



Aranda Garoz, Iván

Trayectoria socio-técnica y contingencia a escala regional de la industrialización del litio en Bolivia. El caso de la planta piloto de baterías.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Argentina.
Atribución - 2.5
<https://creativecommons.org/licenses/by/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 Garoz, I. (2020). *Trayectoria socio-técnica y contingencia a escala regional de la industrialización del litio en Bolivia. El caso de la planta piloto de baterías. (Tesis de maestría).* Bernal, Argentina: Universidad Nacional de Quilmes. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/3075>

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

Trayectoria socio-técnica y contingencia a escala regional de la industrialización del litio en Bolivia. El caso de la planta piloto de baterías.

TESIS DE MAESTRÍA

Iván Aranda Garoz

ivan.arandagaroz@gmail.com

Resumen

Reconociendo la incipiente transición hacia una nueva matriz energética a base de energías renovables, de la cartera de productos comercializables que busca producir Bolivia, a través del proyecto estatal de industrialización de los recursos evaporíticos (Litio), son las baterías el que puede tener a futuro un mayor impacto socio-económico. No sólo por las perspectivas de demanda futura, o porque en la nueva matriz energética las baterías de litio resultarán ser un elemento clave en un modelo de producción descentralizado, almacenamiento y autoconsumo energético. También, debido a que la intensidad científico tecnológica que acompaña a los acumuladores de litio puede incidir en el desarrollo de capacidades endógenas en ciencia y tecnología. Sin embargo, y aun siendo una condición necesaria, no es la decisión de avanzar en la industrialización del litio lo que determinará una mejora en aquellas, sino que será la forma que adquiera este proceso lo que dará lugar a un determinado estilo socio-técnico. En base a la experiencia boliviana, y en concreto al diseño y puesta en marcha de una planta piloto de manufactura de baterías de litio, en esta tesis se pretende introducir elementos sobre la “cuestión del litio” que puedan aportar al debate regional, en términos de avance hacia un modelo de industrialización que traslade a un primer plano el problema de la dependencia. Para ello, el análisis de la trayectoria socio-técnica de la planta piloto servirá para contrastar hipótesis, identificar limitaciones y, en última instancia, desplegar argumentos en torno a temas relacionados con la soberanía energética y científico-tecnológica, la integración regional o las oportunidades socio-económicas presentes en la industrialización del litio.

Abstract

Recognizing the incipient transition towards a new energy matrix based on renewable energies, from the portfolio of marketable products that Bolivia seeks to produce, through the state project for the industrialization of evaporitic resources (lithium), it is the batteries that may have a future a greater socio-economic impact. Not only because of future demand prospects, or because in the new energy matrix the lithium batteries will be a key element in a decentralized production model, storage and energy self-consumption. Also, because the scientific and technological intensity that accompanies lithium batteries can affect the development of endogenous capacities in science and technology. However, and even though it is a necessary condition, it is not the decision to advance in the lithium industrialization which will determine an improvement in the capacities, but it will be the form that this process acquires which will give rise to a certain socio-technical style. Based on the Bolivian experience and, in particular, the design and implementation of a pilot lithium battery manufacturing plant in this thesis, it is intended to introduce elements on the "lithium issue" that can contribute to the regional debate, in terms of progress towards a model of industrialization that brings the problem of dependency to the foreground. For this, the analysis of the socio-technical trajectory of the pilot plant will serve to contrast hypotheses, identify limitations and, ultimately, articulate arguments around issues such as energy sovereignty, scientific-technological sovereignty or regional integration.



TRAYECTORIA SOCIO-TÉCNICA Y CONTINGENCIA A ESCALA REGIONAL DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DEL LITIO EN BOLIVIA.

EL CASO DE LA PLANTA PILOTO DE BATERÍAS

Descripción breve

Uno de los resultados más visibles de la estrategia de industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia fue la puesta en marcha de una planta piloto para la manufactura de baterías de litio. En esta tesis se indagan los orígenes del proyecto, así como las posibilidades y alcance vinculados a la particular trayectoria socio-técnica que devino unidad productiva, de alta intensidad tecnológica, en operación. En base a ello, y sin olvidar la dimensión geopolítica y a escala regional, consustancial a la industrialización del litio, se abordan cuestiones como el desarrollo de capacidades endógenas, las implicaciones de la selección de tecnologías en la estrategia industrial o la soberanía energética y científico-tecnológica.

Iván Aranda Garoz
ivan.arandagaroz@gmail.com

CONSIDERACIÓN INICIAL: El presente trabajo en la coyuntura boliviana a cierre del año 2019.

Al mismo tiempo que transcurría el golpe de Estado en Bolivia tenía lugar la última revisión de la presente tesis. Sin duda, los acontecimientos de Noviembre de 2019 no sólo suponen un probable quiebre en el proceso de acumulación de conocimiento, que se inició en Bolivia paralelamente al Proceso de Cambio, sino también en la marcha de la propia industrialización del litio. Esta afirmación no es una conjetura. El hecho de que el 4 de noviembre, debido a las presiones del Comité Cívico de Potosí (COMCIPO), opositor histórico al proyecto estatal del litio y actor clave en el golpe de Estado que tendría lugar días después, Evo Morales abrogase el DS 3738 suspendiendo la creación de la empresa mixta YLB-ACI Systems suponía de facto detener abruptamente la industrialización del litio. La renuncia del Presidente Morales, forzada por presión de los militares, vino acompañada de la renuncia del Gerente de YLB, Juan Carlos Montenegro y del Vice Ministro de Altas Tecnologías Energéticas, Luis Alberto Echazú, antiguo Gerente Nacional de la GNRE. Pero no sólo el proyecto quedó, en cuestión de días, descabezado en sus funciones ejecutivas. A finales de noviembre, del equipo de ingenieros y técnicos encargados de la planta piloto de baterías y del departamento de Electroquímica y Baterías de YLB tan sólo quedaban dos personas. Los procesos de aprendizaje responsables del incremento del acervo científico-tecnológico y que, en última instancia, orientan una determinada trayectoria socio-técnica, tal y como se describe en esta tesis, han pasado de una situación de dinamismo a otra de latencia, existiendo un alto riesgo de pérdida de los procesos de aprendizaje. Durante estos 10 años, desde que emerge la idea de la producción de baterías de litio en Bolivia, de la absorción de capacidades al desarrollo tecnológico propio, la industrialización del litio acumuló conocimiento sin detenerse, y fue configurando un estilo socio-técnico genuino -y único- en la región. Sin embargo, en la actual situación de Gobierno interino la trayectoria y estilo socio-técnico quedan congelados, a la espera de la recuperación del rumbo político. Rumbo que, por otra parte, incorporará en mayor o menor grado incertidumbre y cambio respecto a la etapa anterior.

Es en este sentido que la presente tesis, y en esta coyuntura, cobra relevancia. A pesar de que, en ningún momento, a la hora de prospectar escenarios y hacer conjeturas de cara a posibles destinos del proyecto de industrialización, se pensó en la posibilidad de un golpe de estado por factores conservadores retrógrados, el discurso que se articula en el trabajo sigue siendo válido. Es cierto que, como hipótesis implícita, subyace la idea de una suerte de continuidad en lo que a proyecto político se refiere. Por tanto, las consecuencias de un giro al ultraliberalismo supondrían la negación de la contingencia que aquí se presenta. No obstante, en el momento que escribo estas líneas, con un Gobierno interino y sin elecciones convocadas, el color del futuro Gobierno de Bolivia no está claro. En cualquier caso, e independientemente de los acontecimientos, lo que se presenta en esta tesis proyecta tácitamente -y a veces de modo explícito- un posible futuro sobre la industrialización del litio boliviano en base a los resultados devenidos de una experiencia muy concreta: el proceso de implementación de una planta piloto para la producción de baterías de litio. Por tanto, a pesar de que algunas afirmaciones, especulaciones -además del uso y asignación de nombres y siglas en el “presente”, pudieran estar equivocadas a consecuencia de la actual coyuntura, es precisamente éste enfoque lo que puede resultar útil del trabajo: frente a dogmatismos, una reflexión argumentada y respaldada con hechos sobre formas alternativas al *mainstream* neoliberal para dar respuesta a los retos del desarrollo que enfrenta la región de América Latina. Y es de este modo, cómo instrumento discursivo y para la reflexión, que se recomienda la lectura de esta tesis.

Contenido

Contenido	2
INTRODUCCIÓN.....	5
Presentación del problema	6
Justificación	6
Estructura y estilo del trabajo	7
BLOQUE 1. Diseño de la investigación	9
Capítulo 1. Propuesta de investigación	9
1.1 Tema de estudio y unidad de análisis	9
1.2 Hipótesis.....	10
Capítulo 2. Enfoque metodológico.....	11
2.1 Perspectiva y abordaje metodológico.....	11
2.2 Diseño de la investigación	13
2.3 Disponibilidad de fuentes y observación participante	16
BLOQUE 2: Aspectos teórico-conceptuales	17
Capítulo 3: Marco teórico.....	17
3.1 El debate histórico desarrollo-dependencia	17
3.2 Los enfoques de la economía de la innovación y la sociología de la tecnología.....	20
Capítulo 4: Estado de la cuestión	24
4.1 Estudios actuales sobre el tema litio en Bolivia y la región.....	24
4.2 Temáticas actuales y estudios de caso de referencia	30
BLOQUE 3: Baterías de litio y modelo de industrialización en Bolivia	36
Capítulo 5: Panorama de la industria y consideraciones de partida.....	36
5.1 Dimensión y atributos estratégicos de la industria de acumuladores de litio.	36
5.2 Implicaciones de la selección de la tecnología.....	40
5.3 Consecuencias de la selección del producto estrella.	44
Capítulo 6: El proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos	45
6.1 Bolivia: Desarrollo en etapas de la cadena de valor.....	45
6.2 Contingencia del modelo de industrialización	49
BLOQUE 4. La planta piloto de baterías de litio y su entorno (Forma teórica)	55
Capítulo 7. Conocimiento y entrono mesosocial del proyecto	55
7.1 El marco institucional y la cultura burocrática en la administración pública.....	55
7.2 Los estratos culturales de la COMIBOL	59
7.3 Multiculturalidad y flujos de conocimiento al interior de la GNRE	61

