



Aranda, Iván

La planta de baterías de litio en Bolivia : de la caja negra a la apertura del paquete tecnológico



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Argentina.
Atribución - No Comercial - Sin Obra Derivada 2.5
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/>

Documento descargado de RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes de la Universidad Nacional de Quilmes

Cita recomendada:

Aranda, I. (2019). *La planta de baterías de litio en Bolivia: de la caja negra a la apertura del paquete tecnológico*. *Revista de Ciencias Sociales*, 10(36), 57-74. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes
<http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/3519>

Puede encontrar éste y otros documentos en: <https://ridaa.unq.edu.ar>

Iván Aranda

La planta de baterías de litio en Bolivia

DE LA CAJA NEGRA A LA APERTURA DEL PAQUETE TECNOLÓGICO

A diferencia de Argentina y Chile, donde la explotación de los salares funciona bajo diversos regímenes privados, en Bolivia la agenda política impulsada por el gobierno de Evo Morales a partir de 2006 incorporó la prohibición de concesionar las reservas litíferas y la industrialización de los recursos naturales como acción prioritaria. En este sentido, constituyéndose en la mayor reserva mundial de litio, el salar de Uyuni representa un caso paradigmático en cuanto a perspectiva de industrialización, en un contexto mundial de creciente demanda de litio, consecuencia de una crisis de modelo energético que devela un profundo proceso de transición tecnoeconómica hacia nuevas formas de transporte y de suministro de energía.

Entendiendo la industrialización como el avance en el desarrollo de productos que se corresponden con los diferentes eslabones de la *cadena de valor del litio* en los que el valor –económico y tecnológico– es incorporado de manera creciente, el gobierno de Evo Morales, atendiendo al mandato constitucional, instó a la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL)¹ a avanzar en la industrialización de los recursos evaporíticos (RE) y comenzar con la producción de baterías de litio (BdL). Para ello, la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE) de la COMIBOL –hoy Yacimientos de Litio Bolivianos, (YLB)²– diseñó y puso en marcha una planta piloto (PPB)³ de producción de BdL en la comunidad de La Palca, Potosí, cumpliendo así con la primera etapa de la industrialización de los RE (GNRE, 2013).

La industrialización estatal del litio en Bolivia no solo pretende la agregación de valor y la mejora de la tasa de ganancia con respecto a la que proporcionaría el tradicional modelo de desa-

¹ La Corporación Minera de Bolivia es la empresa pública encargada de fiscalizar y explotar la reserva fiscal minera en Bolivia. Por su parte, la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos fue creada *ad hoc* dentro de la COMIBOL para hacerse cargo de la exploración, explotación, industrialización, comercialización y gestión de los recursos evaporíticos de Bolivia.

² La YLB fue conformada en 2017 a través de la Ley 928/2017 para continuar con la industrialización del litio, absorbiendo todos los activos y competencias de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos.

³ La PPB entró en operación el 17 de febrero de 2014 y tiene una capacidad de producción de 1500 Ah/día.

rollo basado en el patrón primario-exportador. Además tiene como objetivo explícito contribuir a la superación de la histórica dependencia tecnológica que lastra las posibilidades de desarrollo del país. Después de varios años desde la inauguración de la PPB, cabe preguntarse en qué medida se ha alcanzado aquel objetivo. Para ello, además de los avances concretos relacionados con los procesos de aprendizaje y la apropiación del conocimiento, es de especial interés develar algunos hitos clave que se insertan en la trayectoria sociotécnica⁴ recorrida por la propia PPB a lo largo de su proceso de coconstrucción como objeto científico-tecnológico. Un enfoque de la sociología de la tecnología resulta conveniente para dar luces sobre la cuestión.

En palabras de Hughes (1983), los análisis sociológicos, tecnocientíficos y económicos están permanentemente entrelazados en un *tejido sin costuras*, lo cual es particularmente cierto en el caso que se plantea: un proyecto impulsado por el Estado que busca la industrialización de un recurso natural estratégico en base a un proceso autónomo y en función de las propias necesidades sociales. Al mismo tiempo, la dimensión sociopolítica involucrada en la industrialización del litio boliviano invita a adoptar ciertos significantes de la Construcción Social de la Tecnología (CST), desarrollada en Pinch y Bijker (2008), así como de la Teoría del Actor Red (TAR), propuesta en Callon (1986) y Latour (1987).

Lo que se pretende, en definitiva, en este trabajo es indagar cómo la elección de unas tecnologías frente a otras y el entorno mesosocial en el cual esta selección tiene lugar emergen como elementos determinantes de la trayectoria sociotécnica, en cuanto que condición de posibilidad de la apropiación del conocimiento. Para abordar el tema, en primer lugar se expondrá la estrategia de industrialización del litio en Bolivia desde una doble perspectiva: explícita, relacionada con la propuesta difundida en la esfera pública, y tácita, a través de un proceso de abstracción-traducción del contenido explícito a un plano estratégico: ¿qué es lo que realmente se espera de la industrialización del litio y, en concreto, de la planta piloto de baterías? Una vez expuesta la estrategia, se hará un recorrido sobre algunos momentos e hitos que culminaron en el hecho tecnológico –el arranque de la planta en febrero de 2014–. En esta parte, el enfoque de la sociología de la tecnología cobra relevancia, como proceso dinámico de coconstrucción entre múltiples actores –humanos y no humanos– y que en última instancia devela los ingredientes que se resuelven en una alternativa tecnológica concreta. Por último, y siguiendo con la misma lógica cronológica, se discutirán algunos

⁴ Tal y como define Thomas (2008), una *trayectoria sociotécnica* es un proceso de coconstrucción de productos, procesos productivos y organizacionales, instituciones, relaciones usuario-productor, relaciones problema-solución, procesos de construcción de “funcionamiento” y “no funcionamiento” de una tecnología, racionalidades, políticas y estrategias de un actor o de un marco tecnológico determinado. Tomando como punto de partida un elemento sociotécnico en particular, en nuestro caso la PPB, este concepto de naturaleza diacrónica permite establecer relaciones causales entre componentes heterogéneos en marcos temporales.

resultados y consecuencias vinculadas a la estrategia planteada y a la propia trayectoria sociotécnica recorrida por la planta. Por una parte, desde un punto de vista científico-tecnológico, se proporcionarán detalles relacionados con la tipología y magnitud del cambio técnico, pasados tres años de operación de la planta. Por otra, se presentará la situación del proyecto a cinco años del arranque de la PPB.

