madurez, por lo cual, a la hora de plantear una estrategia para el país, se torna central realizar un detenido análisis de las necesidades estratégicas del sistema energético nacional, las opciones tecnológicas disponibles y su estado de madurez, y las capacidades tecnológicas nacionales. Sin estos elementos, se corre sin duda el riesgo de delegar el manejo de la estrategia tecnológica del país –un tema central para el desarrollo sostenible, competitivo y soberano– a actores internacionales o, dicho de otro modo, se corre el riesgo de generar nuevas dependencias tecnológicas que obstaculicen el futuro desarrollo del país.

Para avanzar en la temática, es preciso indagar con mayor profundidad respecto de los MAE. En lo que sigue, se describirán algunas de las tecnologías en uso, criterios de clasificación y aplicaciones, como así también algunos aspectos de su uso en relación con la electricidad. La reseña sigue en lo fundamental, aunque no exclusivamente se basa en IRENA (2015, 2017), IEA (2014), y en consultas a expertos del sector.

Clasificación

Los MAE pueden ser clasificados en función de diversos criterios, algunos de los cuales son la aplicación para la cual se los va a utilizar, el

Figura 9. Madurez tecnológica de diferentes tecnologías de almacenaje



Fuente: Adaptación sobre la base de IEA (2014, p. 16).

tipo de energía de salida, su tamaño o escala, el tiempo que puede durar la descarga de la energía almacenada, la cantidad de ciclos para la cual está diseñado en función de una unidad temporal y el tiempo de respuesta que este tiene para ofrecer energía.

En el cuadro 1, se ofrece una clasificación sobre estos criterios que permite vislumbrar la diversidad existente, a la vez que la especificidad y nichos de usos en función de requerimientos derivados de la necesidad de brindar seguridad y estabilidad a las redes eléctricas y al suministro de energía, o de aportar soluciones de energía térmica para una diversidad de usos.

Tomando como punto de partida el cuadro anterior, a continuación se brindará una breve descripción de algunas de las principales tecnologías en uso, siguiendo también las fuentes citadas.

Descripción

Sistemas hidroeléctricos de acumulación por bombeo (PSH). Utiliza diferencias de elevación para almacenar fuera de horas punta electricidad para uso posterior. El agua se bombea desde un depósito inferior a un depósito a una mayor elevación durante los períodos de poca actividad. Después, el agua puede fluir de vuelta al depósito inferior, lo que genera electricidad de una manera similar a una planta hidroeléctrica convencional (Argentina cuenta con una central de bombeo, el complejo de Río Grande, en Córdoba¹¹).

Almacenamiento de energía térmica subterránea (UTE). Los sistemas (UTES) bombean agua calentada o enfriada bajo tierra para su

¹¹ <https://es.wikipedia.org/wiki/Complejo_hidroel%C3%A9ctrico_R%CC%80Grande; https://www.epec.com.ar/generacion_central_hidro-grande.html>.

Cuadro 1. Principales características de sistemas de almacenaje de energía para aplicaciones específicas en sistemas energéticos

Aplicación	Salida (electricidad, térmica)	Tamaño (MW)	Duración de descarga	Ciclos (típico)	Tiempo de respuesta
Almacenamiento estacional	e, t	500 a 2000	Días a meses	1 a 5 p/año	Día
Arbitraje	e	100 a 2000	8 a 24 h	0,25 a 1 por día	> 1 h
Regulación de frecuencia	e	1 a 2000	1 a 15 min	20 a 40 por día	1 min
Nivelación de carga	e, t	1 a 2000	15 min a 1 día	1 a 29 por día	< 15 min
Control de voltaje	e	1 a 40	1 s a 1 min	10 a 100 por día	milisegundos a segundos
Arranque a oscuras o reinicio	e	0,1 a 400	1 a 4 h	< 1 por año	< 1 h
Alivio de congestión en transmisión y distribución (T&D)	e, t	10 a 500	2 a 4 h	0,14 a 1,25 por día	> 1 h
Aplazamiento de la inversión en infraestructura de T&D	e, t	1 a 500	2 a 5 h	0,75 a 1,25 por día	> 1 h
Cambios en la demanda y neutralización de picos	e, t	0,001 a 1	Minutos a horas	1 a 29 por día	< 15 min
Fuera de red	e, t	1,001 a 0,01	3 a 5 h	0,75 a 1,5 por día	< 1 h
Integración de recursos de suministro variable	e, t	1 a 400	1 min a horas	0,5 a 2 por día	< 15 min
Uso de calor residual	t	1 a 10	1 h a 1 día	1 a 20 por día	< 10 min
Calor y potencia combinados	t	1 a 5	Minutos a horas	1 a 10 por día	< 15 min
Reservas caliente, giratoria o secundaria	e	10 a 2000	15 min a 2 h	0,5 a 2 por día	< 15 min
Reservas frías, no giratoria o terciaria	e	10 a 2000	15 min a 2 h	0,5 a 2 por día	< 15 min

Fuente: IEA (2014, p. 9).

uso posterior como recurso de calefacción o refrigeración. Estos sistemas incluyen acuíferos y sistemas de almacenamiento de energía térmica de pozo, donde esta agua se bombea dentro y fuera de acuíferos existentes o perforaciones artificiales.

