



**Almacenamiento energético frente al inminente paradigma renovable:
el rol de las baterías ion-litio y las perspectivas sudamericanas**

Energy storage towards the imminent renewable paradigm: the role of ion-lithium batteries and South American perspectives

Martín Ariel Kazimierski

Argentina. Licenciado en Geografía por la Universidad de Buenos Aires. Becario doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de Argentina e investigador del Instituto de Estudios de América Latina y el Caribe (IEALC) para el proyecto “La energía del Litio en Sudamérica”. Correo: martin.kazimierski@gmail.com

Fecha de recepción: 17 de octubre de 2017.

Fecha de aceptación: 22 de enero de 2018.

Resumen

El actual sistema energético mundial se caracteriza por una alta dependencia de los combustibles fósiles, un paradigma que empieza a encontrar dificultades en tanto se agotan las reservas existentes y aumentan los costos ecológicos. Así, la incorporación de energías renovables, su generación en forma distribuida y el crecimiento del parque automotor eléctrico, se presentan como la triada más prometedora en la conformación de un nuevo paradigma más eficiente y sustentable. Este artículo se centra en la importancia que adquieren los acumuladores energéticos ante este panorama, principalmente por su rol en la estabilización de las redes y posibilitar el autoconsumo y la propulsión eléctrica. Identifica en las baterías de ion-litio un abanico de posibilidades para Sudamérica, que posee las reservas más importantes de litio en el mundo, incorporando la idea del desarrollo dentro del nuevo patrón energético y en un mercado actual y potencial de grandes dimensiones.

Palabras clave: almacenamiento energético; baterías ion-litio; energías renovables; Sudamérica; transición energética.

Abstract

The current global energy system is characterized by a high dependence on fossil fuels, a paradigm that begins to encounter difficulties as existing reserves are depleted and ecological costs increase. Thus, the incorporation of renewable energies, their generation in a distributed form and the growth of the electric motor park, are presented as the most promising triad in the conformation of a new, more efficient and sustainable paradigm. This article focuses on the importance that energy accumulators acquire in this scenario, mainly due to their role in stabilizing networks and enabling self-consumption and electric propulsion. It identifies lithium-ion batteries with a wide range of possibilities for South America, which has the most important reserves of lithium in the world, incorporating the idea of development within the new energy pattern and in a current and potential market of large dimensions.

Key words: energy storage; energy transition; lithium-ion batteries; renewable energies; South America.

Introducción

En el contexto del agotamiento de los combustibles fósiles y la amenaza del fenómeno del cambio climático, los países apuestan por un cambio en el paradigma energético. La denominada “transición energética” supone ir abandonando paulatinamente las energías fósiles, estimadas para suplir los próximos 50 años de vida (Fornillo 2016), y generar un tipo de tracción que esté vinculado a energías renovables y sustentables. En este marco, el almacenamiento de energía, junto con las redes de energía, se perfila como la piedra angular tanto en los sistemas energéticos contemporáneos, de carácter centralizado, como también en los flamantes sistemas de generación distribuida¹ y en el creciente mercado automotor eléctrico. La batería, como dispositivo técnico para el almacenamiento, ha

¹ La generación de energía distribuida es aquella que tiene lugar próximo a los sitios donde es consumida. Generalmente se asocia al autoabastecimiento (Bermejo 2013).

adoptado diversas propiedades y formas desde 1991, cuando Sony lanzó al mercado el primer ejemplar (Fornillo 2015).

Actualmente, la batería de iones de litio se encuentra en la frontera tecnológica y su producción se ha masificado desde la década de los noventa con la llegada de los dispositivos electrónicos móviles (tales como celulares, *notebooks*, etc.). En este mercado su liderazgo es innegable, a tal punto que casi el total de los dispositivos que utilizamos de manera cotidiana poseen esta tecnología. Sin embargo, la sociedad reconvierte las políticas que cambian sus prioridades y la ciencia avanza. Nuevas necesidades aparecen en la industria del desarrollo. Entonces, lo que cabría preguntarse es: ¿Qué se está haciendo en el mercado de las baterías ion-litio para seguir en el corazón de la transición energética? ¿Cuánto tiempo le queda a esta tecnología? Su capacidad técnica ha sido cuestionada frente a los requerimientos imperantes del mercado, y un ejemplo de ello es su incursión en la industria de Vehículos Eléctricos (EV) y Vehículos Eléctricos Híbridos (HEV), donde empresas transnacionales han invertido sumas millonarias en el desarrollo de baterías de litio más eficientes y de mayor autonomía con resultados parcialmente exitosos.

Si repasamos la historia humana desde la revolución industrial encontraremos que el combustible fósil (primero el carbón y luego el petróleo) ha sido clave en el desarrollo, protagonizando el ascenso del capitalismo y guerras por el orden mundial. El derrocamiento de la “era fósil” y el ascenso de la “era de los renovables” nos hacen pensar en la magnitud de este cambio que, aunque será gradual, naturalmente reconfigurará el orden establecido y otorgará ventajas a quienes tomen la posta. El capitalismo indefectiblemente habrá de reinventarse para sobrevivir, por lo que se vuelve imperioso crear formas alternativas de pensar el desarrollo (Bertinat *et al.* 2014). En este escenario, los tres países que integran el denominado “triángulo del litio” —Argentina, Bolivia y Chile— poseen las reservas más importantes de litio en el mundo. Sus salares concentran el 55% de las reservas mundiales y cerca del 85% de los depósitos de salmueras (Fornillo 2015), los cuales permiten obtener carbonato de litio (Li_2CO_3) con el grado de pureza que demanda la industria de baterías eléctricas, con costos productivos y ambientales mucho menores a los asociados con los métodos mineros convencionales (Fornillo 2015).

De esta manera, en este artículo me propongo definir lo que es un nuevo paradigma energético que se avecina, y explorar la centralidad que adquieren los

acumuladores energéticos, en especial las baterías ion-litio, en este escenario. Mi aporte se basa en plantear los retos que supone para la región en materia de desarrollo, considerando que se está ante la posibilidad de lograr ir más allá de la histórica condición como región exportadora de naturaleza e impulsar nuevas prácticas emancipadoras. Por supuesto, el camino hacia la industrialización del litio en Sudamérica no estará exento de dificultades, pero está en manos de los Estados la posibilidad de romper los esquemas tradicionales e insertarse en la cadena de valor del litio.

Transformando el “metabolismo energético mundial”

Los discursos de líderes políticos a nivel mundial que proclaman un cambio en el paradigma energético no apuntan, como todos crearíamos, al agotamiento del combustible fósil y los radicales cambios que esto supone, esgrimidos en teorías decimonónicas como el “pico del petróleo” (*peak oil*)² o del Decrecimiento,³ sino que destacan su contribución al incremento de la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI), estimado en un 56%, y al cambio climático que ello está provocando. Los esfuerzos supranacionales para procurar disminuir emisiones se remontan a 1997 cuando se suscribe el Protocolo de Kyoto, cuyo cumplimiento fue prácticamente nulo. En 2015, en la 21 Conferencia de las Partes (COP21) celebrada en París, los 195 países participantes firmaron el compromiso denominado Acuerdo de París, que ratifica y establece nuevas medidas para la reducción de las emisiones de GEI, con el objetivo de limitar el calentamiento global por debajo de los dos grados centígrados sobre los niveles preindustriales.⁴

En esta oportunidad, el acuerdo se ve beneficiado por el aumento de la rentabilidad de las tecnologías renovables, la puesta en marcha de programas de apoyo y un mejor acceso al financiamiento. Como resultado, las inversiones en fuentes renovables, principalmente de tipo solar, eólica e hidráulica, aunque también, geotérmica,