Capítulo 8: El proceso de construcción de una caja negra.....	65
8.1 Perspectiva de análisis: La PPB como ensamble socio-técnico	65
8.2 La construcción de la caja negra: Cronología y hechos.....	66
8.3 La construcción social de las BdL: Penetración de “lo social” en “lo técnico”	74
BLOQUE 5. Industria y mercados de baterías de litio (Contingencia tecno-económica)	77
Capítulo 9: Litio y necesidades globales de almacenamiento de energía.....	77
9.1 El sector eléctrico: Buscando a contrarreloj la eficiencia y sostenibilidad energética.	77
9.2 Prospectiva sobre los sectores del almacenamiento litio-intensivos en América Latina.	79
9.3 Vehículos eléctricos y suministro: Los efectos tractores sobre la producción.....	81
9.4 Las limitaciones del modelo energético actual.	83
Capítulo 10: Contingencia regional	86
10.1 El litio como objeto estratégico para la integración regional.	86
10.2 Escenarios para el desarrollo de la cadena de valor del litio	87
10.3 Estimación de los estados financieros futuros y efecto de la sustitución de importaciones.....	91
Notas ex-post: La apertura de la caja negra	96
Conclusiones	100
Bibliografía	104
Anexo 1: Reseña metodológica: Operacionalización de variables.	113

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Conceptualización metodológica y analítica de la investigación. Fuente: Elaboración propia.	16
Ilustración 2: Esquema conceptual inicial de la estrategia de industrialización del litio.	47
Ilustración 3: Esquema conceptual de la industrialización del litio en función del desarrollo de la cadena de valor. Fuente: Elaboración propia	50
Ilustración 4: Proyectos de YLB corporación y empresa mixta con ACI Systems. Fuente: YLB ,2018.	51
Ilustración 5: Cadena de industrialización del litio definida tras el acuerdo con ACI Systems. Fuente: YLB, 2018.....	52
Ilustración 6: Ecosistema del proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos. Fuente: Elaboración propia	56
Ilustración 7: Entramado institucional vinculado al proyecto de industrialización del litio. Fuente: Elaboración propia	58
Ilustración 8: Limitaciones operacionales al interior de COMIBOL. Fuente: Elaboración propia	61
Ilustración 9: Problema de la industrialización y significados a priori (arriba). Grupos sociales relevantes para el cierre de la primera controversia (abajo). Fuente: Elaboración propia	76
Ilustración 10: Perspectivas de reducción de costo de las BdL (LFP). Fuente: IRENA,2017	82
Ilustración 11: Baterías conectadas a la red eléctrica a nivel global 2006-2016 (principales países).....	83
Ilustración 12: Conceptualización de una “Smart grid”.	85
Ilustración 13: Carbonato de litio y necesidades de almacenamiento. Fuente: Elaboración propia.....	89

Ilustración 14: Insumos litiados para satisfacer 50GWh año en baterías de litio. Fuente: Elaboración propia.	89
Ilustración 15: Flujograma de industrialización del litio para una necesidad de acumulación energética de 50GWh/año. Fuente: Elaboración propia.	90
Ilustración 16: Entrada al laboratorio de caracterización de materiales, La Palca.	96
Ilustración 17: Charlas sobre baterías de litio y materiales catódicos en el XIII Congreso Internacional de Metalurgia y Ciencia de los Materiales, La Paz, Oct 2016.....	97
Ilustración 18: Tecnologías adquiridas inicialmente por Bolivia y tecnologías desarrolladas. Fuente: Elaboración propia.	98

Índice de Tablas

Tabla 1: Matriz de objetivos y preguntas de la tesis.	11
Tabla 2: Resumen del abordaje metodológico.....	15
Tabla 3: Proyectos de YLB en asociación.....	51
Tabla 4: Estimación de inversiones para instalar 1GWh de capacidad de producción de BdL.....	92
Tabla 5: Estimación de los costos variables	92
Tabla 6: Estimación de costos fijos.....	92
Tabla 7: Estimación de flujo de caja. A) Insumos litiados importados. B) Producción de insumos litiados en América Latina.....	93

Acrónimos

Ah: Amperios-hora
BdL: Baterías de Litio
BCB: Banco Central de Bolivia
BMS: Battery Management System
CCII-REB: Comité Científico para la Investigación e Industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia
COMIBOL: Corporación Minera de Bolivia
CST: Construcción Social de la Tecnología
CyT: Ciencia y Tecnología
ELAPCYTED: Escuela Latinoamericana de Pensamiento sobre Ciencia, Tecnología y Desarrollo
GNRE: Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos
ISI: Industrialización por Sustitución de Importaciones
LCO: Lithium Cobalt Oxide
LMO: Lithium Managanese Oxide
LFP: Lithium Iron Phosphate.
MdE: Memorándum de Entendimiento
MMM: Ministerio de Minería y Metalurgia
PIO/PIE: Petición de Informe Oral/Escrito
PPB: Planta Piloto de Baterías
RE: Recursos Evaporíticos
RRNN: Recursos Naturales
TAR: Teoría del Actor-Red
TIC: Tecnologías de Información y Comunicación
TIR: Tasa Interna de Retorno
VAN: Valor Actual Neto
VE: Vehículo Eléctrico
VIPFE: Viceministerio de Inversión Pública y Financiamiento Externo
YLB: Yacimientos de Litio Boliviano

INTRODUCCIÓN

Presentación del problema

La producción energética en base a fuentes renovables está ligada indisolublemente con el almacenamiento. Así, la posesión real de recursos naturales –el litio- susceptibles de ser utilizados para la elaboración de sistemas de acumulación de energía, y sumado a la capacidad de, efectivamente fabricarlos –las baterías de litio (BdL)- supone avanzar en la senda de una mayor *soberanía tecnológica y energética*. Esta perspectiva cobra importancia a medida que se intensifica la transición energética global. Pero particularmente en la región latinoamericana, por contar con una gran parte de la reserva mundial de este elemento químico estratégico. Y en concreto, en un país como Bolivia donde existe una gran población dispersa y en el que la *pobreza energética* está aún lejos de ser erradicada. ¿En qué medida podría la iniciativa boliviana aportar elementos para la reflexión sobre la estrategia de industrialización del litio en clave regional?

Evidentemente, el devenir del proyecto de industrialización del litio boliviano y la consecución de sus objetivos dependerá de la manera en que éste se desenvuelva en el contexto mesosocial, sea capaz de sumar aliados y logre superar trabas. No obstante, su ruta de ejecución y potencialidad socio-económica depende en gran medida de: a) las condiciones objetivas externas (perspectivas tecnológicas, económicas, de mercado, etc) y b) la conceptualización y planteamientos estratégicos iniciales, que devienen estilo socio-técnico. Es decir, ¿con qué finalidad instala el Gobierno boliviano una planta piloto de baterías (PPB)? y ¿cómo se diseña el proyecto para cumplir tales fines? A partir de aquí, siendo que la PPB se constituye en el *objeto tecnológico* aglutinador de la estrategia de industrialización del litio boliviano, cabe plantearse si ¿existen en el diseño de la PPB ingredientes para avanzar hacia una industrialización soberana del litio? Pero, además, en el contexto mundial, ¿es posible estimar la potencialidad socio-económica del proyecto en clave tanto nacional, como regional?

Justificación

A diferencia de Argentina y Chile, donde la explotación de los salares funciona bajo régimen concesional privado, Bolivia se constituye como el único país del Cono Sur en prohibir las concesiones sobre sus reservas y refundar una empresa pública que procure su industrialización, en base a un proceso autónomo y en función de las propias necesidades sociales (Nacif, 2012). De esta manera, Bolivia apuesta por un control público sobre toda la cadena de valor del litio, hasta la producción de baterías. Las implicaciones de este proyecto son numerosas. No sólo de carácter socio-económico, en términos de generación de ingresos. También, la transformación de un recurso natural en una tecnología de uso social, útil para satisfacer necesidades de almacenamiento energético, imprime coherencia a un mandato constitucional en el que se estipula que los recursos naturales de Bolivia son del pueblo boliviano. Asimismo, encarar la elevada intensidad científico-tecnológica que exige la PPB, es, al mismo tiempo, desafiar el determinismo de los atributos que definen la relación centro-periferia.

Pero, al mismo tiempo, la industrialización del litio tiene potencialidades en la escala regional y global. El giro político que dio la región al comienzo del siglo XXI supuso un replanteo sobre el *modelo productivo* y las políticas en materia de recursos naturales. Si bien el discurso del desarrollo soberano y la industrialización cobraron fuerza en muchos países, los indicadores constatan más bien una tendencia hacia la reprimarización de las economías en todos los países de la región –incluida Bolivia-. A pesar de ello, la estrategia de desarrollo sigue siendo un eje central del debate en la región. Y es que el modelo estado-céntrico fracasó frente a la propuesta neoliberal en el último cuarto del siglo XX, pero ésta tampoco condujo a resultados satisfactorios ni en términos sociales ni tampoco económicos, científicos o tecnológicos. Como respuesta, algunos países de la región, entre ellos Bolivia, parecen haber retomado algunas ideas del pensamiento latinoamericano en ciencia y tecnología como sustento para intentar relanzar una nueva industrialización (Herrera, 1995) En este sentido es sugerente el hecho de que, en su diseño, el

caso del Litio, el Estado boliviano optase por la adquisición de una tecnología de “segunda generación” y, mediante esfuerzos de aprendizaje, estableciese como objetivos prioritarios de la PPB la *desagregación del paquete tecnológico* y la formación y capacitación del personal científico-técnico boliviano.

Bajo un prisma regional, el litio emerge como un recurso natural estratégico por varios motivos: A) el “triángulo del litio” (Argentina, Bolivia y Chile) constituye más de dos tercios de la reserva mundial, de lo que se desprende una potencialidad de la región en la *formación de precios* internacionales (Bruckman, 2013). B) las BdL están son consustanciales a un modelo energético que, tarde o temprano, se impondrá frente al actual –parece improbable que las reservas de petróleo y gas durarán más allá del SXXI. Asimismo, la conciencia ambiental o las restricciones a las emisiones de CO₂ apuntan en esta dirección-. C) las BdL, aun siendo una tecnología madura en varios campos (como el caso de algunas tecnologías de las baterías ión-litio) presentan una intensidad tecnológica que puede servir para catapultar las *capacidades endógenas* en ciencia y tecnología. Por tanto, en el marco del discurso vigente sobre la integración regional, la industrialización del litio podría jugar un importante papel bajo la forma de políticas y acciones coordinadas en esta dirección.