Almacenamiento de energía de aire comprimido (CAES). Estos sistemas usan electricidad fuera de los picos para comprimir el aire, almacenarlo en cavernas subterráneas o almacenamiento en tanques. Este aire es luego liberado (y calentado con objeto de elevar su rendimiento) en una turbina de gas para generar electricidad durante el período de pico.

Los sistemas de almacenamiento en pozos (Pit storage). Usan pozos poco profundos, que se cavan y se llenan con un medio de almacenamiento (con frecuencia grava y agua) y cubierto con una capa de materiales aislantes. El agua es bombeada dentro y fuera de estos pozos para proporcionar un calentamiento o recurso de refrigeración.

Las sales fundidas (molten-salt) son sólidas a temperatura ambiente y la presión atmosférica, pero se someten a cambio de fase cuando se calienta. Esta sal líquida es utilizada con frecuencia para almacenar calor en las instalaciones de energía solar concentrada (CSP) para uso posterior en la generación de electricidad mediante la generación de vapor con intercambiadores de calor.

Las *baterías* usan reacciones químicas con dos o más celdas electroquímicas para permitir el flujo de electrones. Los ejemplos incluyen a baterías a base de litio (por ejemplo: litio-ion, polímero de litio), baterías de azufre de sodio y plomo, entre otras.

El *almacenamiento termoquímico* usa reacciones químicas reversibles para almacenar energía térmica en la forma de compuestos químicos. Esta energía se puede descargar a diferentes temperaturas. Depende de las propiedades de la reacción termoquímica.

El *almacenamiento de hidrógeno* usa este elemento como un portador de energía (*carrier*) para almacenar electricidad. La electricidad se convierte en hidrógeno por medio de electrólisis, este es almacenado y, luego, reconvertido en la forma deseada de uso final (por ejemplo, electricidad, calor o líquido).

Los *volantes (flywheels)* son dispositivos mecánicos que giran a grandes velocidades y almacenan electricidad como energía rotacional (cinética). Esta energía se libera más tarde al transformar la energía cinética en electricidad, lo que convierte la energía cinética del rotor del volante en electricidad y libera ráfagas de energía rápidas (es decir, de alta potencia y corta duración).

Los *supercondensadores (supercapacitors)* almacenan energía en grandes cantidades en campos electrostáticos entre dos placas conductoras, que están separadas por una pequeña distancia. La

electricidad se puede almacenar y liberar rápidamente usando esta tecnología para producir cortas explosiones de alta potencia.

Almacenamiento de energía magnética en superconductora (SMES). Estos sistemas almacenan energía en un campo magnético. Este campo es creado por el flujo de corriente continua en una bobina criogénica. En ultrabaja temperatura los materiales superconductores eléctricos no ofrecen casi resistencia a las corrientes, por ello pueden circular a través de la bobina de superconductor durante mucho tiempo sin perder energía.

Los *sistemas de almacenamiento de medios sólidos (solid media storage)* almacenan energía en un material sólido para uso posterior en calefacción o refrigeración. En muchos países, los calentadores eléctricos incluyen medios sólidos de almacenamiento (por ejemplo, ladrillos u hormigón) para ayudar en la regulación de la demanda de calor.

El *almacenamiento de hielo (Ice storage)* es una forma de almacenamiento de calor latente, donde la energía se almacena en un material que se somete a un cambio de fase, ya que almacena y libera energía. Un cambio de fase se refiere a una transición de un medio entre sólido, líquido y gaseoso. Esta transición puede ocurrir en cualquier dirección (es decir, de líquido a sólido o viceversa), según si la energía se almacena o libera.

El *almacenamiento de agua fría y caliente en tanques (Hot-and cold-water storage)* puede ser utilizado para satisfacer la demanda de calefacción o refrigeración. Un ejemplo común de almacenamiento de agua caliente puede ser encontrado en los calentadores de agua domésticos, que con frecuencia incluyen almacenamiento en forma de tanques de agua aislados.

El almacenamiento de electricidad

De las tecnologías reseñadas arriba, no todas se aplican a la electricidad, aunque sí pueden tener una función dentro de un régimen energético renovable, ya que el abandono progresivo de los combustibles fósiles implicará, sin duda, la necesidad de desplazarse hacia usos más racionales de las fuentes de energía, en lo cual pueden colaborar ciertos medios de almacenaje térmicos. En lo que respecta a las tecnologías de almacenamiento de electricidad, se las agrupa, por lo general, en términos del plazo de almacenaje, es decir corto-medio y largo plazo, pues tal clasificación denota usos diferenciados del MAE.