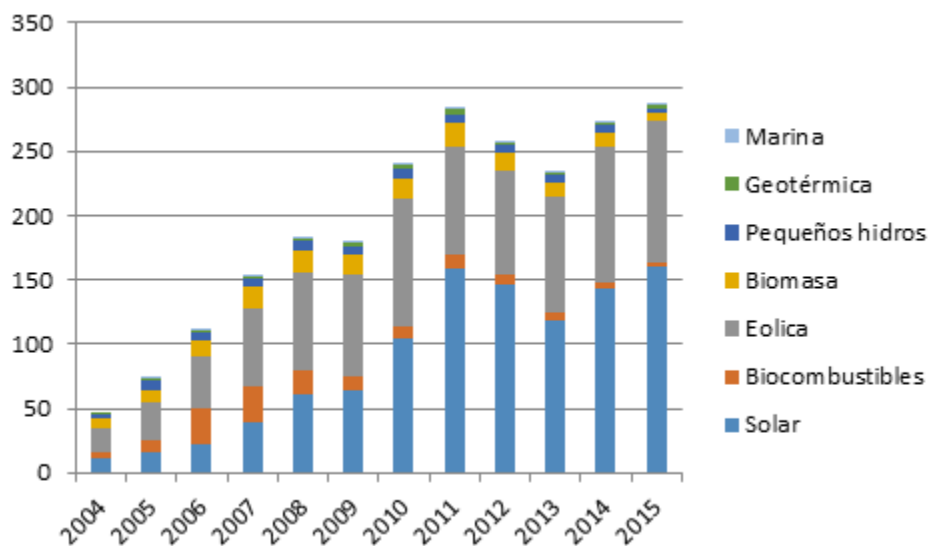
² Este concepto se deriva de la “teoría del pico” del geofísico Marion King Hubbert, que establece que la producción de petróleo sigue una curva en forma de campana. La disminución de la producción se acelera a medida que crece el desafío de extraer nuevas reservas. Si las nuevas reservas no se ponen en línea más rápidamente que las reservas existentes, entonces se ha llegado al pico de petróleo (García-Bilbao 2013).

³ El Decrecimiento es una corriente de pensamiento político, económico y social favorable a la disminución regular controlada de la producción económica, con el objetivo de establecer una nueva relación de equilibrio entre el ser humano y la naturaleza, pero también entre los propios seres humanos (Latouche 2008).

⁴ Su aplicabilidad sería para el año 2020, cuando finaliza la vigencia del Protocolo de Kyoto.

mareomotriz y de biomasa, se han acelerado, batiendo récords año tras año. Según estimaciones de *Bloomberg*, en 2015 se ha alcanzado la suma de 286.000 millones de dólares, siendo la primera vez en la historia que la inversión total en países periféricos superó al de las economías desarrolladas, impulsada principalmente por China. El gráfico 1 excluye grandes esquemas hidroeléctricos de más de 50 MW (*megawatts*), debido a que no existe un consenso generalizado sobre su sustentabilidad y el grado de impacto ambiental.

Gráfico 1. Tendencias mundiales en inversión en energías renovables por tecnología (en miles de millones de dólares).



Fuente: Bloomberg New Energy Finance (2016).

Esta transición energética hacia nuevos modelos de desarrollo no solo se basa en una sustitución tecnológica de las energías convencionales por otras renovables, sino que, en el mejor de los casos, pretende, además, cambiar el modelo de gestión del sistema eléctrico. Implica pasar del modelo clásico de un número reducido de empresas privadas que controlan la generación y distribución eléctrica, con base en grandes centrales de producción, a un modelo descentralizado, eficiente y sostenible (Bertinat *et al.* 2014). Por supuesto, este proceso no estará exento de dificultades e intereses contrapuestos, principalmente, por parte de grandes empresas distribuidoras de energía eléctrica y transnacionales, abocadas a la industria de hidrocarburos. Sin embargo, en algunos países centrales, como Alemania o Dinamarca, ya se está trabajando en el diseño de redes

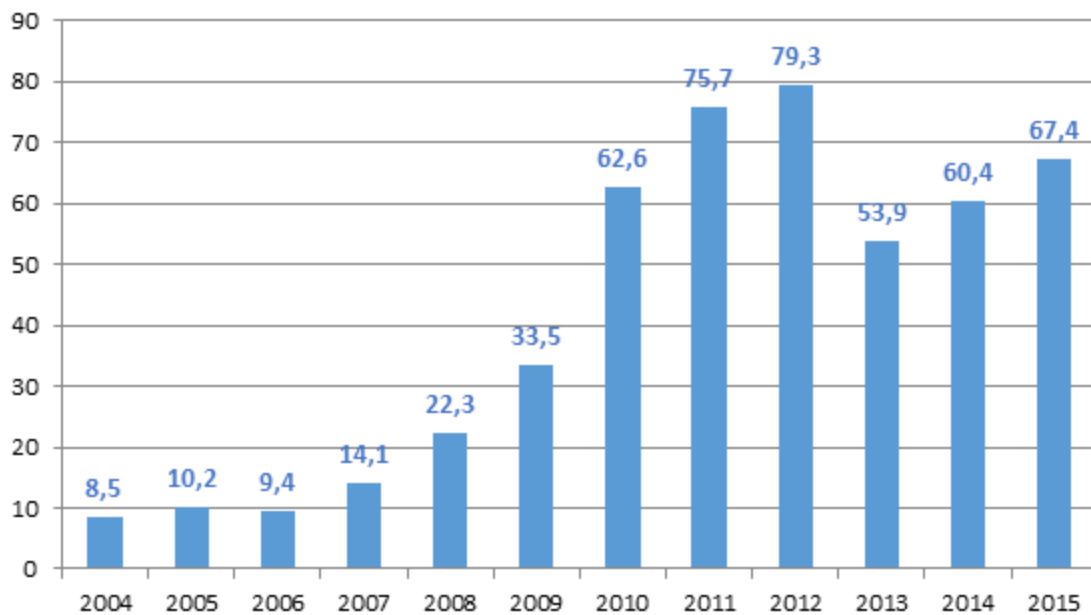
inteligentes dentro de un sistema de energía distribuida donde los consumidores de energía sean quienes también la producen, lo que se denomina “prosumidor”.⁵ Su aplicación necesariamente conlleva enormes inversiones en infraestructura y desarrollo tecnológico que permitan la “compra y venta de electricidad” a través de tendidos y medidores eléctricos bidireccionales, como así también en marcos regulatorios precisos que propugnen un sistema eficiente y sustentable por encima de los negocios privados que puedan surgir de la venta de energía.

Actualmente, casi la totalidad de la generación de electricidad se lleva a cabo en centrales. El transporte se realiza a través de líneas de alta tensión, seguido de estaciones transformadoras (subestaciones) que reducen la tensión de la línea (media o baja), y permiten la distribución a los puntos de demanda (Agencia Internacional de la Energía 2016). Ahora bien, a medida que la electricidad viaja por las líneas de transporte, esta va perdiendo energía debido a la resistencia que ofrece el conductor eléctrico, reduciendo la eficiencia energética del sistema. En este contexto, existe una tendencia en continuo crecimiento, hacia una generación más cercana a los puntos de consumo. Según la agencia Bloomberg, en 2015 del total de inversión en energías renovables a nivel mundial, más de un cuarto (67.400 millones de dólares) se destinó a proyectos de menos de 1 MW, que normalmente consisten en pequeñas instalaciones fotovoltaicas instaladas en techos. El gráfico 2 permite observar un marcado aumento de la inversión en el año 2015, con un 12% con respecto al 2014 y un 25% más que en 2013, pero aún por debajo de los niveles observados en 2011 y 2012, durante el pico de los auges de instalación de paneles solares en Alemania e Italia (Bloomberg New Energy Finance 2016).

Un cambio en el paradigma energético implica también la transformación y optimización de la industria del transporte, al que sólo el parque automotor aporta más del 14% de las emisiones de CO₂ (Herzog 2009). Desde la primera gran crisis del petróleo, hace más de 40 años (y a pesar del progreso técnico y el empeño político), el sistema de transporte no ha cambiado de forma esencial. El parque automotor se ha ampliado y vuelto más eficiente desde el punto de vista energético, pero sigue dependiendo del petróleo y sus derivados, con altos niveles de emisión.

⁵ La palabra “prosumidor” es un acrónimo formado por la fusión original de las palabras productor y consumidor.