La estrategia de industrialización del litio. Planteamiento explícito: soberanía sobre los recursos naturales y superación del patrón primario-exportador

En un plano explícito, explicaba en el año 2011 el gerente nacional de Recursos Evaporíticos, Ingeniero Luis Alberto Echazú, que la estrategia de industrialización

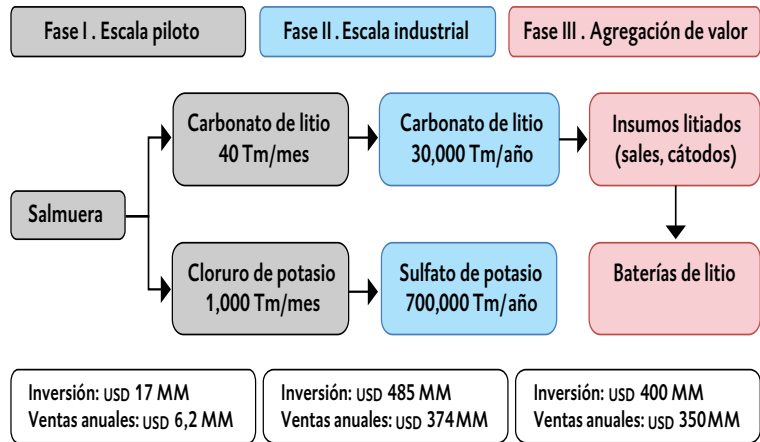
[...] es concebida bajo los principios de soberanía sobre nuestros recursos naturales, como lo establece la Constitución Política del Estado [...] en cuanto al litio no se debe repetir el saqueo de la riqueza de Potosí (mina de plata), donde los explotadores se llevaron todo y no dejaron nada para Bolivia, quedando para los pueblos mineros solo pobreza y contaminación, por ello el Estado jamás va a perder la soberanía del litio.

Y añadía:

[...] mediante la industrialización de los recursos evaporíticos, a través de una iniciativa 100% estatal, Bolivia ingresará al mercado mundial del litio, potasio y sus derivados en condiciones competitivas, dejando en claro el derecho soberano sobre sus recursos naturales. La producción del carbonato de litio y cloruro de potasio, no está abierta a la participación de las empresas transnacionales. Esta será administrada y operada en exclusiva por el Estado boliviano a través de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos de la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL). Sin embargo, en la Fase III, de agregación de valor, está abierta la posibilidad de la participación extranjera, con tecnología desarrollada y participación accionaria mayoritaria para el Estado boliviano.

De un modo concreto, la estrategia de industrialización formulada por el gobierno se compone de tres fases (figura 1).

Figura 1. Esquema conceptual de la estrategia de industrialización del litio



Fuente: elaboración propia.

Las tres fases del proyecto de industrialización incorporan la noción de la cadena de valor del litio (figura 2), siendo el objetivo último el desarrollo a escala industrial de todos sus eslabones. La fase I y la fase II, definidas al inicio del proyecto en 2008, encierran una lógica de escalado de producción paulatino y acumulación de capacidades internas en ciencia y tecnología. Esto es, un desarrollo inicial a escala piloto para las plantas de potasio y litio, para posteriormente instalar plantas de producción a escala industrial. Sin embargo, en cuanto a la fase III, las etapas a desarrollar hasta el establecimiento de una industria de insumos y productos (BdL) de alto valor añadido no serían definidas hasta el año 2011. Se podría haber optado por un escalamiento directo –sin fases previas de investigación y pilotaje–, por el establecimiento de un riesgo compartido con una empresa productora de baterías consolidada, o por un desarrollo propio para la manufactura de baterías –similar a la estrategia que se implementó en la fase I–. Finalmente, Bolivia optó por la adquisición de una planta piloto de manufactura de celdas y baterías en modalidad “llave en mano” a una empresa china.

Elementos implícitos: apropiación tecnológica, capacidad de selección y diversificación

Tras esta visión de la *cadena de valor del litio* –que en la actualidad se encuentra operativa en la escala piloto⁵ y la forma en que debería

⁵ En mayo de 2013, la GNRE anunció un acuerdo con la coreana POSCO para la instalación de una planta piloto de síntesis de materiales catódicos (LFP y LMO), con una inversión total de 2,4 millones de dólares aportados al 50% entre la COMIBOL y la firma coreana. Sin embargo, no fue hasta 2017 que tuvo lugar la puesta en marcha de la planta piloto de materiales catódicos, adquirida con una modalidad similar a la PPB a la empresa francesa ECM Green Tech.

implementarse se encuentra la propuesta estratégica de la GNRE en los primeros años del proyecto. El tránsito por una etapa de I+D-pilotaje sobre los eslabones principales de la cadena –carbonato de litio, cátodos y baterías–, con anterioridad a la etapa industrial, si bien puede resultar más costoso y lento que la alternativa de acceder directamente a la producción en gran escala, también es cierto que implica ventajas desde el punto de vista de las posibilidades de apropiación tecnológica y del conocimiento del negocio y los socios. Mejorar las capacidades endógenas redundaría en una mejora de las aptitudes para la *selección de tecnologías* en etapas posteriores –a mayor escala y, por lo tanto, con mayores compromisos de inversión–. De esta forma, trabajar en los diferentes eslabones de la cadena de forma simultánea, con un enfoque de gradualidad de la inversión, no solo le permitiría adquirir una mirada integral del negocio del litio, sino también testar capacidades y *compatibilidades culturales* con los diferentes socios, así como evaluar las diversas modalidades de asociación y ejecución de los proyectos. Pero, además, esta diversificación de socios y estrategias para la implementación de proyectos en sus diferentes fases⁶ es especialmente relevante porque restringe la *dependencia tecnológica* sobre un socio concreto, a la vez que fortalece el control soberano a lo largo de toda la cadena de valor.