Estructura y estilo del trabajo

La presente tesis está dividida en cinco bloques y diez capítulos, en los cuales se tratará el tema del trabajo desde diferentes perspectivas, marcos teóricos e incluso planos del lenguaje. Mientras que algunos capítulos o subcapítulos están redactados en un tono más formal y académico, en otros se maneja un estilo más informal. En unos casos la forma es analítica y reflexiva, mientras que en otras es crítica, propositiva o descriptiva. Esta mezcla de estilos de escritura responde a una necesidad, en tanto que el manejo de varios marcos teóricos y metodologías de análisis así lo requiere. De este modo, el *Bloque 1: Diseño de la investigación*, introduce en el *Capítulo 1: Propuesta de investigación*, las hipótesis de partida y objetivos que se pretenden alcanzar en el trabajo. Para, a continuación, en el *Capítulo 2: Enfoque metodológico* entrar a discutir la perspectiva metodológica adoptada y las bases sobre las que se apoya el diseño de la investigación. El *Bloque 2: Aspectos teórico-conceptuales* presenta estos aspectos de la investigación a lo largo del *Capítulo 3: Marco teórico* y *Capítulo 4: Estado del Arte*. Al mismo tiempo, ambos capítulos son auto justificativos, en el sentido de que están puestos en relación con preguntas clave vinculadas al tema de estudio, que se irán desarrollando a lo largo del trabajo. No es hasta el *Bloque 3: Baterías de litio y modelo de industrialización en Bolivia* cuando se entra de lleno en el tema de estudio. En primer lugar, en el *Capítulo 5: Panorama de la industria y consideraciones de partida*, se proporciona una visión global del contexto en el cual se insertan las baterías de litio. Aquí, se tratan aspectos como la naturaleza estratégica del litio, especificidades de la tecnología de baterías y las consecuencias asociadas a la selección de unas tecnologías frente a otras. En segundo lugar, una vez esbozado el ecosistema litio, se pasa a describir, en el *Capítulo 6: El proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos*, la conceptualización del proyecto objeto del estudio desde la perspectiva de la Gerencia Nacional de los Recursos Evaporíticos (GNRE). Esto es, el capítulo describe en primera instancia la estrategia explícita de industrialización del litio – la que es difundida públicamente a través de los diferentes medios de comunicación- para después analizar el carácter implícito de esta estrategia y su contingencia.

Sobre la base del diseño de investigación propuesto en el Bloque 1, y habiendo sido descrito el macro contexto del proyecto, el *Bloque 4: La planta piloto de baterías de litio y su entorno (forma teórica)* se acomete la discusión del núcleo central del objeto de análisis: el análisis de la *trayectoria socio-técnica* de la PPB. Para ello, en el *Capítulo 7: Conocimiento y entorno mesosocial*, con el propósito de captar la complejidad que rodea al proyecto, se identifican y describen los grupos sociales más relevantes, el marco regulatorio y las diferentes culturas que impregnan el proyecto. Asimismo, reconociendo el papel fundamental que juegan en la

estabilización del estilo socio-técnico las instituciones responsables del proyecto -la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) y la propia Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE)-, en el *Capítulo 8: El proceso de construcción de la caja negra*, a través de un recorrido histórico por los diferentes momentos del proyecto, desde su concepción hasta su implementación, se vinculan los elementos de diseño del proyecto con el entorno mesosocial, en dos sentidos: como *ensamble socio-técnico* que deviene caja negra y como causalidad que condiciona las posibilidades de que los artefactos –las baterías de litio- se co-construyan socialmente.

Sin embargo, en cuanto a la contingencia del proyecto, no es sólo la forma teórica de la planta, consecuencia de su *trayectoria socio-técnica*, lo que determina aquella. De nuevo el contexto tecno-económico vehicula y condiciona los resultados futuros del proyecto. Para abordar este aspecto, el *Bloque 5: Industria y mercados de baterías de litio (contingencia tecno-económica)* retomamos el análisis del macro-contexto del proyecto, aunque esta vez con un enfoque prospectivo. En tanto que artefacto reificado, parte del éxito de la estrategia de industrialización del litio en Bolivia implica que la futura producción a escala de BdL debe ser capaz de responder a las necesidades del mercado. Así, el *Capítulo 9: Litio y necesidades globales de almacenamiento de energía* busca indagar no sólo cualitativamente sobre las tendencias futuras de esta industria, sino también cuantificar el alcance de aquellas. De este modo, una vez estimados unos escenarios futuros, es posible en el *Capítulo 10: Contingencia regional* dimensionar, a nivel de ingeniería conceptual, las necesidades futuras de almacenamiento en la región. Pero además, a partir de éstas, y siendo conocida la cadena de valor del litio, las necesidades de otras agrupaciones industriales también pueden ser estimadas. De ello, la contingencia tecno-económica encerrada en la PPB se expresa en las necesidades futuras que convierten al litio en una poderosa herramienta para la integración regional.

A pesar de que el periodo de estudio abarca desde los orígenes del proyecto hasta la puesta en marcha de la PPB, habiendo tenido la oportunidad de visitar la PPB a posteriori, se ha estimado oportuno incluir algo al respecto. De este modo, la tesis queda cerrada con unas *Notas Ex Post: La apertura de la caja negra*, en las que se discute la situación de la PPB tres años después del arranque de las operaciones.

BLOQUE 1. Diseño de la investigación

Este primer Bloque 1 está estructurado en dos capítulos. En el primero, el tema de investigación, las hipótesis y los objetivos planteados configuran la propuesta de investigación la cual, a continuación, en el segundo capítulo, será perfilada desde el punto de vista metodológico. El problema de adoptar un recorte espacio-temporal y una perspectiva adecuada al objeto de análisis se resuelve a través de una combinación metodológica –cuantitativa y cualitativa- que permitirá estudiar, de un lado, la *trayectoria socio-técnica* de la PPB y, de otro, su contingencia. A partir de aquí, se diseña una investigación *ad hoc* para cumplir los objetivos establecidos y se seleccionan las herramientas para las diferentes perspectivas metodológicas que serán adoptadas en los capítulos subsiguientes. De este modo, la *observación participante* y el manejo bibliográfico – y con especial relevancia la revisión de estudios de caso- se revelan clave en el plano cualitativo, mientras que el análisis prospectivo y la operacionalización de variables son la elección para el nivel cuantitativo de la investigación.

Capítulo 1. Propuesta de investigación

1.1 Tema de estudio y unidad de análisis

La cuestión del desarrollo en América Latina, sigue siendo en la actualidad un asunto que suscita controversia. En Bolivia, tras el periodo neoliberal (1985-2005), la nueva agenda política incorporó de modo prioritario la industrialización de los recursos naturales. En este sentido, constituyéndose en la mayor reserva mundial de litio, el Salar de Uyuni representa un caso paradigmático en cuanto a perspectivas 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 tecno-económica 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* (Ver Sección 6.2), 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 (COMIBOL¹) 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, YLB²- diseñó y ejecutó la instalación de una planta piloto³ (PPB) de producción de BdL en la comunidad de La Palca, Potosí, cumpliendo así con la primera etapa de la industrialización de los REB (GNRE, 2013) Al respecto, la industrialización estatal del litio en Bolivia, no sólo pretende la mera agregación de valor y la mejora de la tasa de ganancia, con respecto a la que proporcionaría el tradicional modelo de desarrollo basado en el patrón primario-

¹ La Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) es la empresa pública encargada de fiscalizar y explotar la reserva fiscal minera en Bolivia. Fundada en 1952, recuperó a favor del estado los ricos yacimientos estañíferos que explotaban los “Barones del Estaño”, Patiño, Hoschield y Aramayo. En 1985 fue desmantelada y sus empresas vendidas mediante el célebre DS 21060 que instauró el periodo neoliberal en Bolivia. Durante este periodo la única función que tuvo la COMIBOL fue la de mera empresa administradora de contratos. El presidente Evo Morales no sólo devolvió a COMIBOL las capacidades productivas en el año 2007, también devolvió al pueblo boliviano un emblema de la lucha y la soberanía sobre los recursos naturales. 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 A lo largo de esta tesis se hablará principalmente de la GNRE, puesto que fue ésta la responsable de la PPB a lo largo del periodo de análisis (desde la conceptualización hasta la instalación). No obstante, en algunos casos, para referirse al momento actual o acontecimientos futuros se hablará también de YLB, la empresa conformada en 2017 a través de la Ley 928/2017 para continuar con la industrialización del litio (Ver Capítulo 6).

³ La PPB entró en operación el 17 de febrero de 2014 y tiene una capacidad de producción de 1,500 A.h/día.

exportador. Además, tiene implicaciones en términos de ciencia y tecnología. De este modo, la transformación del litio en productos químicos de mayor valor agregado e, incluso, la fabricación de artefactos tecnológicos, alude a un debate histórico sobre las formas en que se vincula la ciencia y la tecnología con el desarrollo, ejemplificando una *resignificación* contingente de las implicaciones que podría tener la industrialización de este un recurso natural estratégico.

1.2 Hipótesis

Tanto el momento en el cual se plantea la instalación de una planta piloto de manufactura de artefactos de elevada complejidad tecnológica, como la forma mediante la cual el actor responsable de la iniciativa –el Estado boliviano, a través de la GNRE dependiente de la COMIBOL- decide impulsar el proyecto, ponen de manifiesto una voluntad para incidir sobre algunos atributos propios de las periferias dependientes.