Gráfico 2. Inversión en energías renovables distribuidas (en miles de millones de dólares).



Fuente: Bloomberg New Energy Finance (2016).

Como respuesta, organismos gubernamentales y compañías automotrices, en alianza con empresas electrónicas, apuestan a un mercado de vehículos eléctricos. Aunque hoy día, las energías renovables constituyen solo el 4 % del combustible mundial (dado principalmente por el uso de biocombustibles), la propulsión eléctrica se perfila como el cambio más radical en el mediano/largo plazo. La Unión Europea (UE) lleva adelante una importante política de promoción a modo de “romper la dependencia del petróleo en el sistema de transporte” (Libro Blanco del Transporte de la Comisión Europea 2011). Asimismo, las automotrices se han lanzado a una intensa carrera por el liderazgo en su fabricación. Según *Bloomberg*, en 2016 la producción y comercialización de vehículos eléctricos en el mundo alcanzó los 1,3 millones de unidades, casi el doble del nivel registrado en 2014, y se espera que para 2025 se llegue a los primeros 30 millones y 150 millones para 2040.

Almacenamiento energético, la pieza clave

Una característica de este nuevo paradigma energético es la necesidad de desarrollar y extender nuevas formas de almacenar la energía procedente de fuentes renovables. El viento, la radiación solar, las olas y las mareas solo producen electricidad cuando las

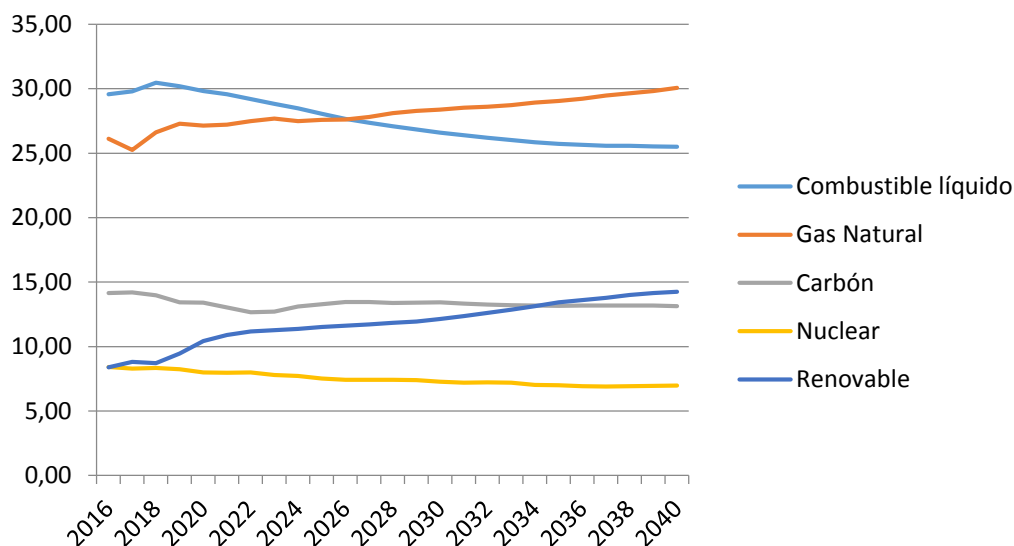
condiciones de los recursos son correctas. En el caso del viento en tierra, un proyecto puede tener una capacidad nominal de 100 MW, pero la producción durante un año es probable que sea solo alrededor del 20-35% del número de kilovatio hora (kWh). Este porcentaje, se conoce como “factor de capacidad” (Agencia Internacional de las Energías Renovables 2014). Para un parque solar fotovoltaico, el factor de capacidad puede estar en el rango del 10-20%, y para el techo solar puede ser aún menor. Para los proyectos de olas y mareas, puede ser del 20-40%, aunque estas tecnologías están en su mayoría en fase temprana.

En consecuencia, la integración de cada vez más fuentes de energía renovable en las redes provoca que la volatilidad aumente y se produzcan excedentes de energía con una frecuencia creciente. Estas fluctuaciones significan que se requiere algún tipo de equilibrio en el sistema para que la generación de electricidad pueda satisfacer el consumo de manera consistente, sin que se produzcan cambios bruscos en la frecuencia de la red. Hasta ahora, este desafío ha sido manejado en gran medida por el mejoramiento de las técnicas para pronosticar la producción eólica y solar, empero, la cuestión del equilibrio será aún más importante en el futuro, donde el porcentaje de generación eólica y solar necesariamente aumentará. El gráfico 3, conformado por datos de la Agencia Internacional de Energía (IAE), muestra las proyecciones en términos de la evolución del consumo de energía por fuente. Las tendencias para el año 2040, pronostican que el consumo de energías renovables se incrementaría en un 69% entre 2016 y 2040, mientras que el consumo de petróleo y carbón disminuiría un 21% y 7%, respectivamente, para el mismo período.

De acuerdo con *Bloomberg*, actualmente, existen cuatro maneras diferentes de equilibrar la generación variable de energía renovable: (1) a través de la generación convencional como refuerzo para las renovables; (2) a través de interconectores que canalizan la electricidad desde locaciones con excedente hacia aquellos con déficit; (3) a través de la respuesta a la demanda, generalmente involucrando a grandes usuarios industriales y comerciales que son remunerados por inutilizar maquinarias de alto consumo cuando el suministro de electricidad está al límite; y la más eficiente, (4) el almacenamiento de energía excedente. Este último, consiste en almacenar la energía que comúnmente se desperdicia cuando la oferta supera la demanda, para luego liberarla a la

red cuando los recursos de energía renovable son insuficientes para satisfacer el consumo, equilibrando de manera inmediata las fluctuaciones imprevistas y los cambios de carga.

Gráfico 3. Demanda mundial de energía por fuente (en *quadrillion Btu*).



Fuente: International Energy Outlook (2016).

El almacenamiento de energía eléctrica (conocido como EES, por sus siglas en inglés) ha sido descrito por numerosos expertos como el “Santo Grial” de la industria de la electricidad (Dunn *et al.* 2011), siendo incluido como parte vital de los planes de energía en diferentes países.⁶ Según *Bloomberg*, la capacidad de generación flexible (término que alude a la capacidad de las centrales eléctricas para responder ante la intermitencia) necesitará crecer de unos 58 GW en 2015 a 858 GW en 2040, conforme las energías renovables vayan adquiriendo protagonismo en los diferentes sistemas nacionales

Hasta la fecha, las soluciones de almacenamiento basadas en baterías gigantes son caras, por lo que históricamente ha sido mucho más rentable expandir la generación, la transmisión y la distribución para satisfacer la carga máxima y proporcionar un margen de operación suficiente. En los casos en que se apostó al almacenamiento, intervinieron centrales hidroeléctricas reversibles o bombeadas, los cuales consisten en centrales (normalmente superior a los 200 MW) que además de transformar la energía potencial

⁶ Japón y Alemania han incluido el aumento de su capacidad de EES dentro de su plan de energía, con un objetivo a corto plazo de 15 % y 10 % de almacenamiento en la red, respectivamente (Roberts y Sandberg 2011).

del agua en electricidad, tiene la capacidad de hacerlo a la inversa, es decir, aumentar la energía potencial del agua, por ejemplo, subiéndola a un embalse (Roberts y Sandberg 2011). Es de destacar que la Argentina es el único país de Sudamérica que posee esta tecnología, con sus complejos hidroeléctricos en Río Grande (provincia de Córdoba) y Reyunos (Mendoza) (Secretaría de Energía 2003). Otro método de almacenamiento masivo es el de Almacenamiento de Energía de Aire Comprimido (CAES, por sus siglas en inglés). Este consiste en aprovechar la energía eléctrica sobrante para comprimir el aire en un almacenamiento subterráneo (minas abandonadas, cavidades rellenas en soluciones minerales o acuíferos) para, posteriormente, ser descomprimido en períodos de alta demanda.⁷

Tanto los sistemas de bombeo hidráulico como CAES constituyen las tecnologías más baratas en la actualidad para almacenamiento de energía. Sin embargo, la ciencia ha realizado importantes avances en materia de baterías para ESS, las cuales están experimentando una situación parecida a la que vivieron hace años los generadores de energía renovable. El gráfico 4 permite observar una marcada disminución de su costo a un 60% de su valor en 2014, y con proyecciones que prevén una alta competitividad frente a las centrales hidroeléctricas bombeadas y CAES. Su aplicación comenzó en la década de 1990, en Japón, con el desarrollo de un sistema de baterías de sodio-azufre (NaS) capaz de entregar hasta seis horas de autonomía de batería cada día.