En cuanto a la planta piloto de baterías, la visión sobre la importancia del pilotaje y el desarrollo de capacidades endógenas tuvo correlato en el propio diseño. Con una inversión total de 3,7 millones de dólares, de los cuales el 15% corresponde a insumos, el 20% a las infraestructuras de producción y el resto a la adquisición de bienes de capital y *know-how*, la planta fue diseñada priorizando las posibilidades de *desagregación del paquete tecnológico* y el *régimen de propiedad intelectual* –libre de licencias, patentes y royalties–. El enfoque de la PPB no solo apuntaba hacia un *pilotaje integral*, desde el punto de vista del desarrollo de las capacidades técnico-organizativas. Además, implícitamente, la producción de un bien de consumo final, como son las baterías de litio, podría operar como mecanismo de apalancamiento de mercados internos y externos (Rodríguez-Carmona y Aranda, 2014) permitiendo una evolución paulatina y equilibrada entre las esferas de la producción y la comercialización. De esta forma, la combinación de líneas de producción de baja energía para aplicaciones portables –baterías de 0,8Ah para celulares– y de alta energía –celdas de 10Ah para ensamblado de baterías 24V-10Ah para bicis eléctricas o almacenamiento con fines de electrificación– abriría un amplio espectro de posibilidades en cuanto valores de uso.

En definitiva, la modalidad de ejecución elegida en el proyecto piloto boliviano pretendía alcanzar diferentes objetivos: *epistemo-*

⁶ Mientras que las plantas piloto de carbonato de litio y cloruro de potasio (fase I) fueron desarrolladas íntegramente por el equipo de científicos e ingenieros de la GNRE, la planta de baterías y la de materiales catódicos (fase III) fueron adquiridas como plantas "llave en mano". Esta decisión fue sustentada en un análisis de costo de oportunidad entre las inversiones necesarias en recursos –económicos, humanos, tiempo–, las capacidades de partida –científico-técnicas, organizativas, políticas– y los retornos esperados –en términos económicos, sociales, de desarrollo de capacidades y utilidad del producto–. La naturaleza de los proyectos de fase I se entendieron como una continuidad de la tradición minero-metalúrgica boliviana. Aun siendo diferente de la minería metálica tradicional, se entendió que, en el caso de la minería evaporítica, la apuesta por los aprendizajes cruzados comportaba un riesgo asumible: una planta de carbonato de litio y una planta de concentración de mineral se encuentran en esferas científico-tecnológicas similares. Por el contrario, en el caso del desarrollo de productos con una elevada intensidad científico-técnica, como son las Bdl, y sin conocimiento similar previo, la aproximación de la fase I se desestimó: el actual estado del arte de las Bdl proviene de un esfuerzo científico-tecnológico iniciado en los países del centro a partir de

lógicos, relacionados con el negocio, los socios y sus culturas empresariales, la base científico-tecnológica; *políticos*, recuperando la soberanía sobre los recursos naturales; *estratégicos*, apostando por avanzar en el desarrollo autónomo;⁷ y *económicos*, sin olvidar que el proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos tiene que ser económicamente rentable. Ahora bien, ¿cuáles han sido los resultados alcanzados sobre la base de estos planteamientos iniciales y qué elementos articularon el proceso que devino en PPB?

La construcción de la caja negra

Con el anuncio de la industrialización del litio, numerosas firmas transnacionales mostraron su interés por participar junto con el gobierno en la explotación de la mayor reserva mundial, entre ellas, la empresa francesa Bolloré, que en febrero de 2009 invitó al presidente Morales a visitar sus instalaciones en Francia y, de paso, a manejar su prototipo de vehículo eléctrico, el Bluecar. De regreso a Bolivia, el jefe de gobierno manifestaba su deseo de que su país produjese baterías de litio para la nueva generación de vehículos eléctricos. Lo que realmente significaba la realización de aquella idea era que, a través de las baterías de litio, Bolivia ingresaría a la modernidad, daría cumplimiento al sueño de la industrialización de los recursos naturales y, en última instancia, un gran paso hacia la superación de la dependencia. De este modo, la idea de una Bolivia productora de baterías de litio surgía desde la jefatura del Estado. Pero ¿quiénes serían los responsables de la acción colectiva que convirtió la idea en realidad, teniendo en cuenta que la construcción de este hecho implicaba recorrer una trayectoria aún no definida y, por tanto, difícil de ser apoyada de manera incondicional?

los años setenta y una ingente inversión acumulada tanto en recursos económicos como humanos.

⁷En este sentido, y siguiendo a Thomas (2008), una verdadera estrategia de desarrollo tecnológico autónomo requiere el diseño de *trayectorias tecnológicas alternativas*, capaces de producir innovaciones pero orientadas hacia la solución de los problemas socioeconómicos locales. Trayectorias que, en última instancia, deberán tener en cuenta a los “usuarios potenciales del conocimiento que se produce”.

Etapa I: conceptualización, alineación de intereses y financiación

La incorporación del gobierno como aliado en la acción constructiva del hecho —la instalación de la PPB— no tuvo lugar hasta octubre de 2010, cuando este lanzó la “Estrategia de industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia”, que por primera vez definió una fase III (industrialización) orientada al desarrollo de las baterías de litio. Para ello, justificado a través del compromiso constitucional de “promover prioritariamente la industrialización de los recursos naturales” (art. 316, inc. 6) y “ejercer el control estratégico

de las cadenas productivas y los procesos de industrialización de dichos recursos” (art. 309, inc. 1), 400 millones de dólares fueron comprometidos por el gobierno.⁸ Pero esta traslación efectuada por el gobierno del interés colectivo –plasmado en la Constitución Política del Estado– en la intencionalidad de avanzar en un proyecto concreto de industrialización no fue arbitraria. Durante más de un año y medio tuvo lugar un proceso de *traducción de intereses*⁹ mediante el cual la GNRE, y concretamente un reducido grupo de ingenieros a cargo del diseño del proyecto, fueron enrolando a los diferentes actores clave.

En primer lugar, fue necesaria la creación del instrumento capaz de sustentar la afirmación “Bolivia producirá baterías de litio”, el cual fue construido con base en un núcleo técnico capaz de proyectar la futura caja negra: un estudio de prefactibilidad del proyecto. Fue este aliado no humano el que, una vez en manos del presidente del Estado Plurinacional, permitió una primera traducción de intereses: *quiero lo que tú quieres*,¹⁰ pero además fue también el primer objeto capaz de trasponer la idea a un elemento cognitivo material y con capacidad de difusión a la sociedad civil –grupo social relevante y necesario de enrolar–.

Así, el estudio presentado complacía los intereses explícitos del presidente: ponía números y letras, gráficos, tablas y figuras, a la idea de una industria de baterías de litio. Sin embargo, no detallaba los pasos a seguir para alcanzar los objetivos propuestos. Y más aún. Presentaba una inquietante limitación estratégica y discursiva: no explicitaba cómo se debía vincular la materia prima –el litio contenido en la salmuera del salar de Uyuni– con el producto tecnológico final de alto valor añadido –las baterías de litio–. La GNRE reformuló el estudio de prefactibilidad:

[...] el litio contenido en la salmuera debería transitar en sus diferentes formas químicas hasta ser incorporado en los productos finales, de lo contrario, el carácter estratégico del litio se desvanecerá si son los países del centro los que transforman la materia prima en productos litiados con tecnología incorporada.