En términos generales, PSH, CAES y algunas tecnologías de baterías son las más maduras, mientras que las baterías de flujo, SMES,

supercondensadores y otras tecnologías de baterías avanzadas están actualmente en etapas mucho más tempranas de desarrollo (véase figura 9). Debemos recordar que el almacenamiento de electricidad es fundamental para la difusión de un paradigma energético renovable, ya que resulta central para resolver la cuestión de los vehículos eléctricos, y el almacenamiento a bajo costo y de grandes cantidades de energía para solucionar la intermitencia de las renovables.

En los países centrales se realiza de manera permanente importantes esfuerzos e inversiones en I+D+i orientados al desarrollo y prueba de nuevas tecnologías y la mejora de las existentes. Quizás las mayores inversiones se pueden encontrar en baterías e hidrógeno, distribuidas en función de las estrategias de cada país, donde, por ejemplo, Japón destina ingentes esfuerzos al desarrollo del hidrógeno, dada su necesidad de importar combustibles y la versatilidad de este al respecto, pero también en baterías de litio de estado sólido, como alternativa a las baterías que hoy dominan el mercado.

Al respecto de las baterías, siguiendo publicaciones especializadas,¹² es posible apreciar una permanente aparición de nuevos trabajos que se centran en la mejora del rendimiento de la batería, el desarrollo de nuevos electrodos, o de nuevas combinaciones de materiales para la batería, tales como la sal, el magnesio o polímeros. En tal sentido, a la hora de evaluar el resultado de estos esfuerzos, se toman en cuenta características tales como temperatura de operación, capacidad de potencia, densidad, eficiencia, escala, capacidad de descarga, tiempo de respuesta y rendimiento de por vida o ciclos y costo.

En lo que se refiere al almacenamiento de corto/medio plazo, las mejores tecnologías son los volantes, los supercondensadores y el uso de tecnologías SMES de campos eléctricos o magnéticos estáticos para almacenar directamente electricidad. Estas tecnologías, generalmente, tienen ciclos de vida elevados y densidades de potencia altas, pero densidades de energía mucho más bajas. Esto los hace más adecuados para el suministro corto de ráfagas de electricidad en el sistema de energía. Son tecnologías que se encuentran en los inicios de su ciclo de vida y, por ende, su precio es elevado.

Para el almacenaje de largo plazo, los sistemas de bombeo (PSH) son actualmente los más maduros y el método más generalizado para el almacenamiento de electricidad a largo plazo (IEA, 2017, p. 22). A estos los siguen los métodos de almacenamiento de aire comprimido (CAES), con dos casos que han sido utilizados con éxito por los servicios públicos en los Estados Unidos y Alemania por varias décadas (Konidena, 2012). Estas tecnologías enfrentan una

¹² Algunas de estas publicaciones son *Nature Chemistry*, *Nature Nanotechnology*, *Renewable Energy*, *Nature*, *Nature Energy* o *Energy Storage Materials*.

gran inversión inicial, debido a los tamaños de las instalaciones, típicamente grandes (cientos de MW), y las bajas eficiencias proyectadas para propuestas de diseño de CAES no adiabáticas.¹³ En el caso de las centrales de bombeo y CAES, los requisitos geográficos pueden conducir a mayores costos de capital. En la actualidad, hay dos sistemas CAES en operación comercial, los cuales usan gas natural como su principal combustible en el sitio y están equipados con cavernas de almacenamiento subterráneo. La más grande de estas dos instalaciones es un sistema de 321 MW en Huntorf, Alemania. Encargado en 1978, este sistema utiliza dos cavernas (de 300.000 m³) para proporcionar hasta 425 kilogramos por segundo (kg/s) de aire comprimido (con una presión de hasta 70 bares), que producen una eficiencia del 55%. El otro sistema, en McIntosh, Alabama, utiliza el gas de combustión de su planta de energía de gas natural para el precalentamiento, con el fin de aumentar la eficiencia general de la planta de energía.¹⁴

Sin duda, un capítulo aparte lo merece el hidrógeno, que permite almacenamiento de corto, medio y largo plazo, como así también procesos como la fotosíntesis artificial, que es igual de versátil. Como se comprenderá, el análisis de estos excede ampliamente al alcance del trabajo, por lo cual se los dejará de lado. Finalmente, hay que señalar que en lo que se refiere a la tecnología de baterías, se pueden usar tanto para aplicaciones de corto como de largo plazo, y se beneficia de ser altamente escalable y eficiente.

Las baterías de litio y su potencial de desarrollo para la Argentina

El escenario local de las energías renovables

La Argentina, que ha empezado a expandir de manera sostenida su capacidad instalada de energías renovables a partir del plan RENOVAR, viene a la saga del tema en relación con el primer mundo, pero, de las tendencias que se observan en este, es posible inferir que es cuestión de tiempo para que dicho mercado se empiece a desarrollar en el país. Al respecto, la experiencia muestra que la política pública y, en concreto, las regulaciones e incentivos, resultan claves para que ese mercado traccione el desarrollo industrial local, principal vector por el que derraman los beneficios de las energías renovables. Respecto de esto, hay que recordar que la parte industrial de las energías renovables constituyen en el primer mundo, si no uno de los principales, el principal factor de creación de empleos industriales calificados, es decir, de calidad.