Actualmente, las baterías de ion-litio son las de menor costo y mayor eficiencia, permitiendo su aplicación a modo piloto en numerosos proyectos. En diciembre de 2015, comenzó a operar en Japón una batería de 60 MW, propiedad de *Hokkaido Electric Power Co.* Esta es la batería de mayor capacidad de almacenamiento hasta la fecha. Asimismo, en abril de 2014, la *AES Corporation* anunció planes para construir una instalación de almacenamiento de 100 MW para complementar su actual central eléctrica en Irlanda del Norte, cerca de la ciudad de Belfast.⁸

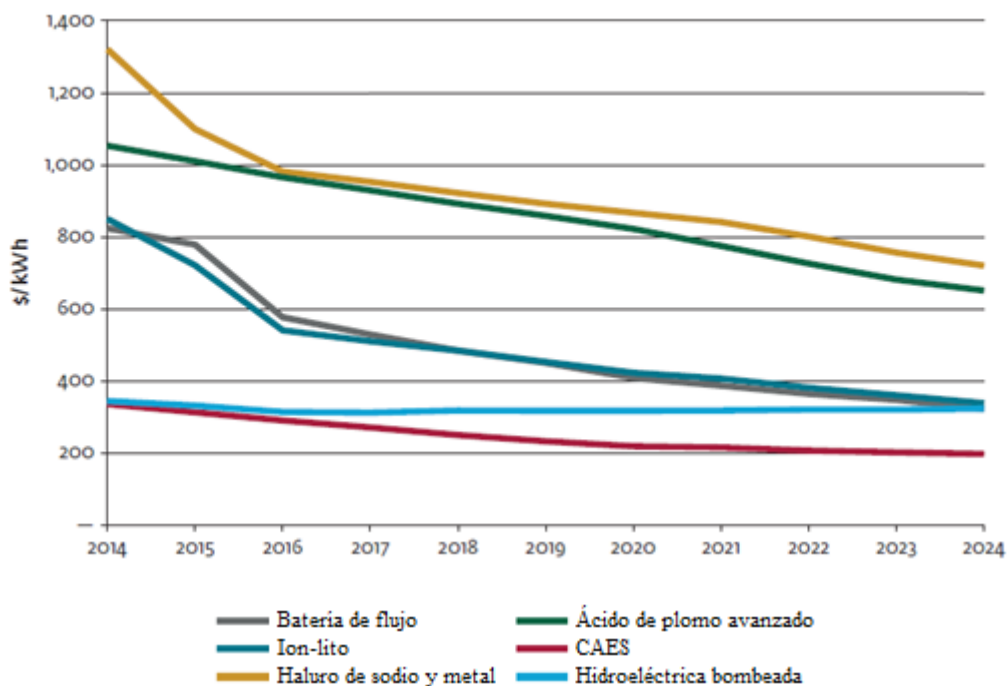
En Sudamérica, la Central térmica de Angamos, ubicada en la comuna de Mejillones en Chile, es la única central de la región que posee baterías ion-litio para el almacenamiento a nivel de la red (Huff 2015). Según las tendencias dadas por la

⁷ Las primeras plantas CAES de tipo comercial fueron en Huhndorf, Alemania, en 1978, y en Alabama, Estados Unidos, en 1991 (Roberts y Sandberg 2011).

⁸ “Proyecto AES Kilroot Power Storage”: en enero de 2016, AES anunció que había completado 10 MW del proyecto como un primer paso hacia el total previsto de 100 MW.

consultora en mercados globales de tecnología limpia *Navigant Research*, las baterías ion-litio indefectiblemente irán disminuyendo sus costos a partir de una creciente inversión estimulada por el ingreso de compañías como Tesla, LG, Samsung o Panasonic, es decir, grandes compañías tecnológicas con músculo financiero que dan confianza a los grandes inversores y permiten un avance continuo y profundo en este campo.⁹

Gráfico 4. Costos de ESS por tecnología 2014-2024.



Fuente: Navigant Research (2014).

Hacia un sistema descentralizado

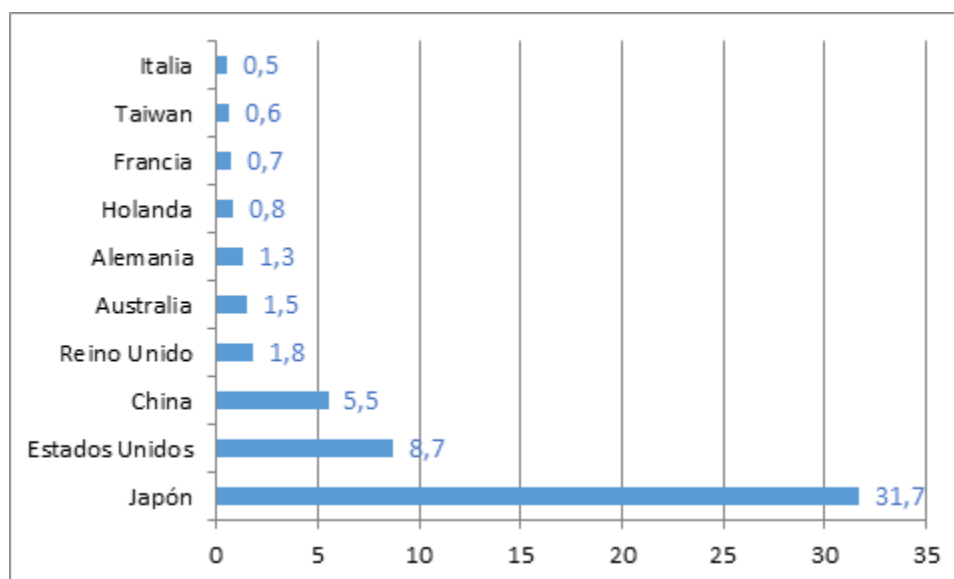
La transición energética se define como el paso de un modelo centralizado en el que operan grandes centrales de generación, hacia un modelo descentralizado en el cual el consumidor ocupa el centro del sistema a través de su participación activa en la gestión de la demanda (Bertinat *et al.* 2014). El uso de energía renovable distribuida, dado principalmente por paneles fotovoltaicos, es histórico en países con bajos índices de desarrollo, a modo de intensificar el acceso a la energía en zonas rurales y poblados

⁹ Anteriormente, este mercado fue visto con cierto escepticismo, dado que en la memoria de los inversionistas estaba la quiebra de compañías como *A123 Systems*, *Xtreme Power* y *Beacon Power*, que dejaron grandes agujeros en sus balances.

aislados que se encuentran desconectados de la red.¹⁰ Sin embargo, en los últimos años su función y características se han adaptado a las necesidades de las áreas urbanas conectadas a la red. Su aplicación se ha extendido en países centrales como Japón, EE.UU., Reino Unido, Australia y Alemania, a modo de moderar la demanda de energía y mejorar la eficiencia del sistema.

A partir del gráfico 5 se puede observar que el país asiático es, por lejos, el mayor mercado de energía distribuida a pequeña escala, siendo que el 2015 significó aumentó un 13 % (31.700 millones de dólares), más de tres veces que EE.UU. (8.700 millones). Asimismo, la Unión Europea ha descrito en sus Directivas de Eficiencia Energética los pasos para avanzar hacia un modelo de generación distribuida a partir de la integración de la microgeneración con renovables en el urbanismo, la instalación de contadores inteligentes, y la implantación de Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo (EECN).¹¹

Gráfico 5. Inversión en energía distribuida por país en 2015 (en miles de millones de dólares).