- Existe una relación entre las bases conceptuales de la PPB, establecidas durante la etapa de la planificación estratégica del proyecto, y las hipótesis básicas del pensamiento latinoamericano en CyT, correspondientes al *manejo de la tecnología*. Entre otros, a su transferencia, su producción, su apropiación o su uso y las consecuencias que de ello se desprenden. Por tanto, es posible recuperar experiencias pasadas, en tanto que aun tratándose de momentos históricos distintos y/o sectores económicos diferentes, existen elementos comunes a ambos.
- Dentro de esta caracterización del enfoque estratégico, el modo según el cual tuvo lugar la adquisición de la tecnología –una planta piloto en modalidad llave en mano-, así como los propios atributos y funcionalidad que tienen las baterías de litio (BdL) en la actualidad, determinan la evolución de la *trayectoria socio-técnica* de la PPB en términos de la producción de nuevo conocimiento en la planta, acumulación de capacidades internas o la difusión del conocimiento hacia la sociedad y viceversa. A su vez, tanto las relaciones intra-firma (al interior de la GNRE), como la dinámica mesosocial inciden sobre las posibilidades de construcción social de los artefactos, permitiendo o inhibiendo la cristalización de conocimiento socialmente útil en aquellos.
- La propia base tecnológica de las BdL implica una *ventaja comparativa natural* para los poseedores de los recursos naturales que las producen, en tanto que la incorporación de insumos litiados propios en aquellas –consecuencia del desarrollo de la cadena de valor- implica una significativa reducción de costos de producción. En la coyuntura actual, los acumuladores de litio emergen como dispositivos necesarios para acelerar el cambio de la *matriz energética*. Esto no sólo apunta buenas perspectivas económicas, sino que, además, puede ser acicate para impulsar la instauración de un modelo energético más eficiente y sustentable en Bolivia y en la región.

Objetivos y preguntas

Más allá del mero hecho de poder afirmar que Bolivia comienza a dar sus primeros pasos en materia de industrialización, ¿cuáles fueron los planteamientos estratégicos sobre los cuáles se diseñó la planta? La forma particular que puede adquirir un proceso de industrialización y, específicamente, su *trayectoria socio-técnica* se relaciona con las preguntas ¿cómo?, ¿para qué?, ¿quién?, etc, por lo que para poder establecer posibles repercusiones de la industrialización del litio sobre el desarrollo nacional o regional es necesario indagar, tanto sobre las fases iniciales del proyecto –conceptualización, diseño, formulación, etc-, como sobre su alcance y modo de implementación. La característica fundamental que invita a pensar en estos términos es que, a diferencia de un proyecto de industrialización de índole privado, dónde el objetivo viene determinado por la lógica coste-beneficio, en este caso se trata de un proyecto impulsado desde el Estado que trasciende la misma. De ello, y en este caso en particular, el objeto del proyecto cobra una multidimensionalidad que no sólo apunta a la industrialización *per se*, a la mera agregación de valor y a la mejora de la tasa de ganancia con respecto a la que proporcionaría el tradicional

modelo de desarrollo basado en el patrón primario-exportador, sino que tiene implicaciones en términos de ciencia y tecnología y, en última instancia, de desarrollo. La importancia de este proyecto radica en su carácter genuino: mientras que la tendencia en todos los países de la región –incluido Bolivia–, y con independencia de los rasgos del bloque político al que pertenezcan aquellos, es hacia una reprimarización de las economías (Mercado et Al, 2015), con el litio boliviano se pretende la industrialización ¿quedará la iniciativa boliviana como una experiencia aislada o será el comienzo de una nueva senda para el desarrollo industrial en la región? Dada la imposibilidad epistemológica para responder a esta pregunta, a la cual sólo el tiempo podrá dar respuesta, y partiendo de la base de que un modelo productivo de patrón-primario exportador difícilmente deviene en desarrollo, lo que se pretende en esta tesis, a través de una experiencia concreta, es desgarnar algunos elementos que podrían aportar al debate. Porque, en última instancia, el modelo de desarrollo depende de la voluntad política.

Objetivos (General/Específicos)	Preguntas
<u>General:</u> Describir la <i>trayectoria socio-técnica</i> del proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia, a través del estudio de caso de la planta piloto de producción de baterías de litio, para discutir sus posibles impactos en términos sociales, tecnológicos y económicos	¿Puede el proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia aportar al debate regional elementos de reflexión en torno a la posibilidad de desarrollo tecnológico propio, posibles estrategias comunes, alternativas de desarrollo o políticas públicas para el aprovechamiento de RRNN que, como el litio, presentan ventajas comparativas dinámicas?
<u>OE1:</u> En base a las características del diseño de la PPB, los criterios mediante los cuales la tecnología fue seleccionada y adquirida; así como las especificidades del entorno meso-social, analizar las posibilidades de su evolución ulterior, tanto en términos de desarrollo de capacidades endógenas en CyT como de funcionalidad social.	¿De qué manera la <i>trayectoria socio-técnica</i> de la PPB sienta las bases, tanto para la apertura de la caja negra y el posterior desarrollo propio de la tecnología de acumuladores de litio, como para permitir que esta tecnología pueda ser utilizada y resignificada para satisfacer necesidades sociales relacionadas con el acceso a la energía?
<u>OE2:</u> Evaluar, la contingencia tecno-económica encerrada en la planta piloto de baterías de litio a través de análisis prospectivo de mercados. A partir de aquí, aproximar un dimensionado de las necesidades futuras de los elementos que componen la cadena de valor del litio –insumos y baterías–, su potencial económico, así como algunos atributos estratégicos que emergen de esta estimación.	¿En qué medida las contradicciones que enfrenta el actual modelo energético colocan al litio como un recurso natural estratégico? ¿Es posible, en base a las tendencias tecnológicas y de mercado, argumentar que la <i>trayectoria socio-técnica</i> de la PPB encierra una contingencia técnico-económica, en tanto que experiencia útil para transitar hacia un nuevo modelo energético en Bolivia y la región.

Tabla 1: Matriz de objetivos y preguntas de la tesis.

Capítulo 2. Enfoque metodológico

2.1 Perspectiva y abordaje metodológico.

El objeto físico sobre el que se realizará la investigación será la Planta Piloto de producción de baterías de litio, propiedad del estado boliviano. Concretamente, el objeto será analizado en un marco temporal acotado entre la etapa de conceptualización (2010) y el hito del arranque (2014) de la PPB. No obstante, existirán referencias al momento actual en el que se encuentra el proyecto.

La entrada en operación en febrero de 2014 de la planta piloto de baterías de litio, propiedad de la estatal Corporación Minera de Bolivia, supuso un primer paso en la concreción de un imaginario histórico –la industrialización de los recursos naturales- que sintetiza un ideal del pueblo boliviano sobre el desarrollo soberano. Ahora bien, a pesar de que es posible acotar el evento con un hito temporal que permite una división entre “el antes” y “el después”, la PPB es un objeto dinámico que se autoconstruye en el tiempo a través de las relaciones entre los diferentes agentes que lo intersectan, afectando dimensiones políticas, económicas y sociales (Latour, 2005). De esta manera, la precisión que se puede obtener sobre el alcance que tendrá este emprendimiento depende del momento futuro seleccionado para su evaluación: el error cometido en la predicción disminuirá en la medida en que ambos momentos, presente y futuro evaluativo, se vayan acercando y, consecuentemente, la PPB se vaya autodeterminando. Este acercamiento epistemológico supone la elección de un marco temporal acotado que resultará insuficiente para predecir de manera cuantitativa impactos a futuro, pero sí podrá servir para interpretar y dar explicación al hito tecnológico –el arranque de la planta- teniendo en cuenta las singularidades tecnológicas, las consecuencias de algunas decisiones tomadas y la influencia del entorno mesosocial en el que aquel tuvo lugar. En última instancia, este enfoque servirá como instrumento para discutir algunas consecuencias que la PPB podría tener en términos de desarrollo.

Bajo esta perspectiva epistemológica, las técnicas de predicción y análisis se corresponden con dos aproximaciones metodológicas diferentes que convergen en la discusión sobre el alcance de la PPB en un futuro indeterminado. En primer lugar, la comprensión del objeto se puede dar a través de lo analógico, por conocimiento de lo semejante, de manera que la identificación de elementos comunes a otras experiencias similares servirá para enmarcar el devenir de los hechos relacionados con el objeto comparado. Esta epistemología puede ser encarada metodológicamente a través del análisis comparativo entre algunas hipótesis relevantes del pensamiento latinoamericano en ciencia y tecnología, con los planteamientos estratégicos iniciales planteados para la PPB. La justificación de este enfoque responde a una limitación tanto ontológica, asociada al propio dinamismo de la PPB, como metodológica, puesto que tratado de este modo el problema, es posible realizar un recorte temporal lo suficientemente acotado como para permitir su estudio, pero además este momento, el de la planificación estratégica, es aquel en el que se toman las decisiones críticas de las cuales depende la condición de posibilidad del proyecto. Expresado ontológicamente, para que la PPB se constituya en un objeto tecnológico capaz de desencadenar consecuencias en términos de desarrollo, es condición necesaria que esta visión esté incorporada en la planificación estratégica inicial, la cual, por otra parte, tiene como punto de partida la propia conceptualización y posterior creación del objeto de investigación.

En segundo lugar, la base tecnológica de la PPB y su capacidad de producir un bien final de consumo y de alta tecnología, como son las baterías de litio, presenta una serie de especificidades cuyo estudio dará luces sobre potencialidades encerradas en la PPB y posibles consecuencias frente a una eventual liberación. Aun así, a pesar de que la naturaleza contingente y variabilidad de este hecho supone un límite epistemológico, un análisis prospectivo de las coordenadas de los acumuladores de litio en el contexto globalizado servirá para llevar a cabo un acercamiento complementario al estudio del objeto. La prospectiva servirá para relacionar adecuadamente el pasado con el presente combinando conocimientos “a priori” y “a posteriori” mediante procesos deductivo-inductivos y holísticos, para llegar a una proyección acertada sobre el futuro que cabe esperar para el sector de las baterías de litio (IRENA, 2017). De esta manera, aunque los impactos reales no pueden ser cuantificados con un intervalo de confianza aceptable, los órdenes de magnitud y ámbitos concretos sobre los que la PPB podría llegar a tener un impacto real si pueden llegar a ser conocidos a través de la prospectiva.

De este modo, bajo esta doble perspectiva metodológica, el problema queda acotado tanto en tiempo como en alcance. El plano teórico, de carácter más abstracto y cualitativo queda cubierto si el pensamiento latinoamericano en ciencia y tecnología es debidamente contrastado con los

planteamientos estratégicos contenidos en la PPB. Al mismo tiempo, este plano teórico se complementa con un enfoque cuantitativo y de carácter concreto que proviene del análisis prospectivo sobre los acumuladores de litio: sus mercados, su geopolítica, su tecnología, su economía. De ambas perspectivas, se podrá transitar de lo particular encerrado en la PPB, a la general, en este caso probabilístico, para volver a lo particular, en términos del debate sobre los aspectos concretos relacionados con el desarrollo a los que podría aportar la PPB.