¹³ Los almacenamientos no adiabáticos son menos eficientes que los adiabáticos porque no recuperan el calor que se genera al comprimir el aire y, por ende, requieren, con posterioridad, calor en el momento de descomprimir el aire y utilizarlo para generar energía, el cual debe ser aportado desde otra fuente. En los CAES adiabáticos, además del aire, se almacena el calor generado en el proceso, el cual luego es reutilizado y se logran rendimientos reales del orden del 70%.

¹⁴ Véase <<http://www.energystorageexchange.org/projects/136>>.

Entonces, ante el escenario de expansión que plantea la política de energías renovables, se abre un escenario para las baterías. Desde la sanción de la Ley 27.191, se han adjudicado 4638,3 MW de potencia de generación con las tecnologías eólica, solar FV, biomasa, biogás y pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, de los cuales 4370 corresponden a las dos primeras tecnologías, que no representan potencia firme, y que, para seguir expandiéndose, requerirán en el futuro de diversas alternativas de almacenaje de energía. En el cuadro 2, se resume la potencial adjudicada a la fecha en las diferentes variantes que admite la citada ley.

Por otro lado, para cumplir con los objetivos de la Ley 27.191, es preciso que para el año 2025 se instalen aproximadamente entre 9400 y 11.300 MW (Fabrizio y Roger, 2017, pp. 10-17), por lo cual las necesidades y oportunidades para MAE pueden experimentar un despegue. Parte de este potencial, quizás, pueda relacionarse con las limitaciones de capacidades de transporte de energía y la necesidad de expandirla para llevarla desde el norte y el sur del país hacia el centro, punto en el cual se concentra el consumo.

Básicamente la intermitencia de las fuentes renovables provoca además de una oferta variable de energía, que exista capacidad de transporte ociosa en determinados momentos del día, por lo cual, el desarrollo de medios de almacenaje en el punto de origen de la energía podría contribuir a un mejor uso de la nueva infraestructura de transporte (y de la existente) y, por ende, a menores costos en el transporte de energía.

Escenarios para el desarrollo local de baterías de litio

Tal como muestra la figura 10, la curva histórica de demanda de litio para usos de almacenaje se empezó a ver alterada por la demanda para vehículos y ómnibus eléctricos (que desplazó a la de los equipos electrónicos), y se espera que en años venideros la demanda para almacenaje empiece también a tener un peso de relevancia, aunque menor en relación con los otros dos ítems. Contemplando entonces la figura en su totalidad, se pueden apreciar los diferentes segmentos que componen el mercado del litio y, por ende, los espacios donde se deberá insertar quien pretenda participar del mercado como proveedor de baterías.

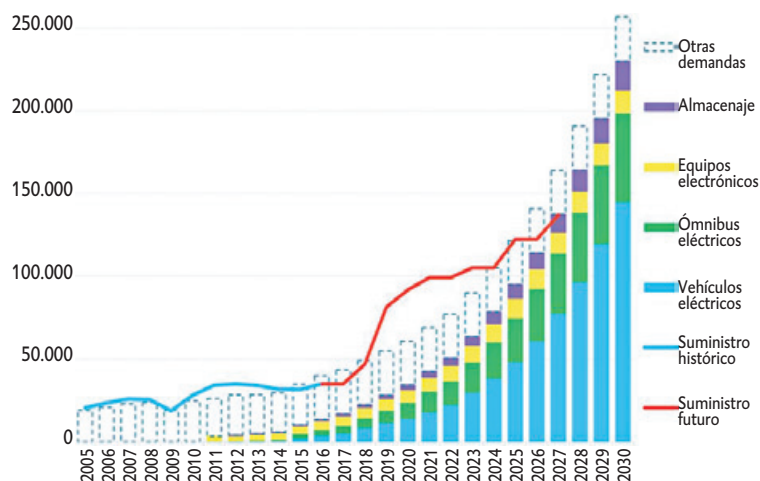
Como se aprecia, entonces, no es posible disociar los medios de almacenaje de las soluciones que aportan, y estas del entorno de negocios o costos en los que funcionan, pues la viabilidad de estos y sus correspondientes mercados se asocian con ellas. Así, entonces, las baterías de litio, que se encuentran en un proceso sostenido

Cuadro 2. Potencial renovable adjudicado a partir de la Ley 27.191

Tecnología	MW/ Ronda o mercado				Total
	1	1,5	2	Mater	
Eólica	708	756,4	993,4	247,15	2704,95
Solar FV	400	516,2	722,88	25,97	1665,05
Biomasa	15		143,2		158,2
Biogás	9		69,3		78,3
PAH	11		20,8		31,8
Total	1143	1272,6	1949,58	273,12	4638,3

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de CAMMESA.