Fuente: Bloomberg New Energy Finance (2016).

¹⁰ Alrededor de 1,2 mil millones de personas (17 % de la población mundial) viven sin electricidad, la gran mayoría se encuentra ubicada en la región de Asia-Pacífico y en el África subsahariana (Bloomberg New Energy Finance 2016).

¹¹ Los objetivos de la Directiva de Eficiencia Energética de Edificios (2010/31/EC) apuntan a transformar procedimientos de diseño, construcción y gestión de los edificios para una mayor eficiencia energética. Actualmente, los países están trabajando en definiciones y documentos normativos nacionales para cumplir con la meta de su implantación para el 2020.

Este nuevo modelo supone una planificación avanzada que incorpora nuevos modelos de negocio con el desarrollo de proyectos comunitarios de energía y la participación de una nueva industria de tecnología “inteligente”. Actualmente, se está avanzando en la construcción de pequeños pueblos o “eco-aldeas” que funcionan como prueba piloto para el desarrollo de centros urbanos sustentables y autosuficientes. Por ejemplo, cerca de Ámsterdam, en la localidad de Almere, se espera entregar 25 viviendas para 2017 (con una posible ampliación de hasta 100) bajo el programa *ReGen Villages* (ABC Natural 2016). Asimismo, Tesla está desarrollando su propia ciudad en Australia, denominada YarraBend, con capacidad para 2.500 residentes alimentada con paneles solares y baterías hogareñas (MediaTrends 2016).

En este contexto, ante la nueva cultura energética, muchas empresas han comenzado una estrategia de adquisición de activos tecnológicos en energía solar y almacenamiento. Se han establecido alianzas entre el sector inmobiliario y las compañías de baterías de almacenamiento ante la oportunidad que representan ahorros de energía en hogares y empresas. Así, cada edificio se convertiría en un centro de generación, almacenamiento y venta de energía. Para ello, la disminución de los costos de paneles y baterías, y el aumento de las medidas de eficiencia energética, serán claves.

Aunque hoy día gran parte de la atención por la energía solar se coloca en grandes granjas solares de varios MW, se prevé que los sistemas fotovoltaicos en la azotea y demás representen más de la mitad del mercado en los próximos años. Según la consultora especializada en el mercado de energías renovables y almacenamiento energético *GTM Research*, las instalaciones fotovoltaicas anuales mundiales han crecido desde solo 2,5 GW en 2007 a 26,7 GW a finales de 2011 y más de 58 GW en 2016. Lo mismo para las baterías hogareñas, donde los costos de los sistemas de almacenamiento a pequeña escala, a base de baterías ion-litio, han bajado drásticamente desde el 2014, cuando este mercado era casi inexistente en la mayoría de las regiones, y se espera que se estabilice en costos sumamente competitivos en el mercado energético, alcanzando para 2024 precios equivalentes a las baterías menos eficientes y contaminantes como son las de plomo.

Las baterías *Powerwall* de Tesla, lanzadas al mercado en 2015, constituyen todo un hito para la aplicación de sistemas de almacenamiento en sistemas distribuidos. Si bien se encuentra en una fase temprana de desarrollo, este dispositivo que utiliza la tecnología ion-litio tiene el potencial para almacenar la energía generada por el usuario permitiendo

el autoabastecimiento, e incluso “vender” la energía eléctrica al sistema local en caso de que existan excedentes. Aunque, por supuesto, esto todavía está en el futuro y requiere de una disminución en los costos para su masificación (tanto de las baterías como de las fuentes de generación), podemos decir que su aplicación ya es un hecho. El lanzamiento de la segunda generación de *Powerwall* (*Powerwall 2*), en enero de 2017, constituye, según Bloomberg, “las baterías ion-litio más baratas para el hogar que se haya fabricado”. Su costo oscila los 5.500 dólares y tiene capacidad de almacenar hasta 13,5 kWh de energía, equivalentes para abastecer una vivienda de cuatro habitaciones por todo un día (Xataca 2017).

La movilidad eléctrica, la apuesta del siglo

Hace algunos años atrás, cuando comenzó el boom de los biocombustibles, se llegó a bautizar a Brasil como la “futura Arabia Saudita”, por ser el primer productor mundial de etanol y haber desarrollado una industria automotriz y aeronáutica con autos y aviones impulsados por motores adaptados. Hoy, cuando comienza a crecer el parque de automóviles híbridos y eléctricos en el mundo, “Arabia Saudita” parece haberse desplazado hacia el “triángulo del litio”. En este sentido, la industria automotriz da señales de haber identificado en la propulsión eléctrica el camino alternativo al de la potenciación exclusiva a través de motor de combustión interna, un paradigma que empieza a encontrar limitaciones en cuanto a eficiencia, a cantidad de recursos y a cuidado ambiental. Así, esta tecnología ofrece un gran potencial para afrontar con decisión algunos de los retos más importantes tales como: el calentamiento global; la dependencia de los combustibles fósiles; la contaminación atmosférica local; y el almacenamiento de energía renovable.

La historia de los vehículos eléctricos se remonta a 1997, cuando la automotriz Toyota Motor Corp. (de Japón) lanzó su primer modelo híbrido Prius. Este incluyó una alianza con otras empresas japonesas como Panasonic y Sanyo para el desarrollo de las baterías eléctricas para autos, bajo la licencia *Hybrid Synergy Drive*®, el cual fue adquirido por otras automotrices como Nissan para su producción en serie (Zícari 2015). Más adelante, tras muchos años de desarrollo, General Motors lanzó su contra ataque con la comercialización, en 2010, del Chevrolet Volt. Así, otras empresas como Volvo, Hyundai, Kia, Mercedes Benz y Seat lanzaron sus propios modelos. En 2005 se produce

uno de los hitos más importantes, cuando Tesla Motors lanza al mercado el Tesla Roadster, el primer automóvil a base de baterías ion-litio con una autonomía de más de 200 millas (322 km) por carga. De allí en más, el litio se consagraría como la tecnología por excelencia para la batería de auto.

Hoy día, la mayoría de los medios de transporte eléctricos utilizan baterías de litio para el almacenamiento. Desde bicicletas, autos, camiones, trenes, hasta incluso aviones. En 2010 el avión experimental Solar Impulse aterrizó en Suiza tras volar 26 horas propulsado únicamente con energía solar (La Nación 2010). Las alas recubiertas con células fotovoltaicas alimentaron los motores eléctricos, mientras que también sirvieron para recargar las baterías de litio en pleno vuelo.

Volviendo al mercado automotor, está claro que ningún fabricante ha podido introducir al mercado modelos con la suficiente autonomía en el modo eléctrico como para enfrentar de igual a igual a cualquier vehículo a combustión interna, a lo que los consumidores reaccionaron con una demanda más bien moderada. Una excepción podría ser el lanzamiento del Modelo S de Tesla Motors en 2012 que, con más de 400 kilómetros de autonomía, dio inicio a una verdadera revolución en la industria automotriz global. Si bien a la fecha las ventas globales no son astronómicas, ha comenzado a causar temor entre los demás fabricantes de automóviles del mundo.

Tesla anunció en el 2017 la apertura de su *Gigafactory*, dedicada a la producción de baterías ion-litio con una capacidad de 35 GWh a nivel de celdas de baterías y de 50 GWh a nivel de paquetes de baterías (Ámbito 2017). La fábrica alimentará productos como el *Powerwall 2*, *Powerpack 2* (batería para instalaciones más grandes) y el vehículo Modelo 3 (Gen III), para el cual se logró la preventa de más de 200.000 coches. La producción en masa supondría, según Tesla, una disminución en los costos del 30% actual.