De este modo, la propuesta inicial de industrialización en tres fases se tornó en cimientó discursivo: la cadena de valor.

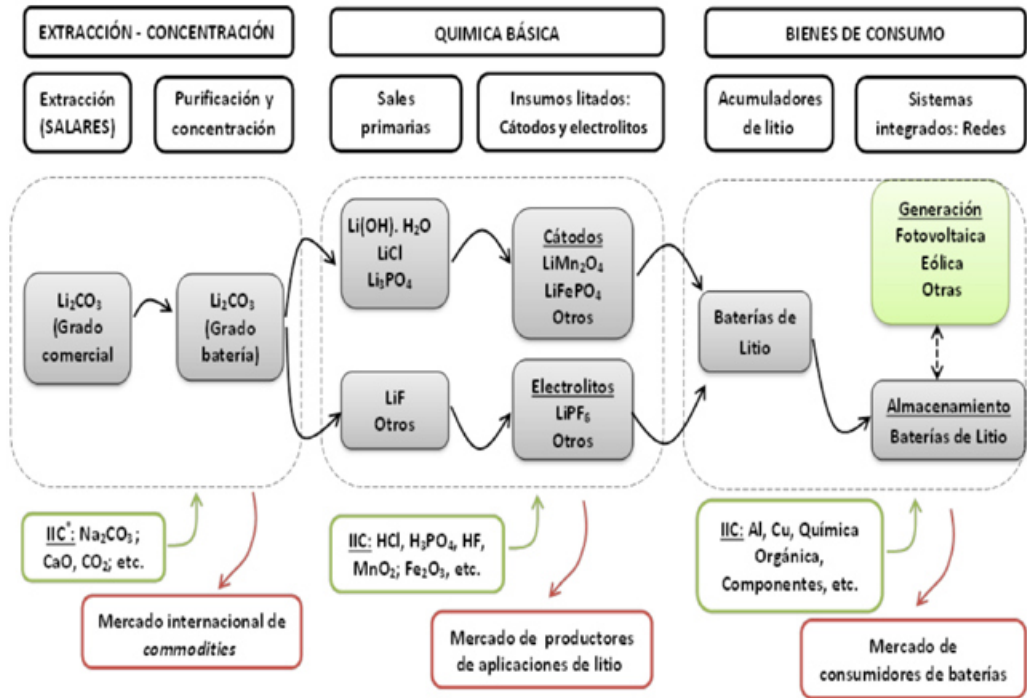
Validada la coherencia estratégica del megaproyecto, faltaba resolver la cuestión operativa. Para ello, los impulsores del hecho articularon una nueva traducción de intereses: *la industrialización directa es un camino obstruido. Es necesario un rodeo*. Se argumentó que la idea era prematura y el objetivo no se podía alcanzar inmediatamente, más bien era necesario tomar un pequeño atajo: co-

⁸ Durante el discurso del presidente del Estado Plurinacional de Bolivia, Evo Morales Ayma, del 21 de octubre de 2010, sobre la estrategia de industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia, se anunció que la fase III (industrialización), correspondiente al desarrollo de las baterías de litio, contaría con un financiamiento estatal de 400 millones de dólares, aceptando en esta fase la participación adicional de socios extranjeros que aportasen tecnología de punta o capital. Adicionalmente se confirmó que las fases de explotación e industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia serían desarrolladas de manera paralela. La decisión de iniciar la fase III con la instalación de un proyecto piloto tuvo lugar a lo largo de 2011.

⁹ Este enfoque se encuentra en la teoría de las traducciones de Callon (1995), donde los procesos de traducción, alineamiento, coordinación y enrolamiento son utilizados para entender los intereses de los grupos sociales y actores relevantes.

¹⁰ En el marco de la Teoría del Actor-Red, identifica diferentes formas de traducción de intereses. Primera traducción: *quiero lo que tú quieres*; segunda traducción: *yo lo quiero, ¿por qué tú no?*; tercera traducción: *si solo dieras un corto rodeo...*; cuarta traducción: *reorganizar los intereses y objetivos*; quinta traducción: *volverse indispensable*.

Figura 2. Esquema conceptual de la industrialización del litio en función del desarrollo de la cadena de valor



* IIC: Insumos e Industrias Complementarias.

Fuente: elaboración propia.

menzar el proyecto con una primera etapa a escala piloto. Así, el 14 de marzo de 2011, el Ministerio de Minería y Metalurgia emitió la Resolución Ministerial 055, según la cual se aprobaba el estudio de prefactibilidad “Sales derivadas del carbonato de litio con alto valor añadido y baterías de litio” para la fase III, por un monto de 400 millones de dólares, al mismo tiempo que instaba al Banco Central de Bolivia (BCB) a financiar el proyecto “Implementación de planta piloto de baterías de litio en Bolivia” por un monto de 35.350.000 de pesos bolivianos (5 millones de dólares) correspondiente a la ejecución de la primera etapa de la fase de industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia. Poco después, el 13 de mayo, se firmó entre COMIBOL y el BCB el contrato SANO N° 179/2011, por la cantidad de 35.350.000 de pesos bolivianos para iniciar la instalación de una planta piloto de baterías de litio y una serie de laboratorios destinados a realizar investigaciones sobre los diferentes eslabones de la cadena de valor del litio.

Etapa II: selección de la tecnología y determinación de la trayectoria sociotécnica

A mediados de 2011 había tres propuestas encima de la mesa para la instalación, en modalidad “llave en mano”, de la planta piloto. La primera correspondía a un consorcio de Holanda conformado por diversas empresas (Gaia, Da Vinci Labs, entre otras) y una universidad (TU Delft). La segunda provenía de la empresa finlandesa European Batteries y la última de la firma china Linyi Dake Trade Co., Ltd. Las dos primeras propuestas, con un elevado grado de automatización, garantizaban productos capaces de superar los más exigentes estándares de calidad, por lo tanto, certificables para su comercialización en la Unión Europea, y estaban orientadas a la instalación de una planta con tecnología de “última generación”, pero protegida por licencias y royalties. Estas ofertas quintuplicaban y triplicaban respectivamente el precio de la propuesta de la empresa china, cuya tecnología, con unas especificaciones técnicas del producto final más modestas, estaba libre de derechos de propiedad intelectual.