En otro plano de análisis, la comprensión del objeto se puede dar a través de, por una parte, el estudio de su *forma teórica* y, de otra, de su *contingencia tecno-económica*. En cuanto a su forma, la PPB, durante el proceso de conceptualización, quedó inserta en un *momento constitutivo* (Zavaleta, 1986) en el que las esferas económicas, políticas y sociales tradicionales fueron severamente cuestionadas y sometidas a un intenso ejercicio de refundación. Desde aquí es pensada la PPB, como instrumento coherente de la “nueva sociedad” ideado para responder a los retos emergentes del nuevo escenario. Sin embargo, su contingencia, como *objeto tecnológico*, está determinada de una parte, por la geopolítica del litio y por la condición natural de Bolivia, como la mayor reserva mundial de litio, y de otra, por la propia utilidad que tiene esta tecnología para la atención de determinadas *necesidades sociales*. La combinación de ambos, la *forma teórica* de la PPB y su *contingencia tecno-económica* se determinan recíprocamente, y de su evolución a lo largo del tiempo dependerá el impacto real que tendrá la PPB para Bolivia.

Este abordaje tiene consecuencias a la hora de seleccionar los paradigmas bajo los que analizará el objeto y, de ello, los métodos y herramientas metodológicas que serán necesarios para llevar a cabo la investigación. Así, la *forma* de la PPB, correspondiente al primer objetivo específico, será analizada atendiendo a un paradigma de tipo interpretativo. Por su parte, la *contingencia tecno-económica* relacionada con el segundo objetivo específico, será abordada bajo un marco paradigmático positivista.

2.2 Diseño de la investigación

Para alcanzar, por tanto, el objetivo general, se propone un diseño para la investigación orientado a elucidar dos dimensiones: la *forma teórica* de la PPB y su *contingencia tecno-económica*.

En primer lugar, la *forma teórica* de la PPB, focalizada en el marco estratégico particular cristalizado en la *trayectoria socio-técnica*, será abordada bajo una perspectiva diacrónica, acotada entre los momentos de la planificación estratégica y el hito tecnológico, e intensiva en términos del análisis, tanto de la relación interna del objeto, como del objeto y la situación contextual. La recolección de la información tendrá lugar haciendo uso de diferentes herramientas metodológicas. Cada una de ellas servirá para revelar los diferentes elementos que componen el objetivo. El pensamiento latinoamericano en ciencia y tecnología, además de constituirse en el núcleo central de la teoría sustantiva sobre la que se asentará esta parte del estudio, ejercerá también como marco referencial para la comparación con el planteamiento estratégico sobre el cual se diseñó la PPB. La manera en que se encarará este análisis será a través del estudio bibliográfico, del cual se extraerán las principales hipótesis y tesis del PLCyT, así como el análisis de estudios de caso de referencia. Estos últimos emergen como herramienta de gran utilidad, puesto que confirman la vinculación entre las decisiones tomadas en las etapas de conceptualización y diseño con consecuencias en la evolución posterior de una determinada *dinámica socio-técnica*. No obstante, serán aquellas reflexiones relacionadas con el pilotaje, la transferencia de tecnología, la producción y difusión del conocimiento, el desarrollo de *capacidades endógenas*, o el uso de la tecnología y su funcionalidad social, entre otras, las que aportarán los elementos clave del análisis. En definitiva, entenderemos que la forma teórica de la PPB interfiere en la forma de apropiación del *valor tecnológico* contenido en las BdL, en tanto que *artefactos capacitantes* que incorporan ciencia y tecnología, y cuya comprensión depende de la apertura de una *caja negra*.

De la parte del objeto comparado, el enfoque estratégico y *trayectoria socio-técnica* del proyecto boliviano serán evaluado mediante: a) análisis documental (documentos oficiales, memorias, prensa escrita, etc) y b) análisis audiovisual (discursos, debates, etc). Para profundizar en la indagación de la realidad, el análisis interpretativo se completará con una información complementaria que buscará conocer el objeto desde la óptica de los diferentes actores relevantes involucrados en la implementación del emprendimiento (GNRE-COMIBOL en sus niveles de responsabilidad, instituciones públicas, altos funcionarios del Estado, comunidades locales, beneficiarios y otros actores sociales) y la forma en que aquellos entienden y conectan el proyecto piloto con el proceso social que vive Bolivia y el contexto en el que éste se está produciendo. Es especialmente importante la forma en que los agentes vinculados organizacionalmente al proyecto se relacionan con él, puesto que cultura y memoria organizacional afectan el desarrollo futuro de la organización (*path dependency*), y de aquí sus posibilidades en el futuro. El relevamiento de esta información parte de la propia experiencia y participación directa en el proyecto piloto boliviano. Gracias a ello será posible incorporar información derivada de un método de investigación flexible, reflexivo y múltiple capaz de captar las particularidades y sutilezas en torno al hito tecnológico –el inicio de operación de la PPB-, el momento anterior de planificación estratégica, así como la trayectoria que conecta y determina ambos momentos.

En segundo lugar, la *contingencia tecno-económica* de la PPB, centrada en un marco estratégico general y de largo plazo, será analizada desde un punto de vista sincrónico y extensivo. Se proyectarán escenarios futuros generales a partir del manejo de datos actuales, asumiendo un elevado grado de incertidumbre y acometiendo suposiciones y simplificaciones a efectos de cálculo. El foco de la observación será externo y, por tanto, con un grado de objetividad más restringido, aunque más neutral en términos de interafección entre la técnica empleada y el fenómeno que se pretende proyectar. Se partirá de la hipótesis de que la PPB es un *objeto tecnológico* inserto en una dinámica global que, a su vez, condiciona la *geopolítica del litio*. En este contexto, es harto improbable que la PPB pueda activar un proceso de transformación de cantidad en calidad, sin embargo, la condición de Bolivia de mayor reserva mundial de litio, además de vértice del “triángulo del litio”, encierra una potencialidad que otorga a la PPB una condición especial y una posición relevante como vehículo para transitar hacia nuevas formas de comprensión de la matriz energética -al menos, a nivel local-. Bajo la misma hipótesis, la PPB, además, incorpora en su dinámica tecnológica una contingencia socio-económica vinculada a la idea de desarrollo. Como *valor de uso*, las baterías de litio sirven para satisfacer necesidades múltiples de acumulación de energía⁴, lo que conecta estos dispositivos con una *función social*. Como *valor de cambio*, son una mercancía de alto valor añadido cuya realización depende del mercado. De aquí, para abordar metodológicamente el estudio de la potencialidad que encierra la PPB en términos socio-económicos se propone un análisis de tipo cuantitativo focalizado en la evaluación de las baterías de litio como *valor de uso* y como *valor de cambio*. Para ello, se operacionalizarán estas dos variables, descomponiéndolas en sus dimensiones más relevantes y en los indicadores correspondientes (Ver reseña metodológica en Anexo 1). De este modo, será posible sustraer elementos que contribuyan al debate sobre los posibles impactos en términos de desarrollo en sus aristas sociales y económicas.

Dado que tanto el proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia, en general, y la PPB, en particular, tienen un carácter dinámico y su alcance sólo podrá ser confirmado en el futuro, con el fin de anticipar esas repercusiones será necesario recurrir a la *prospección*, como técnica epistemológica capaz de proyectar -asumiendo los inevitables errores de predicción-, las tendencias futuras del mercado y la demanda social de las baterías de litio. Bajo este enfoque prospectivo –por ende, de carácter exploratorio-, el problema de investigación

⁴ Desde Wh hasta MWh, es decir, desde el almacenamiento para dispositivos portables y otros microdispositivos, hasta aplicaciones que requieren grandes cantidades de acumulación de energía.

epistemológicamente no puede ser abordado más allá de acometiendo una estimación de los valores de aquello que se desea conocer. Aun reconociendo esta limitación, la prospectiva resulta pertinente, puesto que lo que se busca conocer son tendencias que puedan servir para elucidar el alcance estratégico de la industrialización del litio. Anclado al contexto concreto, además de su conceptualización, la *contingencia tecno-económica* del proyecto se vincula tanto a su potencialidad social, en cuanto valor de uso, como económica, en cuanto valor de cambio. Por consiguiente, reflexionar sobre las posibilidades de la iniciativa del gobierno boliviano requiere proyectar a futuro, aunque sea de modo aproximado, aquellos parámetros relevantes que tienen que ver con la base material del emprendimiento.

En base a esto, y a modo de síntesis, a objeto de explorar el alcance que podría llegar a tener la industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia y su relación con una *trayectoria socio-técnica* concreta, se ha propuesto una aproximación epistemológica orientada a elucidar tanto la *forma teórica*, como la *contingencia tecno-económica* encerrada en la planta piloto de baterías de litio, entendiendo que la PPB es una primera concreción que encierra un potente imaginario del desarrollo nacional: la industrialización soberana de los recursos naturales. Como expresión de una voluntad política y en el momento histórico determinado, la PPB se inserta en un marco estratégico que no sólo abarca su propia conceptualización, o la idea proyectada que se tiene de ella. En realidad, el marco estratégico general se corresponde con una visión más amplia sobre el *desarrollo* y el rol del litio como herramienta para su realización. De esta forma, mientras que la forma teórica de la PPB está más relacionada con un marco estratégico particular –apropiación del valor tecnológico-, la contingencia tecno-económica, aun teniendo expresión en la PPB, es esencialmente relevante para el marco estratégico general –valor de uso y de cambio, funcionalidad social y generación de flujos de caja-.

Por consiguiente, el estudio de ambos atributos, forma teórica y contingencia tecno-económica de la PPB, contará con abordajes metodológicos diferentes capaces de responder a la necesidad de emplear diferentes perspectivas temporales, espaciales o de observación, así como modos de conceptualizar la PPB y la dinámica del proceso de construcción del hito tecnológico. Así, el objetivo general planteado en la investigación se alcanzará mediante la integración metodológica, legitimada por la necesidad de dar respuesta a dos cuestiones diferentes pero interrelacionadas. En base a estos dos abordajes metodológicos será posible en última instancia acometer un proceso de integración metodológica, de tipo complementario, en el que estas dos perspectivas diferentes darán luces sobre dos dimensiones diferentes de la realidad, pero que se complementan en cuanto a las implicaciones que ambas tienen a la hora de evaluar la relación entre la *trayectoria socio-técnica* de la PPB con su potencial transformador.