Con estas capacidades de producción, Tesla Motors se convertiría en un verdadero monstruo del mercado de baterías de ion-litio, pudiendo fabricar para 2020 tantas baterías como sean necesarias para activar un total de 500.000 vehículos eléctricos, la meta propuesta por la empresa. Este es un verdadero reto, si se considera que en 2016 produjo alrededor de 75.000 vehículos, es decir, solo un 15% de su meta (MIT Technology Review 2017). Asimismo, la empresa espera abrir una segunda *Gigafactory* en Europa,

donde países como Alemania, España, Eslovaquia, Reino Unido y Francia ya se han postulado para albergarla (El Mundo 2017).

La automotriz china *Build Your Dreams* (BYD), que se ha expandido a otros negocios como autobuses y camiones, también tiene ambiciones de construir mega plantas globales. Bajo el solo hecho de que el Gobierno chino pretende tener 5 millones de vehículos eléctricos en sus carreteras en 2020, espera aumentar los 10 GWh de capacidad de producción de baterías actuales a 34 GWh para el 2020, incluyendo la construcción de una planta en Brasil con la misma capacidad que la de Tesla.

La industria de bicicletas eléctricas es otro sector clave que sin duda estimulará la producción mundial de baterías. A pesar de que la cantidad de litio por unidad es sensiblemente menor (menos de 1 kilogramo), la masividad con la que se producen y sus proyecciones permiten visibilizarla como un sector de alta demanda. Como ejemplo, hay una fuerte expansión de este mercado en China donde la cantidad creció desde casi 40.000 unidades en 1998 a unos 15 millones en 2006. Asimismo, según *Navigant Research*, las “*e-bikes*” son el vehículo eléctrico más vendido del planeta en el año 2016, y espera que las ventas mundiales crezcan de 15.7 miles de millones de dólares de ingresos en 2016 a 24,4 millones en 2025.

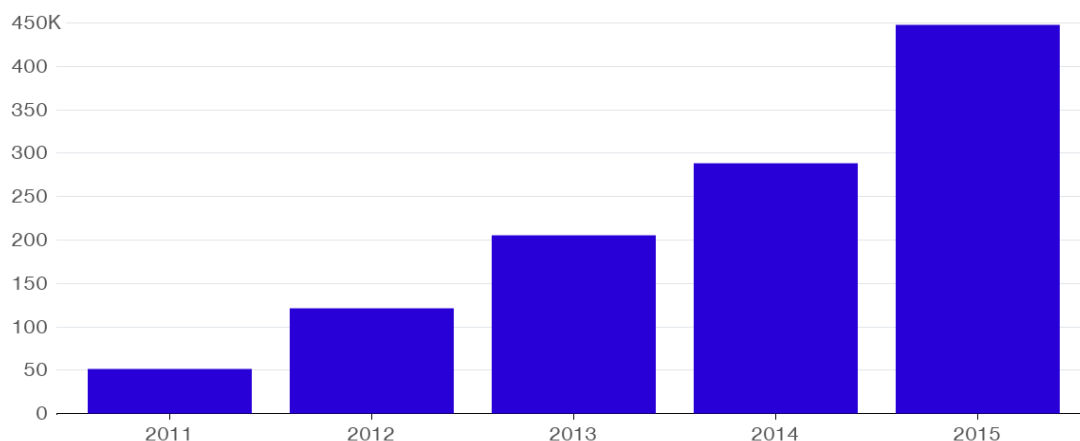
En el gráfico 6 se observa como las ventas de vehículos eléctricos en 2015 se incrementaron un 38% en relación al año anterior, llegando a las 462.000 unidades. Y aunque los 1,3 millones de unidades en circulación mundial todavía representan menos del 1% de las ventas de los vehículos ligeros, se espera que la reducción de los costos incremente su competitividad.

En este sentido, el fuerte incremento reciente en las ventas puede explicarse por la disminución sustancial en el coste total y en el de las baterías de ion-litio en particular. El gráfico 7 muestra el brusco descenso del costo de las baterías para vehículos desde 2010. Se considera que cada vehículo eléctrico necesita entre 9 y 15 kg (kilogramos) de litio mineral, donde la batería representa un tercio del valor total. A pesar que el valor de la tonelada de litio ha crecido de los 6.000 dólares en 2010 a los 9.000 actuales (Fornillo 2015), los costes en baterías han caído un 65 %, llegando a los 300 dólares por kilovatio-hora en 2015.

La empresa tecnológica Panasonic, que domina el mercado de las baterías para coches eléctricos, ha crecido un 66% en 2016, produciendo 20,4 GWh frente a los 12,3

GWh del año anterior. Esto se debe a que la capacidad de las baterías de los nuevos coches eléctricos está aumentando de forma considerable, lo que supone que se necesitan ‘más kWh’ por cada unidad que sale al mercado. En segunda posición se encuentra BYD que experimenta mayor crecimiento entre los principales fabricantes de baterías con un 143% respecto al año anterior pasando de 1,6 a 4 GWh, logrando una cuota de mercado del 20%.

Gráfico 6. Venta de vehículos eléctricos en miles de unidades.



Fuente: Bloomberg New Energy Finance (2016).

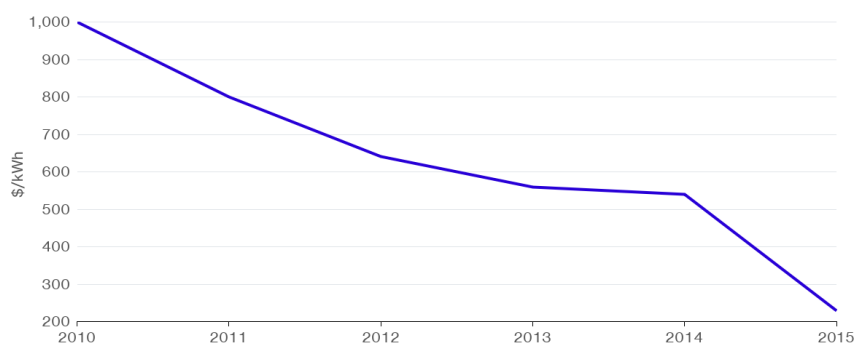
Un estudio de *Goldman Sachs* muestra como la producción en masa de vehículos eléctricos ha sido clave en la reducción del costo de la batería, y estima que para 2020 esté alrededor de 150- 175 dólares por kWh. Entonces, la tendencia hacia una batería más eficiente y barata se asocia con las mejoras en la química y los procesos de las baterías, pero sobre todo con las economías de escala conforme las fábricas y “gigafactories” van creciendo, generando precios más competitivos. El gráfico 8 muestra como la fabricación en masa de los modelos más emblemáticos de la marca Tesla supuso una clara reducción en los costos de batería.

Si bien es probable que los motores de combustión interna sigan predominando en los vehículos de carretera a corto-mediano plazo, los combustibles alternativos y las tecnologías de propulsión serán cada vez más importantes en el futuro.¹² Se prevé que el

¹² En el documento “Libro Blanco del Transporte” la Unión Europea se pone la meta de reducir a la mitad el uso de automóviles de “propulsión convencional” en el transporte urbano para 2030; y eliminarlos progresivamente en las ciudades para 2050.

parque automovilístico mundial llegue a 1.600 millones de vehículos en 2030 (en particular, se estima que solo China concentrará el 20%),¹³ y los autos eléctricos lleguen a 150 millones unidades en 2040. Esta transformación no solo va a cambiar la forma de generar y consumir la energía, sino también la forma de edificar y urbanizar.

Gráfico 7. Coste por kWh de las baterías ion-litio, en dólares.



Fuente: Bloomberg New Energy Finance (2016).