La dificultad para la formación de criterios y la toma de decisiones sobre la alternativa más conveniente ponía de manifiesto tanto el desconocimiento de la materia como el miedo a asumir la responsabilidad ante lo desconocido. Frente a ello, el equipo técnico a cargo del proyecto no expresó su postura desplegando un discurso meramente técnico, sino que presentó una retórica de *preguntas generadoras* capaces de convertir la decisión en una acción colectiva y apropiable por los aliados clave (la Gerencia de la GNRE y la propia Jefatura del Estado): ¿es posible vincular el mandato político con la decisión técnica de adjudicar el proyecto a una u otra empresa?, ¿qué pasaría si, teniendo en cuenta la falta de experiencia en este campo, se adquiriera un paquete tecnológico protegido y altamente agregado que, finalmente, no condujera a la apropiación de la tecnología?, ¿qué ocurriría cuando uno de los robots de producción se averiase?

Para romper el mito de la modernidad asociado a la “última tecnología”, se propuso que el proyecto piloto cumpliera el objetivo de potenciar la capacidad de absorción de tecnología de los ingenieros y científicos nacionales, además de que no comprometiera una inversión excesiva. De este modo, los intereses de la GNRE fueron traducidos: *es posible implementar el proyecto con una inversión razonable*, lo cual no solo relajaba la responsabilidad ante futuras auditorías; además, concebido de ese modo, el proyecto permitía articular un discurso político bien alineado, fundamentado en la necesidad de desarrollar capacidades internas –tal y como había

comprometido el presidente Evo Morales— orientadas a la realización de los imaginarios históricos —relacionados con la industrialización de los recursos naturales—.

El impulso final a la decisión de la adjudicación del proyecto fue la firma de un informe de viaje del ingeniero responsable tras su visita en diciembre de 2011 a las instalaciones de la empresa Linyi Dake Trade Co., Ltd. Ese mes se adjudicó el proyecto de planta piloto de baterías a la empresa china. La negociación del contrato culminó el 6 de junio de 2012. Las operaciones de protocolización y apertura de carta de crédito demoraron hasta el 3 de septiembre de ese año, fecha en la que comienza formalmente el proyecto, según lo estipulado en el contrato ctto.comibol.gnre.int-011/2012.

No sin estar exenta de dificultades, relacionadas con la desaduanización de equipos o la refacción de las infraestructuras, la implementación de la primera etapa del proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia concluyó satisfactoriamente el 17 de febrero de 2014, coincidiendo con la inauguración de una planta piloto de baterías de litio en la localidad de La Palca, Potosí.

La apertura del paquete tecnológico. Transferencia de tecnología y conocimiento

¹¹ Entre el 17 y el 19 de octubre de 2016 tuvo lugar el XIII Congreso Internacional de Metalurgia en la ciudad de La Paz, al cual fui invitado como ponente para dar una charla, titulada “Dimensiones y atributos estratégicos de la industrialización del litio en Bolivia”. En las casi tres semanas de estancia en Bolivia, además de impartir un curso a estudiantes de grado sobre síntesis de materiales catódicos, tuve la oportunidad de entrevistar al gerente de la GNRE, Ing. Luis Alberto Echazú, y pasar varios días en La Palca, Potosí —junto a mis antiguos compañeros de la GNRE—. Durante esos días pude comentar los avances alcanzados en la PPB, además de ver con mis propios ojos los logros que, en vivo y en directo, nos explicaba la Ing. Giovanna Díaz, responsable de La Palca.

Se puede afirmar que la transferencia de tecnología ha tenido un impacto positivo en la apropiación del conocimiento. Durante el pilotaje en la PPB —desde febrero de 2014 hasta octubre de 2016—¹¹ los procesos de *learning by doing* y *learning by using* (Lundvall, 2009) han llevado a que tanto el personal de planta como los científicos que dan soporte científico-técnico al proyecto hayan conseguido modificar la composición de los electrodos para mejorar la *performance* de las baterías, variar los procesos productivos para producir diferentes tipos de celdas y ensamblar paquetes de baterías con diferentes configuraciones.

A partir de carbonato de litio —obtenido a través de un proceso de purificación diseñado por el equipo de la Dirección de Electroquímica y Baterías, que en la actualidad permite la producción de 370 kg/mes— diferentes materiales catódicos han sido preparados y evaluados en operación real en las baterías que produce la PPB. De este modo, y gracias a la inversión acometida por la GNRE en infraestructura de experimentación, la empresa ha sintetizado dos tipos de materiales catódicos —fosfato de hierro-litio (LFP) y óxido de manganeso-litio (LMO)— a través de un proceso propio. Los resultados obtenidos tras los análisis químicos, electroquímicos y es-

tructurales informaron de que los materiales catódicos obtenidos (LMO y LFP) eran equivalentes al patrón comercial. Esto se confirmó al ser incorporado el LFP en una celda de ión-litio y comprobar que esta se comportaba de manera análoga a otras cuyos electrodos habían sido preparados con material activo catódico comercial. Por otra parte, en el plano experimental, además de estos materiales de electrodo –cuya relevancia radica en que son los mayoritariamente empleados en las baterías comerciales–, la GNRE/YBL está desarrollando investigación propia en otros materiales situados en la frontera del conocimiento, como el $\text{Li}_x\text{Si}_{1-x}\text{B}_x\text{O}_2/\text{LiTi}_2\text{P}_3\text{O}_{12}$, atractivo por sus propiedades como conductor iónico.

Estos hechos ponen de manifiesto importantes avances: la síntesis de carbonato de litio de alta pureza y de diferentes materiales catódicos por métodos propios significa la absorción efectiva del conocimiento –tácito y explícito– implicado en estos procesos; el análisis químico y estructural de estos compuestos supone no solo contar con equipos de última generación, sino también con la capacidad de usarlos; y menos de tres años después de la instalación de la PPB, la GNRE consiguió desarrollar la cadena de valor del litio en la escala piloto: carbonato de litio (impuro) - carbonato de litio (grado batería) - material catódico - batería de litio. Este último hecho es de gran relevancia, en cuanto que implica la demostración de la capacidad técnica al interior de la firma para implementar la estrategia de industrialización comprometida con el pueblo boliviano.

En cuanto a las celdas de litio, lejos de la lógica del “operario de planta”, que habría perpetuado la producción de la tecnología adquirida,¹² la GNRE ha ampliado notablemente su cartera de productos.