Objetivos/Abordaje	Unidades de análisis/Capítulos (C)	Técnica/Herramientas
<u>OE1: Forma teórica</u> Valor: Uso y tecnológico Metodología: Cualitativa Paradigma: Interpretativo Periodo: 2009-2014	Objeto: PPB (C6, C8) Entorno microsocioal: GNRE (C6, C7) Entorno mesosocioal (marco legal, Ministerios, COMIBOL...) (C7) Contexto tecno-económico (C5)	<u>Análisis comparativo</u> ✓ Análisis documental y audiovisual. ✓ Estudios de caso ✓ Observación participante
<u>OE2: Contingencia tecno-económica</u> Valor: Uso y cambio Metodología: Cuanti/Cuali Paradigma: Interpretativo Periodo: 2014-Futuro	Objeto proyectado: Path dependancy (C6, C10) Objeto proyectado: Dimensionado de la industria (C10) Contexto tecno-económico (proyectado a futuro) (C9)	<u>Prospectiva</u> ✓ Análisis documental. ✓ Operacionalización de variables. ✓ Proyección de escenarios futuros.

Tabla 2: Resumen del abordaje metodológico

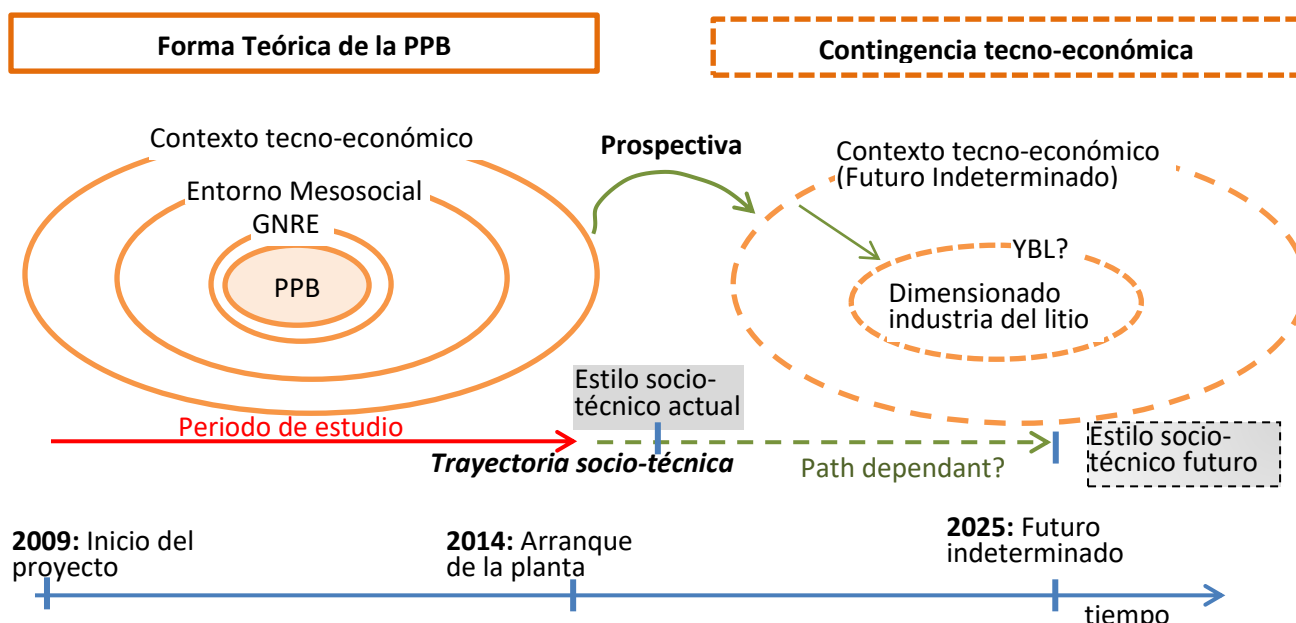


Ilustración 1: Conceptualización metodológica y analítica de la investigación. Fuente: Elaboración propia.

2.3 Disponibilidad de fuentes y observación participante

Las importantes perspectivas económicas que encierra el litio se evidencian en el creciente interés internacional por la explotación del litio boliviano. Por ello, desde numerosos medios de comunicación locales e internacionales se da seguimiento regular al proyecto. Por otra parte, tratándose de un emprendimiento estatal, la propia GNRE publica sus memorias anuales y otros documentos informativos, en el marco de las políticas de transparencia y rendición de cuentas del Gobierno Boliviano (Ver Sección 6.1 para una descripción de la estrategia explícita de industrialización del litio). Sin embargo, no sólo las fuentes secundarias son suficientes para abordar la investigación. La *observación participante*⁵ y el punto de vista de los actores claves serán esenciales para abordar el estudio y poder incorporar *elementos tácitos* adicionales que, en definitiva, constituyen una parte fundamental de las bases conceptuales y estratégicas del proyecto. Esto es, para alcanzar un buen nivel de comprensión sobre el origen y trasfondo de la decisión del gobierno boliviano, es deseable evitar en lo posible las discontinuidades y, al contrario, tratar el proceso de implementación de la PPB como un periodo continuo afectado por la cultura de los grupos sociales involucradas en su desarrollo.

La *observación participante* del investigador emerge como acicate para la realización de la investigación. De manera que, además de todas las fuentes secundarias, disponibles para cualquier científico social, en este caso, el trabajo podrá ser complementado con una valiosa información, proveniente de fuentes primarias, recolectada directamente por el investigador. Tal y como afirma Latour, “el proceso de construcción de un hecho científico es una construcción social, es decir, el producto de sentidos compartidos como resultado de las interacciones en las que entran los sujetos”. Por ello, sólo la observación participante permite captar el conjunto de relaciones sociales y simbólicas que se movilizan en este mundo particular: cómo se juegan las relaciones de poder, las jerarquías al interior de la institución, cómo tiene lugar la búsqueda de aliados, cómo se organiza el espacio en función de los diferentes roles sociales, etcétera. De este modo, el estudio del hito tecnológico que da origen al objeto de investigación, los antecedentes que se corresponden con una fase embrionaria caracterizada por la conceptualización y planificación, así como la *trayectoria socio-técnica* que conecta ambos momentos pueden ser estudiados con precisión y desde una perspectiva integral.

⁵ El investigador fue consultor de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos – COMIBOL durante más de cuatro años -2009-2014- y participó activamente durante las etapas de diseño y planificación estratégica del proyecto de la PPB. Ello propicia que el análisis de los datos codificados pueda ser enriquecido con elementos tácitos adicionales.

BLOQUE 2: Aspectos teórico-conceptuales

En este segundo bloque se tratan los aspectos teórico-conceptuales de la investigación a través de la revisión del marco teórico y del estado del arte. En ambos casos, se ha optado por abordar estos aspectos a través de un enfoque relacional con el tema de estudio, bien articulando preguntas, bien de manera descriptiva o reflexiva. El marco teórico comprende una teoría general, enmarcada en el debate histórico desarrollo-dependencia y sustentada en el pensamiento latinoamericano en ciencia y tecnología. Como teoría sustantiva, se combinan los enfoques modernos de la economía de la innovación y la sociología de la tecnología. En el capítulo del estado del arte se describe, por una parte, la bibliografía actual sobre el tema litio en Bolivia y, en menor extensión, en la región. Por otra, en este capítulo se pone de manifiesto la gran utilidad, tanto epistemológica como metodológica, de acometer un análisis comparado de estudios de caso relevantes en relación al objeto de investigación.

Capítulo 3: Marco teórico

3.1 El debate histórico desarrollo-dependencia

El hecho de que el proyecto de industrialización del litio haya sido impulsado desde el Estado imprime unos rasgos diferentes frente a aquella alternativa en la que el capital y la propiedad de los recursos fueran de carácter privado. Mientras que en un caso la *trayectoria socio-técnica* está condicionada por la lógica coste-beneficio, en el otro, los objetivos del proyecto pueden desbordarla. Es este, al menos desde el plano discursivo, el caso del proyecto boliviano, pues no sólo se trataría de agregar valor a los recursos naturales y aumentar las tasas de ganancia mediante la incorporación y el desarrollo de la tecnología. Lo que se busca, en un contexto regional –incluida la propia Bolivia– de reprimerización de las economías (Mercado et Al, 2015), es la superación del modelo de patrón primario-exportador y, con ello, la histórica dependencia. La industrialización del litio pretende ser un motor económico para el país, pero también la constatación de que el control sobre los recursos naturales y sobre las tecnologías relacionadas a su aprovechamiento es condición necesaria para avanzar hacia un desarrollo soberano.

El debate sobre la dependencia tiene su origen a finales de los 40s, coincidiendo con la aparición de la política de Ciencia y Tecnología⁶. Durante más de treinta años, con aportes multidisciplinares desde todos los países de Latinoamérica la discusión fue profundizada, matizada y enriquecida de manera vigorosa desde diversas perspectivas teóricas. Así, el modelo de Industrialización por Sustitución de Importaciones (ISI), propuesto por la CEPAL y dominante hasta finales de los 70s, fue cuestionado por la Escuela Latinoamericana de Pensamiento sobre Ciencia, Tecnología y Desarrollo (ELAPCYTED). Advirtiendo de sus contradicciones, la ELAPCYTED⁷ enfatizó la necesidad de desarrollar *capacidades endógenas* en ciencia y tecnología orientadas hacia fines concretos⁸. Sobre la premisa de que existe una relación entre el desarrollo económico y social de una sociedad y su desarrollo científico-tecnológico (Cardoso y Faletto, 1969), diversas escuelas y autores abordarían el estudio de la dependencia desde diferentes perspectivas.

⁶ El informe "Ciencia, la frontera sin fin" (Bush, 1945) sienta las bases del modelo lineal de innovación y la política científica moderna. De aquí, los diferentes países van incorporando la ciencia y la tecnología a sus políticas públicas.