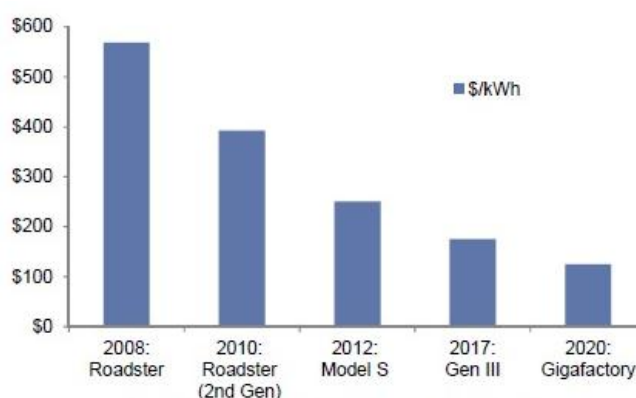
La era del vehículo eléctrico modificará la red de tendido eléctrico, redefinirá los patrones de conducción automovilística y, en general, mejorará la calidad de vida en las áreas urbanas. Un elemento importante será el desarrollo de la infraestructura de carga, ya que a medida que las redes se expandan, los coches eléctricos se convertirán en una opción más viable para los conductores. Asimismo, la capacidad de almacenamiento de estos vehículos desempeñará un papel importante en la estabilización de las redes eléctricas. Los vehículos a batería no solo se recargarán en el tendido eléctrico, sino que, cuando no estén en uso, también podrán alimentar el sistema durante los lapsos de demanda máxima, es decir, se convertirán en reservorios de energía adicional de la matriz energética.

De esta manera, a partir de lo desarrollado, es posible dar cuenta como el almacenamiento de energía adquiere una gran centralidad en lo que definimos como un nuevo paradigma energético. La incorporación de energías renovables, la tendencia en la generación hacia su descentralización en forma distribuida, y el crecimiento del mercado de vehículos eléctricos implican enormes desafíos no sólo en términos de inversión y desarrollo tecnológico, sino una transformación radical del patrón energético. Se trata del pasaje de una dimensión societal pasiva respecto de la cuestión energética, donde el

¹³ Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas - Foro Mundial para la Armonización de los Reglamentos sobre Vehículos (CEPE - WP.29): documento informal GRPE-58-02.

usuario compra la energía a grandes corporaciones, a una dimensión activa, convirtiendo la gestión de la energía en un procedimiento más transparente, distributiva y democrática. Dado que ya existen prototipos de pequeñas localidades que se rigen bajo estos patrones energéticos, serán los acumuladores de energía los que necesariamente definan las posibilidades para su expansión en los diferentes sistemas nacionales. Su capacidad para estabilizar las redes eléctricas y aumentar la resiliencia, así como su optimización y abaratamiento para el autoconsumo energético y la propulsión eléctrica, será claves para viabilizar y consolidar las tendencias actuales.

Gráfico 8. Reducción de costos de la batería en relación con su producción en masa (cifras en dólares).



Fuente: Goldman Sachs Global Investment Research.

Sudamérica ante un enorme desafío

Podemos decir que el litio parece situarse en el centro de un futuro ideal, el cual apunta a una sociedad ecológicamente sustentable, de energías limpias e innovación tecnológica, contribuyendo así a evitar los riesgos ecológicos y económicos que se presentan en el siglo XXI. En la naturaleza, este mineral puede encontrarse como compuesto en diversas fuentes, ya sea en rocas ígneas de pegmatita (como la petalita, lepidolita o espodumeno), en salmueras, y hasta en agua de mar. Según estudios del Servicio Geológico de Estados Unidos (Bradley *et al.* 2017), las reservas mundiales sumaron 13,5 millones de toneladas, de los cuales Argentina, Bolivia y Chile concentran el 55 %, y cerca del 85 % de los depósitos de salmueras, los cuales se caracterizan por un mayor grado de concentración de litio y métodos de extracción menos costosos e invasivos que otras fuentes.

Este advenimiento o boom del litio nos permite pensar en alternativas al desarrollo y la posibilidad de consolidar una industria energética en Sudamérica. Para ello, los tres países que conforman el triángulo del litio han adoptado diferentes políticas a la hora de gestionar sus recursos litíferos. El gobierno del presidente boliviano Evo Morales ha buscado establecer condiciones a las multinacionales interesadas que permitan al país retener un control importante de la industria, buscando no repetir la historia minera del país, donde por siglos entidades extranjeras explotaron sus recursos sin dejar grandes beneficios a las comunidades locales. Por su parte, Argentina y Chile ya tienen varias empresas privadas extrayendo el mineral. Argentina se caracteriza por una privatización y provincialización del recurso, con protagonismo del capital extranjero en alianza con empresas estatales provinciales, sumado a unos crecientes, aunque limitados intentos por realizar un giro hacia una mayor agregación de valor. Chile, por su parte, es el país que ha venido liderando la producción con cerca del 33 % de la oferta mundial, con un modelo que se caracteriza por la exportación de litio como *commodity* de la mano de empresas transnacionales.

Así, los acumuladores de litio se encuentran en el corazón de una sociedad transicional donde sus condiciones naturales oportunamente se entrelazan con las necesidades en ascenso del mercado, y está en sus posibilidades sacar su cuota. Para ello, iniciar un proceso hacia la industrialización del litio se vuelve imperioso, es decir, transformar, en mayor o menor medida, los *commodities* de litio en productos de mayor valor agregado y, en última instancia, en baterías de litio. El hecho de la diferencia de precio entre la materia prima y la batería es, desde ya, reveladora: una tonelada de carbonato de litio cuesta alrededor de 9.000 dólares, mientras que una batería de auto eléctrico, que utiliza alrededor de 10 kg, entre 10.000 y 20.000 dólares (Fornillo 2015). Según *Navigant Consulting Inc*, el mercado de suministro de baterías de iones de litio solo para vehículos ligeros puede llegar a 221.000 millones de dólares para 2024 (Gestión 2016).

Estamos en un momento en que la capacidad de suministro de las empresas productoras de componentes y la competencia entre los fabricantes llegan a niveles nunca vistos y las apuestas a favor del coche eléctrico están muy por encima de como nunca han estado. Se estima que cada unidad fabricada por la *Gigafactory* de Tesla requerirá hasta 63 kg de carbonato de litio por batería, al tiempo que su CEO, Elon Musk, asegura que

para producir los 500.000 vehículos al año necesitarán “absorber toda la producción de litio del mundo” (Ámbito 2017). La fabricación de baterías de litio requiere de una cantidad de componentes fabricados en aluminio, acero y termoplásticos, materiales en los que varios de los países sudamericanos tienen producción industrial e, incluso, importantes capacidades tecnológicas. Asimismo, esta coyuntura se presenta como una gran oportunidad para reforzar la Cooperación Sur-Sur para el intercambio de recursos, tecnología y conocimiento entre países periféricos.

La India, por ejemplo, en el marco de la Alianza Internacional Solar (ISA), se ha fijado el ambicioso objetivo de lograr 100 GW de generación de energía solar para el año 2022, que también incluye 40 GW de energía solar en azoteas. También planea la venta de 67 millones de vehículos eléctricos/híbridos en para el año 2020. Para ello, el Gobierno indio ha declarado al litio como “metal estratégico” y ha estrechado vínculos con Sudamérica, a modo de asegurarse su abastecimiento. Incluso se han aunado esfuerzos para que industrias indias puedan forjar alianzas y establecer empresas conjuntas con los países de la región (Periódico Digital Erbol 2017). Por otro lado, en la VI Cumbre de los BRICS (foro formado por Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica) en 2014, la empresa china BYD anunció una inversión de 95 millones de dólares para abrir una planta en Brasil destinada a la fabricación de vehículos híbridos y eléctricos. Tendrá capacidad para producir de 500 a 1.000 unidades de autobuses al año destinados a la renovación de las flotas del transporte público en Brasil y el Mercosur (Mercado Común del Sur). Estos acontecimientos son pequeños avances hacia un empoderamiento regional que sin duda necesitara del apoyo estatal y de sus capacidades científico-tecnológicas.

Si la batería de ion-litio logra superar con solvencia la principal restricción técnica actual (autonomía del vehículo), se encaminará hacia la hegemonía como sustrato estándar de baterías en los próximos años y su masificación será un hecho. Sin embargo, el aumento del precio del litio hace que cada vez sean más los equipos de investigación que trabajan en buscar alternativas a esta tecnología. Entonces, la carrera para sustituir al litio también ya está en marcha. Expertos pronostican un potencial económico de unos 35 años, pues se prevé que la celda de hidrógeno sea económicamente viable alrededor del 2050. En febrero de 2017, General Motors y Honda anunciaron una alianza para producir masivamente un sistema de celdas de combustible de hidrógeno, que se utilizará en futuros productos de ambas compañías. Con una inversión de 85 millones de dólares, las

empresas esperan que la producción masiva de los sistemas de celdas de combustible inicie alrededor del año 2020 (Expansión 2017).