En el XIII Congreso Internacional de Metalurgia que tuvo lugar en La Paz del 17 al 19 de octubre de 2016, la GNRE presentó los resultados de una nueva celda recargable de ión-litio de geometría cilíndrica en la charla “Diseño y desarrollo de baterías cilíndricas de ión-litio en planta piloto de baterías”. Esta geometría no fue contratada a la firma proveedora de la tecnología, sino íntegramente diseñada y producida en las instalaciones de la PPB por los científicos e ingenieros de la GNRE. Los resultados satisfactorios sobre esta celda develan un conocimiento profundo sobre la tecnología de baterías de ión-litio y los procesos productivos. Cambiar la geometría de la celda implica reformular los electrodos –su geometría y probablemente su composición–, pero además requiere la incorporación de nuevos equipos de producción –el proceso de enrollado (*winding*) de los electrodos sobre sí mismos para su posterior introducción en la carcasa necesita de equipos y herramientas

¹² La GNRE contrató con la firma china en modalidad “llave en mano” dos líneas de producción: celdas de 0,8 Ah y celdas de 10 Ah.

diferentes dependiendo de la geometría de la celda– y modificar una buena parte de todo el proceso de manufactura de la celda.

También se han desarrollado nuevas baterías¹³ y, a partir de aquí, nuevos productos: desde un pack de 2 kWh –incluyendo el sistema de control electrónico (Battery Management System, BMS)– diseñado según las especificaciones técnicas del motor de un montacargas, hasta otras configuraciones de menor potencia diseñadas para trabajar en entornos rurales y acoplados a paneles solares. Es decir, partiendo de la base tecnológica transferida por la empresa extranjera, una secuencia de procesos de socialización, externalización, combinación e internalización del conocimiento (Nonaka y Takeuchi, 1994) tuvo lugar al interior de la PPB, dando lugar a la creación de soluciones propias para problemas concretos. Adaptando la configuración de las celdas de 10 Ah, inicialmente diseñadas para ser ensambladas en baterías de 240 Wh¹⁴ para alimentar el motor eléctrico de una bicicleta, la GNRE/YBL produce baterías capaces de satisfacer necesidades de almacenamiento de energía en comunidades aisladas.

Tener la capacidad de modificar el diseño inicial contratado –baterías de 240 kWh– confirma un conocimiento profundo sobre la tecnología de baterías de alta energía. Pero, además, también confirma la hipótesis de que un enfoque de desarrollo endógeno de capacidades, en el caso de un proyecto como la industrialización del litio, intensivo en ciencia y tecnología, permite a su vez una dinámica de *aprendizajes cruzados* –lo que se aprende en un campo es funcional a otro–. Hacer que un antiguo montacargas funcione con una batería nueva ensamblada no es tan simple como unir, en lugar de ocho celdas de 10 Ah, sesenta (~1.8 kWh). Técnicamente es mucho más complicado e implica una serie de ajustes y nuevos diseños.

En primer lugar, la configuración de las celdas (serie o paralelo) depende de las especificaciones técnicas del motor eléctrico a energizar, por tanto, es necesario un ensamble técnico con el conocimiento electromecánico. Una vez definida la configuración de la batería –que trabajará con un determinado voltaje nominal e intensidad de corriente de descarga–, se requiere un sistema de control electrónico (BMS) que mantenga las celdas operando de manera correcta. Este BMS se encarga de suspender una celda que deja de funcionar, evitar descargas profundas, sobrecargas, etcétera. Es decir, se trata del “cerebro” de la batería. En realidad, el desarrollo de estos sistemas es el negocio de muchas empresas en Europa y Estados Unidos, puesto que suelen ser sistemas diseñados ad hoc con un precio de venta elevado. En el caso de Bolivia, en lugar de adquirirlo de una empresa extranjera, fue el propio equipo de La

¹³ Nótese que en este caso estamos diferenciando celdas de baterías. Las primeras se refieren a la celda unitaria, una unidad electroquímica compuesta por ánodo, cátodo, electrolito, colectores de corriente, etcétera. Mientras que las segundas pueden estar compuestas por una sola celda (batería de un celular) o por varias (batería de un vehículo eléctrico). Con el término “batería” nos referimos a las diferentes configuraciones (series y paralelo) de celdas ión-litio que dan lugar a una batería con unas especificaciones técnicas determinadas en términos de voltaje, potencia, capacidad.

¹⁴ La tecnología contratada con la empresa china incluía el ensamblado de un pack de ocho celdas de 10 Ah-3V, dando lugar a una batería de 240 Wh.

Palca quien lo desarrolló específicamente para el montacargas. Asimismo, la batería requiere una carcasa especial capaz de soportar tanto la acción externa –humedad, variaciones de temperatura– como esfuerzos mecánicos –impactos, presión, vibración– y salvaguardar la seguridad de los usuarios. También la carcasa fue diseñada en La Palca, poniendo de manifiesto el avance hacia un modo 2 del concimiento de carácter interdisciplinar. En este caso, relacionado con la ingeniería de materiales, en cuanto que hay que seleccionar un determinado material, y con la ingeniería mecánica, involucrada en el diseño geométrico de la propia carcasa.

En este punto habría que remarcar que, si bien el paso de resignificar la tecnología original para energizar un antiguo montacargas puede resultar trivial desde el punto de vista del valor de cambio, en el plano tecnológico es un salto cualitativo, ya que conlleva una materialización de la apropiación del conocimiento. A partir de aquí, una vez acometido semejante salto tecnológico y cognitivo, si en lugar de un montacargas se tratase de un vehículo eléctrico, por ejemplo, el proceso de rediseño y adaptación tecnológica, más que un desarrollo radical, sería de tipo incremental.

Por otra parte, los procesos de *retroingeniería* se han extendido a los bienes de capital, de manera que el mantenimiento y la reparación de todos los equipos de planta los realiza –o coordina con firmas locales– el equipo de la GNRE. Asimismo, algunas partes y equipos menores de producción nacional ya han sido incorporados al proceso productivo. Es el caso del equipo de enrollado de electrodos para la fabricación de celdas cilíndricas. Diseñado por la GNRE y producido por empresas de metalmecánica potosinas, puede sustituir a los equipos chinos contratados para hacer celdas prismáticas. La importancia de esto tiene una vertiente de carácter epistemológica relacionada con el conocimiento asociado a la capacidad de diseñar y producir equipos. Pero además existe una vertiente de carácter más práctico, a la vez que estratégico: la dependencia tecnológica de los bienes de capital. Mientras que otras ofertas de plantas “llave en mano” incluían equipos muy complejos y con un elevado grado de robotización, equipos situados en la frontera del conocimiento de las técnicas de manufactura, la opción de la GNRE fue la adquisición de equipos más modestos. El resultado es que, desde que se instaló la PPB, la GNRE no ha necesitado contactar a los proveedores para solucionar ningún problema técnico en el funcionamiento de la planta.