Figura 10. Producción y demanda actual y futura de litio (ton/métricas/año)



Fuente: Bloomberg New Energy Finance, <<https://about.bnef.com/blog/end-sight-near-term-lithium-supply-shortages/>>.

de baja de costos y aumento de la densidad energética –teniendo en cuenta la figura 9–, ofrecen para el presente y el futuro mediano una solución para el transporte público y la expansión de infraestructuras de almacenaje distribuidas, compatibles con esquemas de generación distribuida, lo cual requiere, a su vez, marcos normativos e infraestructuras adecuadas.

En este contexto, si una empresa del país o desde el Estado quisiese avanzar en el mercado de fabricación de baterías, es preciso considerar el modelo de negocio que define esta estructura de mercado, así, tal como se aprecia en el cuadro 3.

En el cuadro 3, se observa, entonces, que los principales aspectos del negocio se encuentran dominados por quienes demandan las baterías, a la vez que el sector automotriz es, si se quiere, el ejemplo paradigmático de una industria organizada en función del modelo de cadenas globales de valor, con el agravante de que la gobernanza de estas cadenas se sitúa en quien diseña los vehículos, por lo cual, las decisiones de segmentación y localización, en general (y para la producción de baterías, en particular), se realizan en función del modelo global de negocio de la marca, de las consideraciones estratégicas de localización, acceso a beneficios fiscales o cercanía, entre otras. Entonces, continuando con el análisis, y siguiendo a Porter (2011, pp. 51-63), ¿cuáles serían las alternativas de estrategia competitiva para un fabricante de baterías local? En el cuadro 4, se expone el citado modelo de estrategias genéricas.

Tomando como referencia a los cuadros 3 y 4, y teniendo en cuenta que la Argentina no domina ni la cadena de producción de vehículos ni de ómnibus, solo aparece como espacio de oportunidad el almacenaje de energía, mercado que es muy sensible a las regulaciones y la penetración de energías renovables, ya que son estos dos elementos los que habilitan de manera central oportunidades de negocios para este. Respecto a las primeras, legislación e incentivos respecto a la generación y almacenaje distribuido y esquemas de tarifas segmentados parecen ser los principales vectores de desarrollo del mercado de almacenaje distribuido, es decir, domiciliario o comercial o no de escala, por lo cual, estamos ante la presencia de un nicho en el cual pueden aparecer instancias de diferenciación a partir de modelos de negocios basados en el financiamiento, soluciones para la optimización del consumo de energía, soluciones integrales u otras. No obstante, tal como viene demostrando la experiencia local en renovables y autogeneración, la ausencia de herramientas de financiación e incentivos adecuadas parecen constituir una barrera de magnitud para el despegue del sector.

Pasando al análisis tecnológico del tema, y tomando en cuenta que estamos ante un negocio relativamente incipiente, la cuestión para un aspirante a producir baterías se puede presentar como el cuadro 5.

Es decir, partiendo de que no existe en el país ni una posición competitiva ni tecnológica fuerte, las opciones se restringen a buscar algún tipo de nicho, dentro del cual, según Porter (2011),

Cuadro 3. Principales aspectos del negocio de fabricación de baterías de litio según segmento del mercado

Principales aspectos del negocio				
Mercado	Dominado por	Vector de competencia	Barrera de entrada	Barrera de salida
Ómnibus	Fabricante de ómnibus	Escala / Costos	Contrato con terminal / Manejo de tecnología	Inversión en planta (costos hundidos)
Vehículos	Fabricante de vehículos	Escala / Costos	Contrato con terminal / Manejo de tecnología	Inversión en planta (costos hundidos)
Almacenaje	Proveedores de soluciones e almacenaje	Nicho (costo o diferenciación)	Manejo de tecnología / Estructura del mercado	Inversión en planta (costos hundidos)
Dispositivos electrónicos	Fabricante de dispositivos	Nicho (costo o diferenciación)	Manejo de tecnología / Estructura del mercado	Inversión en planta (costos hundidos)
Otros	Diferentes casos	Diferentes casos	Diferentes casos	Diferentes casos

Fuente: Elaboración propia basada en relevamiento de mercado.

Cuadro 4. Estrategias competitivas genéricas, según el modelo de Porter

		Ventaja competitiva	
		Bajo coste	Diferenciación
Mercado objetivo	Todo el mercado	Liderazgo en costos	Diferenciación
	Algún segmento	Concentración (en costo)	Concentración (en diferenciación)

Fuente: Porter (2011, p. 56).

podemos optar por costo o diferenciación. Asimismo, dado que el mercado no existe para el país, aunque se puede empezar a desarrollar a partir de la existencia de terminales y de yacimientos de litio, es posible pensar en estrategias que den respuesta a esas potenciales necesidades –siempre dentro de la estrategia de quien gobierna la cadena–, o bien, es posible, pensando en otro mercado,

Cuadro 5. Opciones estratégicas para un proveedor de baterías en función de su posición tecnológica y competitiva

		Posición tecnológica		
		Fuerte	Mediana	Débil
Posición competitiva	Fuerte	Liderazgo tecnológico	Liderazgo tecnológico	Estrategia de seguidor
	Mediana	Liderazgo tecnológico	Seguidor / Nicho	Adquisición de tecnología
	Débil	Nicho	Joint-venture	Reconversión

Fuente: Escorsa Castells y Valls Pasola (2008, p. 68).

el del almacenaje, trabajar sobre políticas públicas para desarrollar un sendero nacional en dicho espacio. En la figura 6, se revisan los condicionantes de la estrategia tecnológica para un potencial fabricante nacional de baterías de litio.