⁷ Se conoce a la Escuela Latinoamericana de Pensamiento en Ciencia, Tecnología y Desarrollo (ELAPCYTED) a la corriente de pensamiento surgida en diversos países de América Latina entre los años 1950 y 1970, en torno a la autonomía tecnológica, al desarrollo local y endógeno de la tecnología y a su papel en el proceso de desarrollo integral. Se considera como autores intelectuales de esta "escuela", entre otros, a un grupo de figuras que encabezan Jorge A. Sábato, Helio Jaguaribe, Amílcar Herrera, Oscar Varsavsky, Carlos Martínez Vidal, Javier Urquidí, Francisco Sagasti, Miguel Wionczek y algunos representantes de la CEPAL.

⁸ Si bien el modelo ISI supuso un importante impulso para el conocimiento científico-tecnológico y para el desarrollo industrial, fue la dificultad para "acoplar la infraestructura científico-tecnológica a la estructura productiva de la sociedad" (Herrera, 1995) lo que limitó su alcance.

Desde una óptica económica, el análisis del deterioro continuo de los *términos de intercambio* (Prebich, 1949) anticipó los problemas que de éste se derivarían: caída del salario, desaceleración económica y endeudamiento. A partir de aquí, la escuela estructuralista puso el acento en las relaciones existentes entre la distribución del ingreso y las estructuras socio-económicas (Di Flippo, 2009; Cardoso y Faletto, 1969), como condicionantes de la dependencia, entendida como “una forma de dominación que se pone de manifiesto en que las decisiones que afectan a la producción o al consumo de una economía dada se toman en función de la dinámica y de los intereses de las economías desarrolladas”. En este sentido, ¿en qué medida la modalidad elegida para acceder a la tecnología en el caso boliviano se relaciona a la categoría de dependencia? ¿No es la dificultad para la conquista de nuevos mercados en los países desarrollados por las economías dependientes y la incorporación continua de nuevas unidades de capital externo bajo la forma de tecnología altamente desarrollada, y creada más en función de las necesidades intrínsecas de las economías avanzadas que de las relativamente atrasadas, el cuadro estructural básico de las condiciones económicas de dependencia?

Numerosos trabajos, asimismo, se centraron en analizar el rol del Estado. Su vinculación con el aparato productivo y la infraestructura científico-tecnológica fue extensamente estudiada por Sábato y Botana, (1968) en su “triángulo de interacciones”, cuyos vértices se corresponden con estos tres actores principales en los procesos de cambio técnico (la Industria, la Academia y el Estado). De sus trabajos se desprende que el éxito de una estrategia nacional de innovación requiere del establecimiento de inter-relaciones (al interior de cada vértice del triángulo) y extra-relaciones (entre los tres actores entre sí) ¿Pero de qué depende la articulación de estas intra-inter relaciones? Una respuesta la encontramos en los análisis de Elizaga y Jameson (1996) sobre las diferentes culturas políticas. Los autores establecen cuatro tipos de *culturas* (burocrática, académica, económica y cívica), con rasgos e intereses diferentes, que pueden ser relacionadas con los actores que identificaban Sábato y Botana. Las dificultades para el establecimiento de *diálogos* entre estas culturas limitarían el alcance de estas relaciones. También, las contradicciones entre políticas explícitas e implícitas analizadas en Herrera (1995) afectan a esta articulación entre actores. Las primeras, de corte más populista y en muchos casos ancladas a un marco legal que no siempre es coherente con el proyecto político, quedan ejemplificadas en el discurso industrializador del Gobierno de Evo Morales y su apoyo incontestable al proyecto de industrialización del litio. Sin embargo, las segundas, cortoplacistas y pragmáticas, pero de las que depende en gran medida la realización de las primeras, en muchas ocasiones resultan limitadas. ¿Cómo avanzar en el proceso de industrialización si, a pesar del apoyo desde la jefatura del Estado, la desaduanización, por ejemplo, de equipos resulta una tarea cuasi imposible? Y más aún: ¿Cómo avanzar cuando al interior de la firma cualquier proceso administrativo está mediado por una *cultura de reyes chiquitos* (Rodríguez-Carmona y Aranda, 2014) qué, caracterizada por una marcada divergencia de *lenguajes*, en última instancia desmonta los presupuestos weberianos sobre la racionalidad burocrática?

La PPB, por su parte, es un proyecto de agregación de valor –económico y tecnológico-, por tanto, la *capacidad tecnológica* para su realización constituye la base material del proyecto (Westphal et Al, 1985). No obstante, no es sólo relevante la producción de una mercancía de alta tecnología para su comercialización -y la consecuente generación de ingresos a favor del Estado boliviano-. Además, por una parte, desde el Gobierno se reclama la necesidad de avanzar hacia la *soberanía científico-tecnológica* (Agenda 2025, 2013), lo cual, pasa por tener la capacidad –no sólo material, sino también política- para poder orientar de manera soberana la toma de decisiones en materia de ciencia y tecnología y desarrollo de capacidades (Halty, 2009; Mercado, 2004). Bajo esta afirmación subyace el concepto de “cuestión” planteado por Oszlak y O’Donell (1995) para explicar las causas y consecuencias de las políticas públicas, en este caso la política de industrialización del litio.

Por otro lado, la necesidad social de erradicación de la *pobreza energética* que sufre el país y la región latinoamericana en su conjunto requiere de artefactos tecnológicos capaces de dar solución a esta problemática. En este sentido, el problema general de la dicotomía desarrollo-dependencia queda sustantivizado en los diferentes abordajes sobre la producción y transferencia de tecnología, que servirían en el tercer cuarto del SXX para ampliar el marco de análisis sobre temas como la selección de tecnologías en función de la *utilidad social* (Urquidí, 1962), o el determinismo de las *trayectorias tecnológicas*; cuestionable frente a la posibilidad de desarrollar *estilos tecnológicos* propios (Varsavsky, 1974) acordes con la realización del *proyecto nacional*. Así, medio siglo después, la PPB en Bolivia se constituye como un objeto tecnológico que sintetiza el debate sobre el rol del Estado y de la ciencia y tecnología como instrumento de desarrollo.

Ambos aspectos, *producción y transferencia*, tratados por autores como Sábato (1972) o Halty (1986), tienen consecuencias sobre la *trayectoria socio-técnica*, en tanto que la forma que adquieran estos procesos condiciona el acervo nacional en ciencia y tecnología y el devenir de ésta. De manera que partiendo de una situación de *dependencia tecnológica*, como alternativa al etapismo rostowiano que en última instancia no conduce a la creación de capacidades tecnológicas propias, la ELAPCYTED enfatizaba la necesidad de, como primer paso, intensificar el aprendizaje tecnológico (Katz, 1990).

Para ello, se requiere de *capacidades de asimilación*, que podrían ser adquiridas a través de la desagregación y rearmado de los paquetes tecnológicos (Sábato y Mackenzie, 1981). Esto requiere de condiciones firmes de negociación en las operaciones contractuales de adquisiciones de tecnología, así como posicionamientos firmes en cuanto a cuestiones relativas al uso de licencias, pago de royalties y restricciones a la propiedad intelectual, entre otros. Posteriormente, la adaptación a las necesidades locales permitiría, además de la *apropiación social* de la tecnología, el desarrollo de capacidades para, paulatinamente, ir sustituyendo insumos y equipos del paquete tecnológico por otros de origen nacional (por ejemplo, los electrodos, circuitería, electrolito, etc) Y, por último, si existe un esfuerzo deliberado para ello, por su similitud con cualquier mercancía, la tecnología también podría ser comercializada (Sábato, 1972), lo que pondría de manifiesto el verdadero avance hacia la superación de la *dependencia tecnológica*.

Desde una perspectiva histórica, si el estilo latinoamericano de *resignificación y copia tecnológica* que dominó desde la década de 1930 hasta 1980 tuvo como consecuencia una suerte de “destrucción creadora” para el desarrollo de la innovación local. Sin embargo, la adopción de la agenda neoliberal, a partir de 1980, supuso un enorme quiebre en el proceso de acumulación de conocimiento operado durante las décadas anteriores. Esta *descapitalización tecnológica* contrasta con la recuperación en los albores del SXXI en muchos países, entre ellos Bolivia, de una matriz política estado-céntrica decidida a replantear la estrategia científico tecnológica e industrial. De este modo, se podría hablar de un proceso de evolución dialéctica de *negación de la negación* (Woods y Grant, 2002), según el cual el modelo de industrialización estatal fue sustituido por su homólogo neoliberal, para volver a un modelo estatal *resignificado*. Este último parte de condiciones diferentes a las que existieron en el pasado. Desde las actuales infraestructuras de comunicación (internet), pasando por la composición del propio Gobierno y, en general, por el acervo socio-cultural inherente al proceso histórico. No obstante, en tanto que las acciones sustentadas en las hipótesis de aquellas experiencias anteriores devinieron hechos enmarcados en una relación de causalidad acotada, se puede afirmar que el corpus teórico y analítico allí generado sigue, en gran medida, vigente. En todo caso, este marco teórico, que fue desarrollado *ad hoc* para América Latina y, en general, para las periferias dependientes, cobra aún más contundencia cuando es complementado con las teorías modernas sobre el cambio técnico y la innovación, en la medida en que éstas conforman el estado del arte y, por tanto, ensanchan el conocimiento anterior y lo extrapolan al contexto de la modernidad.

3.2 Los enfoques de la economía de la innovación y la sociología de la tecnología

Desde un punto de vista histórico, la reformulación del desarrollo económico en términos de innovación, introducido por Joseph Schumpeter (1883-1950), supuso una ruptura radical con la teoría neoclásica del desarrollo, según la cual, la tecnología es equiparada con cualquier mercancía y, por tanto, está disponible para los agentes en todo momento sobre la premisa de la información perfecta y la racionalidad en la toma de decisiones (Schumpeter, 1934). Según esta teoría, el progreso técnico se considera independiente de la acumulación de capital, el mundo de la producción es continuo y la tecnología constituye un conocimiento estático, que no requiere procesos de aprendizaje. Para Schumpeter, el motor de la maquinaria capitalista es el proceso de innovación que llevan a cabo las empresas, a través de “nuevas combinaciones de recursos existentes”, en una búsqueda continua de la diferenciación — generalmente a través de innovaciones incrementales- mediante una suerte de proceso de “destrucción creadora”. Conscientes de las limitaciones de la teoría original, las corrientes neoschumpeterianas aceptan la “no transabilidad” de la información e incorporan la incertidumbre como variable intrínseca a la toma de decisiones de los agentes, asignando un rol clave a los procesos de aprendizaje y reconociendo que en la economía moderna el recurso fundamental es el conocimiento –tácito y codificado- y el proceso más importante el aprendizaje (Lall, 1992; Lundvall, 2009).