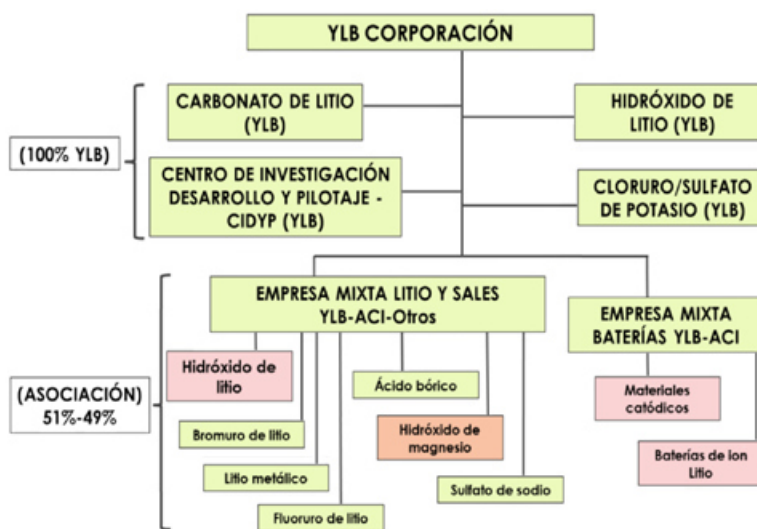
En una línea similar, frente a la alternativa de contratar una firma extranjera para el acondicionamiento de la infraestructura de producción en La Palca, este fue llevado a cabo por una empresa potosina, VBC Alianza. Ello, al tiempo de construir una red

de proveedores y dinamizar la economía local, asegura agilidad a YLB a la hora de llevar a cabo la reparación y el mantenimiento de infraestructuras especiales, como líneas de gases –argón, nitrógeno–, grupo de presión –aire comprimido, línea de vacío–, el sistema eléctrico o los sistemas de control de temperatura y humedad.

Traslación de la experiencia piloto: riesgo compartido entre YLB-ACI Systems

Los resultados de la experiencia piloto en términos de selección de tecnología y socios se evidencian en la elección de la firma alemana ACI Systems como uno de los socios estratégicos para la industrialización.

Figura 3. Proyectos de YLB corporación y empresa mixta con ACI Systems



Fuente: YLB (2018).

En abril de 2018, la firma alemana fue elegida –entre ocho candidatos que participaron en la licitación internacional– para asociarse con YLB en la forma de una empresa mixta para la instalación de una fábrica de baterías de litio y materiales catódicos capaz de abastecer la totalidad del actual mercado europeo (8 GWh). Para adjudicarse el contrato, debió cumplir con cuatro requisitos básicos: aceptar la mayoría accionaria del Estado

boliviano (51%), disponer de tecnología de punta, garantizar el mercado futuro de las baterías realizadas y procesar las salmueras residuales de la planta industrial de carbonato de litio para producir hidróxido de litio. La inversión conjunta estimada alcanzará los 1.117 millones de dólares y se esperan unas utilidades brutas de 925 millones de dólares al año una vez que todas las plantas estén en operación. ¿Cuál habría sido la naturaleza de un acuerdo con estos niveles de inversión de no haber contado con la experiencia previa de la planta piloto? ¿Habría tenido Bolivia la misma capacidad negociadora?

Conclusiones

Si partimos de que las Bdl son artefactos de elevada intensidad científico-tecnológica, los *procesos de aprendizaje* y el desarrollo de *capacidades de absorción* dependerán de los criterios según los cuales la tecnología es seleccionada. De aquí, la propia naturaleza tecnológica de las baterías de litio y sus componentes constituye el punto de partida del cual dependen las formas en las que el conocimiento científico-tecnológico será apropiado y producido.

En Bolivia, se partía de un conocimiento nulo en la materia, por tanto, de haber apostado por la transferencia de una tecnología de última generación, el riesgo de que la brecha de conocimiento resultase insuperable habría aumentado. En este caso, el papel del personal científico-técnico boliviano podría haberse reducido al de meros operarios de la tecnología. En cambio, frente al *mito de la tecnología de punta*, se optó por otra de *segunda generación* con el propósito no solo de manufacturar productos con valor comercial, sino también de apropiarse del conocimiento –codificado y tácito– encerrado en la planta piloto, de su *valor tecnológico*, a través de una estrategia deliberada de *desagregación del paquete tecnológico*: no es necesariamente la última tecnología la que mejor satisface las necesidades del proyecto político vigente.

El hecho de que el mercado globalizado ofrece la posibilidad de adquisición de *paquetes tecnológicos* de todo tipo en términos de precio, tecnología, modalidad de adquisición, etcétera, supone una oportunidad para el desarrollo de políticas orientadas a la transferencia de conocimiento con fines *capacitantes*. Permite aprovechar el conocimiento transferido para acortar *brechas tecnológicas* a través de su absorción para, a partir de ahí, iniciar la etapa de producción de conocimiento propio.

Fue de este hecho de lo que se aprovechó Bolivia: los significados en cuanto a valor que *a priori* se le dieron a la tecnología

en la etapa de diseño –como valor de uso, de cambio y tecnológico– fueron traducidos por la GNRE y alineados con los intereses del resto de los grupos sociales relevantes vinculados al proyecto –jefatura del Estado, funcionarios públicos, sociedad civil, etcétera– y materializados a través del proceso de selección de la tecnología. En concreto, la modalidad de acceso a la tecnología con la que dio comienzo el proyecto de baterías de litio boliviano –adquisición “llave en mano” de una planta piloto de manufactura de baterías de litio, frente a otras alternativas con tecnologías más avanzadas– supuso el cierre de una primera controversia¹⁵ que condicionó la *trayectoria sociotécnica* futura. La estrategia deliberada de *desagregación del paquete tecnológico* impactó sobre el desarrollo de las *capacidades de absorción* de los científicos e ingenieros bolivianos, sentando las bases para la producción de nuevos conocimientos relacionados con la ciencia y técnica de los acumuladores de litio.