Sobre la base de los cuadros 3 a 6, y teniendo en cuenta que, aunque el país no cuenta con tecnología propia de baterías propias de ion de litio en estado comercial, se puede concluir en una primera aproximación que son dos las opciones para un eventual desarrollo de fabricación local de baterías. La primera de ellas se relaciona con la industria automotriz local, e implica el desarrollo –de la mano de una terminal automotriz– de fabricación para proveer autos u ómnibus eléctricos. Sin duda, contar con el recurso natural puede implicar una ventaja, pero la cercanía de un actor de peso en el sector automotriz como Brasil relativiza las ventajas de ubicación si no se establecen condicionalidades para el acceso al metal. La otra alternativa la constituye la industria del almacenaje de energía, que, si bien tecnológicamente no difiere demasiado de la del mercado automotriz –al menos eso parece indicar el desarrollo del mercado en casos como Estados Unidos y Tesla con su Powerwall–, se puede partir de contar con la ventaja de mercados semicautivos a partir del desarrollo de políticas públicas que privilegien el desarrollo industrial local. Esta alternativa desplaza la cuestión al terreno de la estrategia de desarrollo nacional para la transición de régimen energético, es decir, si se apostará a un cambio de régimen basado en la importación de tecnología o se apostará a que el mercado local constituya la base de un desarrollo de capacidades industriales en el sector. Es, sin duda, en el segundo caso donde se puede dar una alternativa para una industrialización en el país.

Cuadro 6. Condicionantes de estrategia tecnológica para un fabricante de baterías de litio argentino según mercados

Estructura de mercado			
Mercado	¿Qué necesidades satisface?	¿A quién? (segmento)	¿Cómo satisface la necesidad?
Ómnibus	Producto “comoditizado” (precio de mercado / calidad y requerimientos estándar)	Terminal	Con la entrega según requerimientos (calidad, costos, especificaciones) y en tiempo
Vehículos	Producto “comoditizado” (precio de mercado / calidad y requerimientos estándar)	Diseñador del producto / terminal	Con la entrega según requerimientos (calidad, costos, especificaciones) y en tiempo
Almacenaje	Producto “comoditizado” (precio de mercado / calidad y requerimientos estándar)	Proveedor de soluciones de almacenaje (segmentos potencia / distribuida)	Con la entrega de productos en función de las especificaciones que se derivan de los mercados a los que se apunta, y con los requerimientos solicitados
Dispositivos electrónicos	Producto “comoditizado” (precio de mercado / calidad y requerimientos estándar)	Diseñador del producto	Con la entrega según requerimientos (calidad, costos, especificaciones) y en tiempo
Otros	Caso por caso	Diseñador o fabricante del producto	Caso por caso

Fuente: Elaboración propia basada en Escorsa Castells y Valls Pasola (2008, p. 61), y relevamiento de mercado.

Conclusiones

Tal como se ha mostrado, existen evidencias tanto históricas como de tendencias que muestran que el mundo está asistiendo a un lento pero sostenido proceso de transición de régimen energético, en el cual, a diferencia de la transición del petróleo al gas, es preciso desarrollar toda una nueva generación de paquetes tecnológicos e infraestructuras para garantizar la cobertura y seguridad del suministro energético. La evidencia histórica muestra –discusión que ha quedado fuera del alcance del trabajo– que los países que en el pasado han impulsado transiciones, como el caso de los Estados Unidos o Inglaterra, han conseguido ventajas de relevancia en el mediano plazo, pues estas transiciones forzadas y pioneras implicaron el desarrollo temprano de toda una infraestructura que apuntaló el desarrollo de largo plazo de estos países, pero más importan-

te aún, impulsó también el desarrollo de industrias de bienes de capital asociadas a la explotación de los recursos energéticos, que resultaron claves para el desempeño futuro de sus economías. Así, entonces, apoyadas en la producción de energía abundante y con el manejo de las tecnologías clave, tuvieron asegurado el crecimiento sostenido de su bienestar por décadas.