Otras alternativas también se están desarrollando, como son las baterías de ion-sodio (que se ve beneficiada por su abundancia natural, siendo el sexto elemento más abundante), y el grafeno por su característica fuerte, flexible y de gran conductividad. En Corea del Sur están desarrollando una batería ecológica que utiliza agua de mar para producir y almacenar electricidad, y esperan para 2018, construir una unidad de almacenamiento de 10 Wh (cantidad promedio de energía diaria para una familia de cuatro personas). Además, posiblemente se experimentará con otros materiales como el magnesio, el potasio o el aluminio, que son materiales que se encuentran entre los primeros puestos de elementos más abundantes del planeta, mientras que el litio ocupa la posición 33 (Bradley *et al.* 2017). También los procesos de extracción y transformación se basarán, cada vez más, en las llamadas tecnologías penetrantes (por ejemplo, biotecnología, nanotecnología, nuevos materiales y nuevas tecnologías de la información y la comunicación), áreas tecno-científicas en las que las capacidades de la región son exiguas.

Así, la transición energética se presenta como un pasaje hacia nuevos modelos de desarrollo, y el litio como una vía para incorporar la ciencia y la tecnología, vinculada a la soberanía energética y ecológica. Es posible que el momento de las energías renovables y del coche eléctrico por fin haya llegado, y esto es lo que Sudamérica debe aprovechar. Se necesita que desde el Estado se desarrolle una mirada integral acerca de su explotación y de las cadenas de valor. Es tiempo de pensar la agregación de valor en el territorio, y de qué manera llegar a la batería “hecha en Sudamérica”.

Bibliografía

- ABC Natural. 2016. “Crean el primer pueblo ecológico capaz de producir luz y reciclar su basura”. 3 de junio de 2016. http://www.abc.es/natural/desarrollorural/abc-crean-primer-pueblo-ecologico-capaz-producir-criar-cultivar-y-reciclar-basura-201606032328_noticia.html.
- Agencia Internacional de la Energía (IEA). 2016. “World Energy Outlook”, <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlook2016ExecutiveSummaryEnglish.pdf>.

- Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA). 2014. “Renewable Power Generation Costs in 2014”, https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Power_Costs_2014_report.pdf.
- Ámbito. 2017. “Cómo es *Gigafactory*, la superfábrica que alimentará a los autos eléctricos”. 8 de julio de 2017. http://www.ambito.com/889319-como-es-gigafactory-la-superfabrica-que-alimentara-a-los-autos-electricos-capaz-producir-criar-cultivar-y-reciclar-basura-201606032328_noticia.html.
- Bradley, Dwight, Lisa L. Stillings, Brian W. Jaskula, LeeAnn Munk y Andrew D. McCauley. 2017. “Lithium”. En *Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply*, editado por Klaus Schulz, John H. DeYoung Jr., Robert R. Seal II y Dwight C. Bradley. U.S. Geological Survey Professional Paper 1802, K1–K21. Washington. <https://doi.org/10.3133/pp1802K>.
- Bermejo, Roberto. 2013. “Ciudades poscarbón y transición energética”. *Revista de Economía Crítica* 16: 215-285.
- Bertinat, Pablo, Jorge Chemes y Lisandro Arelovich 2014. “Aportes para pensar el cambio del sistema energético ¿Cambio de matriz o cambio de sistema?”. *Revista Ecuador Debate* 92: 85-101.
- Bloomberg New Energy Finance. 2016. “Global trends in renewable energy investment 2016. Frankfurt School of Finance and Management gGmbH”, http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/globaltrendsinrenewableenergyinvestment2016lowres_0.pdf.
- Dunn, Bruce, Haresh Kamath y Jean-Marie Tarascon. 2011. “Electrical energy storage for the grid: a battery of choices”. *Science* 334 (6058): 928-935.
- El Mundo. 2017. “Jerez aspira a que Tesla Motors instale allí la primera Gigafactory de automóviles eléctricos en Europa”. 25 de enero. <http://www.elmundo.es/andalucia/2017/01/25/5887ef99e5fdea3e378b46b6.html>.
- Expansión. 2017. “Hidrógeno, ¿el futuro de la industria automotriz?”. 15 de marzo. <https://expansion.mx/empresas/2017/03/15/hidrogeno-el-futuro-de-la-industria-automotriz>.

- Fornillo, Bruno. 2015. “Del salar a la batería: Política, ciencia e industria del litio en la Argentina, 2015”. En *Geopolítica del Litio. Industria, Ciencia y Energía en Argentina*, editado por Bruno Fornillo, [et al.]. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: El Colectivo/CLACSO.
- _____. 2016. *Sudamérica Futuro. China global, transición energética y posdesarrollo*. Buenos Aires: El colectivo/CLACSO.
- García-Bilbao, Pedro Alberto. 2013. “Geopolítica, Peak Oil, recursos finitos y colapso global: dificultades de comprensión desde las ciencias sociales y necesidad de un enfoque integrado”. *Revista Contexto & Educação* 28 (89): 199-236.
- Gestión. 2016. “El auge en la demanda de baterías impulsa aumento en precio del litio y alza de acciones mineras”, <https://archivo.gestion.pe/mercados/auge-demanda-baterias-impulsa-aumento-precio-litio-y-alza-acciones-mineras-2154895>.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2012. “Renewable energy sources and climate change mitigation”, <https://www.ipcc.ch>.
- Huff, Georgianne. 2015. “DOE Global Energy Storage Database”, <https://www.iea.org/media/workshops/2014/egrdenergystorage/huff.pdf>
- La Nación. 2010. “Un avión experimental voló 26 horas con energía solar”. 9 de julio. <https://www.lanacion.com.ar/1283092-un-avion-experimental-volo-26-horas-con-energia-solar>.
- Latouche, Serge. 2008. *La Apuesta por el decrecimiento: ¿cómo salir del imaginario dominante?* Barcelona. Icaria Editorial.
- Libro Blanco del Transporte. De 28 de marzo de 2011. De la Comisión Europea. Bruselas.
- MediaTrends. 2016. “Bienvenido a YarraBend, la primera ‘ciudad Tesla’”. 10 de agosto de 2016. <https://www.mediatrends.es/a/86433/yarrabend-primera-ciudad-tesla-powerwall/>.
- MIT Technology Review. 2017. “El Modelo 3 de Tesla está muy lejos conseguir el gran objetivo de Elon Musk”. 1 de agosto. <https://www.technologyreview.es/s/8572/el-modelo-3-de-tesla-esta-muy-lejos-conseguir-el-gran-objetivo-de-elon-musk>.
- Periódico Digital Erbol. 2017. “India identifica al ‘triángulo del litio’ en América Latina”, http://www.erbol.com.bo/noticia/economia/23022017/india_identifica_al_triangu_lo_del_litio_en_america_latina.

- REN21. 2016. “Global Status Report”, http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR_2016_Full_Report_lowres.pdf.
- Roberts, Bradford y Chet Sandberg. 2011. “The role of energy storage in development of smart grids”. *Revista Proceedings of the IEEE* 99 (6): 1139-1144.
- Xataka. 2017. “Techo solar, cargador y batería Powerwall 2: Tesla y su visión energética para el hogar”. 14 de marzo. <https://www.xataka.com/energia/techo-solar-cargador-y-bateria-powerwall-2-0-tesla-y-su-vision-energetica-para-el-hogar>.
- Zícari, Julián. 2015. “El mercado del litio desde una perspectiva global: de la Argentina al mundo. Actores, lógicas y dinámicas”. En *Geopolítica del Litio. Industria, Ciencia y Energía en Argentina*, Fornillo, Bruno [et al.] - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: El Colectivo; CLACSO, 2015. ISBN 978-987-1497-75-1