A partir de una tecnología disponible para Bdl –diseñada para abastecer la electrónica portátil y la movilidad eléctrica– es posible una “operación de reutilización creativa” (Thomas, 2010) al servicio de nuevos sentidos: la soberanía energética, con base en la acumulación de energía renovable, y la explotación de las Bdl como *artefacto capacitante*, útil para satisfacer necesidades sociales propias.

No obstante, esta flexibilización en la interpretación de los artefactos está vinculada a las capacidades técnicas de los científicos e ingenieros bolivianos para *modificar los diseños y procesos productivos*; lo cual depende, en última instancia, de una voluntad política de priorizar el impulso de las *capacidades endógenas* en ciencia y tecnología frente al cortoplacismo de la perspectiva exclusivamente economicista. En definitiva, frente a la operación de una *tecnología encapsulada*, la magnitud de la *flexibilidad interpretativa* es contingente a la *apertura del paquete tecnológico*.

Por último, la historia sugiere que, mientras se priorice el cortoplacismo y la rentabilidad en detrimento de la acumulación de capacidades internas, se estará renunciando a fortalecer aquellos atributos esenciales que pueden modificar la asignación centro-periferia. Y en este sentido, a diferencia de Argentina y Chile, donde la explotación bajo régimen concesional de los salares está desvinculada de una estrategia de industrialización en torno al desarrollo de productos “aguas arriba o abajo”, y donde el rol que juega la ciencia y la tecnología responde a un modelo exclusivamente ofertista-lineal, el enfoque de Bolivia, cristalizado en la *trayectoria sociotécnica* de la planta piloto de baterías de litio, resulta aleccionador. Pues, a pesar de no estar exenta de dificultades, Bolivia se constituye como el único país del Cono Sur que prohibió las con-

¹⁵ Este concepto se desarrolló en la Teoría del Actor-Red (TAR), propuesta por Latour, Callon y Law (Callon, 1986; Latour, 1987).

cesiones de sus reservas y fundó una empresa pública que busca su industrialización, con base en un proceso autónomo y soberano, en función de las propias necesidades sociales (Nacif, 2012), e inspirado en la lógica de combinar el desarrollo autónomo de ciencia y tecnología con la adquisición de esta como paquetes desagregables. Todo ello, en la búsqueda de un fin concreto: un desarrollo sistémico y articulado de sus recursos evaporíticos.

Referencias bibliográficas

- Callon, M. (1986), "The Sociology of an Actor-Network: the case of the Electric Vehicle", en Callon, M., J. Law y A. Rip, *Mapping the Dynamics of Science and Technology*, Londres, MacMillan Press.
- (1995), "Algunos elementos para una sociología de la traducción: la domesticación de vieyras y los pescadores de la Bahía Saint Brieu", en Iranzo, J. M. et al., *Sociología de la ciencia y la tecnología*, Madrid, CSIC.
- Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE) (2013), *Memoria Institucional*, La Paz, Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos.
- Hughes, T. P. (1983), *Networks of Power, Electrification in Western Society 1880-1930*, Baltimore, The John Hopkins University Press.
- Latour, B. (1987), *Science in action: how to follow scientists and engineers through society*, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press.
- Lundvall, B. (2009), *Sistemas Nacionales de Innovación. Hacia una teoría de la innovación y el aprendizaje por interacción*, San Martín, UNSAM EDITA.
- Nacif, F. (2012), "Bolivia y el Plan de Industrialización del Litio. Un reclamo histórico", *Revista del CCC*, N° 14/15, Buenos Aires, Centro Cultural de la Cooperación Floreal Gorini, en <www.centrocultural.coop/revista/articulo/322/>.
- Nonaka, I. y H. Takeuchi (1994), *The Knowledge Creating Company*, Oxford, Oxford University Press.
- Pinch, T. y W. Bijker (2008). "La construcción social de los hechos y de artefactos: o acerca de cómo la sociología de la ciencia y la sociología de la tecnología pueden beneficiarse mutuamente", en Thomas H. y A. Buch (coords.), *Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología*, Bernal, Universidad Nacional de Quilmes.
- Rodríguez-Carmona, A. e I. Aranda (2014), *De la salmuera a la batería. Soberanía y cadenas de valor*, La Paz, Centro de Investigaciones Sociales, Vicepresidencia del Estado Plurinacional de Bolivia.
- Thomas, H. (2008), "Estructuras cerradas vs. Procesos dinámicos: trayectorias y estilos de innovación y cambio tecnológico", en Thomas H. y A. Buch (coords.), *Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología*, Bernal, Universidad Nacional de Quilmes.

— (2010), “Los estudios sociales de la tecnología en América Latina”, *Íconos. Revista de Ciencias Sociales*, N° 37, Quito, FLACSO.

[Recibido el 9 de febrero de 2019]

[Evaluado el 10 de mayo de 2019]

Autor

Iván Aranda es licenciado en Ciencias Químicas (Universidad Autónoma de Madrid) e ingeniero superior de Materiales (Universidad Complutense de Madrid). De 2009 a 2014 fue consultor de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos de Bolivia y participó del diseño y la implementación del proyecto de industrialización del litio. Actualmente está involucrado en diferentes proyectos europeos relacionados con la transición energética.

Publicaciones recientes:

- Aranda I. (2015), “Litio en América Latina: alternativa productiva para la soberanía energética”, en Nacif, F. y M. Lacabana (coord.), *ABC del litio sudamericano: soberanía, ambiente, tecnología e industria*, Bernal y Buenos Aires, Universidad Nacional de Quilmes y Ediciones del CCC.
- (2015), “El alcance de los modelos regionales de industrialización del litio y su relación con el avance hacia la soberanía energética”, *La Época*, año XIV, La Paz.
- y A. Rodríguez Carmona (2014), *De la salmuera a la batería. Soberanía y cadenas de valor*, La Paz, Centro de Investigaciones Sociales, vicepresidencia del Estado Plurinacional de Bolivia.

Cómo citar este artículo

Aranda, Iván, “La planta de baterías de litio en Bolivia. De la caja negra a la apertura del paquete tecnológico”, *Revista de Ciencias Sociales, segunda época*, año 10, N° 36, Bernal, Editorial de la Universidad Nacional de Quilmes, primavera de 2019, pp. 57-74, edición digital, <<https://ediciones.unq.edu.ar/538-revista-de-ciencias-sociales-segunda-epoca-no-36.html>>.