El caso de las energías renovables, cuyo proceso de transición estamos viviendo, implica también un desarrollo importante de infraestructuras y la creación/reconversión de capacidades industriales, motivo por el cual tiene, también, el potencial para revolucionar las economías que no se limiten a ser meros adoptantes de tecnologías importadas. Dentro de este esfuerzo, aparecen los MAE, cuya relevancia radica en que son la clave para que las fuentes renovables de energía puedan proveer la mayor parte de energía de la sociedad. Este lugar central se cifra en dos cuestiones clave: por un lado, la necesidad de paliar la irregularidad e intermitencia de los recursos renovables; por el otro, superar los límites técnicos a la penetración de las renovables que estas irregularidades imponen y, por ende, romper el techo de cristal del mercado de los equipos de generación renovable, lo que, sin dudas, terminará de desplomar los costos de generación renovable.

Al respecto de los MAE, se ha mostrado que existe un conjunto importante de tecnologías en diverso estado de madurez y que estos se adecuan en mayor o menor medida a un conjunto de requerimientos que se irán expandiendo a medida que la generación renovable vaya ganando terreno en la matriz energética. Sin duda, los dos usos centrales serán el almacenaje en escala para garantizar el suministro constante de energía y el almacenaje para vehículos eléctricos, elemento clave si se requiere descarbonizar la economía, y que explica buena parte de las emisiones y el espacio donde es más complejo desplazar a los hidrocarburos. Es entonces en el almacenamiento de electricidad donde se jugará la principal partida de los MAE, y es en este campo, en particular, en las escalas media-baja, donde las baterías de ion litio poseen más fortaleza y donde sacan ventaja al hidrógeno, el otro *carrier* relevante para el desarrollo de la movilidad eléctrica.

Yendo entonces al tema de las baterías de litio, tema relevante por la cuantía de las reservas nacionales de dicho metal, el análisis precedente ha mostrado que, dada la actual estructura de mercado y las capacidades tecnológicas locales, iniciar una política de industrialización del litio requiere focalizar los esfuerzos en algún o algunos nichos, ya que la competencia de nivel mundial presenta grandes barreras de entrada o se inserta en cadenas de valor en las cuales la injerencia del país es nula o escasa. Entonces, los nichos,

o sea, proveer a segmentos específicos de un mercado para una automotriz, por ejemplo, aparecen como una alternativa aunque, claro está, totalmente subordinada a su estrategia. Por otro lado, la ausencia en el país de un desarrollo de I+D+i de baterías nos deja, en el mejor de los casos, en un lugar de imitadores, en un mercado que es muy dinámico, con constante innovación en los materiales, y que, en el caso del litio, no posee una vida de más allá de 20 o 30 años, pues la emergencia de nuevos materiales para baterías implicará su desplazamiento.

Otro nicho posible, tal como se ha señalado, lo constituye el mercado del almacenaje distribuido, que se segmenta en fuera de la red y en red. En el primero de los casos, abarca desde ciudades fuera del sistema interconectado a casas aisladas; en el segundo, implica desarrollar almacenaje en viviendas o unidades productivas para aprovechar la ventaja de la autogeneración o la segmentación de tarifas, para desplazar el consumo de la red hacia los momentos de menores costos tarifarios. El desarrollo de un mercado así, requeriría de una decidida acción estatal tanto en lo que hace a regulaciones como en el terreno de la política industrial, cosas que, a la fecha, han estado ausentes en la política sectorial.

Las regulaciones deberían crear los nichos de mercado para los cuales se pueda producir, a la vez que brindar protecciones o ventajas a la industria nacional destinada a abastecerlos. Por el lado de la política industrial, se requiere, sin lugar a dudas, una política vertical, destinada a desarrollar un sector o una empresa nacional insignia, tal como se ha hecho en casos como Francia y sus campeones nacionales, dando un paso más allá de las clásicas políticas horizontales que han acompañado a nuestro país en las últimas décadas. Por otro lado, un esfuerzo de tal magnitud difícilmente sea razonable y deseable en un sector aislado y debería formar parte de uno mayor del país, orientado a desarrollar capacidades industriales en el sector renovable.

Sin duda, ante tal escenario, el desafío es grande, pero la alternativa, que implica la mera importación de equipos para generación y almacenaje, implica seguir transitando un camino de desindustrialización y deterioro de la balanza comercial del país, y, en lo tecnológico, un retroceso enorme, ya que la Argentina es el único país del hemisferio sur que cuenta con tecnólogos en la generación eólica. Esto, que no es una casualidad, sino el resultado de un sendero de desarrollo, puede ser un interesante prólogo para el despliegue de una estrategia propia de transición integral a un mundo renovable que abarque tanto a la generación como el almacenaje en los campos comercial e industrial, pero, de no mediar políticas públicas acordes, será parte de una de las tantas historias de desarrollos

frustrados del país. Una vez más, y como siempre se trata en las temáticas de desarrollo, la pelota está del lado de la política.

[Recibido el 31 de mayo]

[Evaluado el 12 de junio]

Referencias bibliográficas

- BP (2017), *BP Statistical review of world energy*. Disponible en: <<http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>>.
- Cottrell, F. (2009), *Energy and society (revised)*, Authohouse.
- Dossi, G. (2003), “Paradigmas y trayectorias tecnológicas. Una interpretación de las determinantes y direcciones del cambio tecnológico”, en Chesnais, F. y J. C. Neffa (comps.), *Ciencia, tecnología y crecimiento económico*, Buenos Aires, CEIL-PIETTE Conicet.
- Escorsa Castells, P. y J. Valls Pasola (2008), *Tecnología e innovación en la empresa*, México, Alfaomega.
- Fabrizio, R. y D. Roger (2017), “Política pública, energía y desarrollo: escenarios de impacto de la política energética en el empleo y la industria nacional”, *Industrializar Argentina*, N° 32, Buenos Aires, CIPBIC.
- Hall, C. A. S., S. Balogh y D. J. R. Murphy (2009), “What is the minimum EROI that a sustainable society must have?”, *Energies*, N° 2, pp. 25-47; doi:10.3390/en20100025.
- Hirsch, S. (1965), “The United States electronics industry in international trade”, *National Institute Economic Review*, N° 34, pp. 92-97. Disponible en: <<http://www.jstor.org/stable/23872524>>.
- IEA (2014), *Technology roadmap energy storage*, IEA.
- IRENA (2015), *Battery storage for renewables: market status and technology outlook*, Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency.
- (2017), *Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030*, Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency.
- Konidena, R. (2013), “Working Group 7 – 2012 Final Report on Energy Storage”, trabajo presentado en el IEA Energy Storage Technology Roadmap Stakeholder Engagement Workshop, París. Disponible en: <www.iea.org/media/freepublications/technologyroadmaps/6GO15WG7PresentationIEAworkshop.pdf>.
- Lévi-Strauss, C. (1969), *Antropología estructural*, Buenos Aires, Eudeba.
- Maddison-Project, The (2013), <<http://www.ggdc.net/maddison/maddison-project/home.htm>>.
- Murphy, D. J. y C. A. S. Hall (2010), *Year in review — EROI or energy return on (energy) invested*, Nueva York, Annals of the New York Academy of Sciences.
- Pérez, C. (2001), “Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil”, *Revista de la Cepal*, N° 75, Santiago de Chile.

- (2004), *Revolución tecnológica y capital financiero*, México, Siglo XXI Editores.
- Porter, M. (2011), *Estrategia competitiva*, México, Grupo Editorial Patria.
- Rastler, D. (2011), *Midwest Independent Transmission System Operator (MISO) Energy Storage Study Phase 1 Interim Report*, EPRI, Palo Alto, noviembre. Disponible en: <www.uwig.org/miso_energy_storage_study_phase_1_report.pdf>.
- Roger, D. (2015), “Ventana de oportunidad para el desarrollo del sector eólico argentino”, tesis de maestría, Buenos Aires, ITBA.
- Schrodinger, E. (1998), *¿Qué es la vida?: mi concepción del mundo*, Barcelona, Tusquets Editores.
- Smil, V. (2013), *Energy transistios*, California, Greenwood Publishing Group.
- US DOE (United States Department of Energy) (2013), *DOE Global Energy Storage* (database). Disponible en: <www.energystorageexchange.org>.
- Wells, L. (1968), “A Product Life Cycle for International Trade?”, *Journal of Marketing*, vol. 32, N° 3, pp. 1-6; doi:10.2307/1249754.
- White, L. (1964), *La ciencia de la cultura*, Buenos Aires, Editorial Paidós.
-

Autor

Diego Daniel Roger es licenciado en Ciencia Política por la UBA, magíster por ITBA, cursa el doctorado en Desarrollo Económico de la UNQ, y es docente de la carrera de Ciencia Política de la UBA. Dirige un proyecto de investigación sobre el perfil de empleo del sector eólico argentino, ejecutado por CIPIBIC para INET, y forma parte del equipo de investigación del proyecto “Sustentabilidad de la explotación del litio en Argentina. Globalización y territorios vulnerados”, con sede en el PIIDISA, de la UNQ. Es responsable del área de Desarrollo Sectorial y Vinculación Tecnológica de CIPIBIC.

Publicaciones recientes:

- , F. Orjuela y S. Papagno (2018), “Política energética y oportunidades de desarrollo: un análisis desde una perspectiva termodinámica y neoschumpeteriana de la Ley de Fomento de Energías Renovables y su aplicación”.
- (2017), “Medios de almacenaje de energía y oportunidades tecnológicas en la industria nacional de bienes de capital”.
- (2017), “Competitividad de innovación en la Industria del Petróleo para el desarrollo con inclusión social”.
-

Cómo citar este artículo

Roger, Diego Daniel, “Almacenaje de energía y transición energética. Alternativas en un horizonte de desarrollo tecnológico e industrial nacional”, *Revista de Ciencias Sociales, segunda época*, año 10, N° 34, Bernal, Editorial de la Universidad Nacional de Quilmes, primavera de 2018, pp. 17-47, edición digital, <<http://www.unq.edu.ar/catalogo/474-revista-de-ciencias-sociales-n-34.php>>.