Empero, estas corrientes presentan algunas limitaciones tanto metodológicas como epistemológicas. Por una parte, las corrientes evolucionistas analizan los procesos de cambio técnico desde una mirada economicista, restringiendo la posibilidad de que el contenido mismo de la tecnología sea tratado como objeto de análisis –lo cual supone una limitación en nuestro caso particular en tanto que el objeto de análisis es la planta piloto de baterías de litio-. Asimismo, estos enfoques separan las variables económicas de aquellas de carácter social o tecnológico, reduciendo los grados de libertad en el análisis. Esto puede resultar útil en algunos casos, pero no en todos. Y especialmente no en aquellos en los cuales el cambio técnico contiene una fuerte impronta social, como es el caso del proyecto boliviano del litio, liderado por el estado e inserto en una sociedad altamente participativa y politizada. De aquí se desprende la necesidad de combinar estos marcos teóricos con otros que incorporen la estructura social como categorías de análisis, a fin de poder captar de manera holística la complejidad del estudio del caso boliviano. De este modo, y fin de evitar caer en líneas mono-causales deterministas - tecno-económicas o sociales- a lo largo de este trabajo se manejarán categorías de análisis y enfoques tanto de la economía neoschumpeteriana de la innovación, como del campo de los estudios sociales de la tecnología.

Es en los trabajos sobre la firma de Nelson y Winter (1974), en los que se argumenta sobre la heterogeneidad y racionalidad limitada de los agentes, o el carácter imperfecto del mercado, donde encontramos los inicios de la economía de la innovación. Estos autores apuntarían la importancia de las rutinas –considerándolas activos específicos de las firmas- como elemento constitutivo de la *memoria organizacional* de la firma, así como el carácter acumulativo de los procesos de aprendizaje, lo cual determina el acervo competencial de la firma. Todo esto determinará la trayectoria que seguirá la firma –*path dependancy*-. Esto es, la historia previa de la firma tiene efectos duraderos sobre lo que la firma puede hacer y las decisiones que puede adoptar. La relevancia de este concepto radica en que la empresa a cargo de la ejecución del proyecto piloto de baterías era la COMIBOL, una empresa histórica –fundada tras la Revolución de 1952 para recuperar la propiedad estatal de los yacimientos mineros- con una fuerte *memoria organizacional*: ¿En qué medida el acervo cultural de la firma se pone de manifiesto durante el proceso de implementación de la PPB?

Por su parte, Bell y Pavitt (1995) incorporando al análisis el elevado componente tácito que tiene la tecnología, proponen dos grandes estrategias de aprendizaje: 1) la adaptación de tecnología importada y 2) la inversión orientada al cambio técnico, las cuales –a nuestro juicio- no tienen por qué ser excluyentes. En realidad, la PPB en Bolivia combina ambas.

En cuanto a la mejora de capacidades al interior de las firmas, el desarrollo de *capacidades dinámicas* para “integrar, construir y reconfigurar competencias internas y externas para lidiar con entornos de cambio tecnológico acelerado” (Teece et al, 1997) y de *capacidades de absorción*, para “reconocer nueva información externa, asimilarla y aplicarla” (Cohen y Levinthal, 1989) expresan objetivos fundamentales de la PPB, en tanto que el proceso de escalamiento –técnico y organizacional- pretende la asimilación del conocimiento externo transferido, así como la creación y reorganización de las competencias internas. Bajo ambos procesos subyace el carácter tácito del conocimiento, difícil de adquirir, y por tanto objeto de esfuerzos específicos para su apropiación, tal y como apunta (Lall, 1992). Dicho de otro modo, la PPB no está segregada de su potencial *valor tecnológico*. En este sentido, (Lundvall (2009) enfatizada la relevancia de los procesos informales de aprendizaje –*learning by doing, learning by using, learning to learn, learning by copy, learning by interacting...*-, los cuales ponen de manifiesto la existencia de esos dos niveles de conocimiento: al interior de la propia firma y en su interacción con el entorno en el que está se desarrolla.

Resulta, por tanto, conveniente destacar los diferentes planos de estudio sobre el conocimiento que han sido trabajados por diversos autores. De una parte, entender la naturaleza del *conocimiento – tácito o codificado-*, descrita en Lundvall y Johnson (1994)⁹, implica el diseño de una estrategia de transferencia de tecnología que incluya también la transferencia de elementos tácitos del conocimiento – *know how-* incorporado en el proceso de manufactura de las BdL. En cuanto a la producción del conocimiento, siguiendo el análisis de los modos de conocimiento¹⁰ descrito en Gibbons et Al (1997), ¿existe y es relevante algún nuevo conocimiento generado en la PPB? Por último, en los que se refiere a la difusión del conocimiento, como operación complementaria al desarrollo de capacidades y los procesos de aprendizaje, encontramos modelos como el triángulo de Sábato, o la triple hélice (Etzkowitz y Webster, 1998) desde una perspectiva del “hacia afuera”. Estos modelos se centran en los actores y culturas políticas (Elizaga y Jameson, 1996) que se relacionan con la firma – gobiernos, laboratorios, sociedad civil...-y los flujos de conocimiento que se establecen entre ellos. Al interior de la firma, la creación y apropiación de conocimiento se articula a través de conversiones itinerantes de conocimientos tácitos y explícitos mediante una secuencia de procesos –socialización, externalización, combinación e internalización- (Nonaka, 1994, citado en Fagerberg, 2003), y es resultado de la interacción dinámica entre los distintos niveles jerárquicos de la organización. De manera que, lejos de ser éste un proceso espontáneo, por el contrario, la *cultura organizativa* de la firma –y su sendero evolutivo- determina el alcance de estos procesos y, de ello, su potencial innovador.

⁹ En función de su carácter tácito o codificado, Lundvall y Johnson (1994) distinguen cuatro tipos de conocimientos. Entre los codificados: 1) el saber qué (*know what*), asimilable a la información o los hechos, y 2) el saber por qué (*know why*) de carácter científico. Ambos tipos de conocimiento se pueden adquirir en el mercado en forma de libros, cursos, bases de datos, etc. En cuanto al conocimiento tácito, 3) el saber cómo (*know-how*), que hace referencia a las destrezas que se adquieren a partir de la experiencia y 4) el saber quién (*know-who*) que involucra información sobre quién sabe sobre una temática, así como también saber quién sabe llevarla a cabo. Pero especialmente, involucra la capacidad social de establecer relaciones con grupos especializados con el fin de aprovechar sus conocimientos. Mientras el elemento codificado del proceso de conocimiento es básicamente transable, el elemento tácito es específico a la firma, no se puede comprar en el mercado y constituye un punto clave en las diferencias tecnológicas y en las ventajas competitivas específicas de las firmas.

¹⁰ Relacionado con un enfoque lineal de la innovación, el modo 1 de producción del conocimiento plantea solucionar problemas desligados de objetivos prácticos. En cambio, el modo 2, enmarcado en una visión interactiva de la innovación, se lleva a cabo en un contexto de aplicación. El modo 1 es disciplinar y homogéneo, a diferencia del modo 2 que es interdisciplinar, heterogéneo. En este último se busca satisfacer una necesidad que es demandada por el mercado, para ello la producción es organizada involucrando actores con experiencia y habilidades diversas que trabajan coordinadamente en el desarrollo de una determinada aplicación. Esto conlleva la conformación de grupos en los que igualmente participan científicos sociales, ingenieros, científicos naturales, abogados, economistas, etc, puesto que el cumplimiento del objetivo así lo requiere (Gibbons et al, 1997).

En base a todo lo anterior, desde la memoria organizacional de la COMIBOL, pasando por el entorno institucional y las culturas existentes tanto al interior como al exterior de la organización, determinan las dinámicas de aprendizaje y la manera en que el conocimiento es producido, difundido y, en última instancia apropiado. Es decir, entender la forma teórica de la PPB requiere de un abordaje sistémico que no sólo contemple al agente institucional responsable del proyecto – la GNRE dependiente de la COMIBOL-, sino que además recoja la complejidad de las interacciones con en el resto de agentes del entorno. Para ello, los trabajos de Freeman (1995), Nelson (1993) o Edquist (1997) sobre los Sistemas Nacionales de Innovación y, especialmente, el análisis de los Sistemas Tecnológicos de Innovación (Carlsson et Al, 1991) serán de utilidad no sólo como enfoques subyacentes en la metodología de análisis, sino también desde el punto de vista propositivo.

Desde otra perspectiva, en tanto que las BdL es un bien final que encierra un *valor de uso* con la capacidad de satisfacer necesidades sociales – como la superación de la pobreza energética, por ejemplo- los enfoques socio-técnicos aportan categorías de análisis de gran valor epistemológico para evitar las distinciones *a priori* entre “lo tecnológico”, “lo social”, “lo económico” y “lo científico” (Thomas, 2008). Como dijimos, los diferentes productos comercializables que producirá Bolivia (insumos primarios derivados del carbonato de litio, materiales de electrodo, etc) se corresponden con las coordenadas de la cadena de valor del litio, en la que aquellos no sólo cumplen el rol de ser mercancías en cuanto valor de cambio comercializables en los mercados internacionales de productores de aplicaciones, sino que además cumplen el rol de valor de uso, pues sirven como insumos de producción para el eslabón siguiente de la cadena. Pero esencialmente, la mercancía correspondiente al último eslabón de la cadena de valor, las baterías de litio, además cumplir ese doble rol de valor de uso y de valor de cambio, en cuanto valor de uso, presenta una capacidad de *resignificación* que se relaciona con el contexto mesosocial en el que surgen y es contingente en su ulterior desarrollo.

En efecto, el proyecto de la PPB pone de manifiesto que “lo técnico es socialmente construido y lo social es tecnológicamente construido” (Bijker, 2008). Esto es, las BdL se co-construyen como consecuencia de la *dinámica socio-técnica* en la que están insertas emergiendo en ella la posibilidad de *flexibilidad interpretativa*: ¿Tienen las BdL producidas por Bolivia un uso unívoco determinado por el paquete tecnológico transferido, o puede el entorno social ensanchar el rango de aplicaciones?

En palabras de Hughes, los análisis sociológicos, tecnocientíficos y económicos están permanentemente entrelazados en un *tejido sin costuras* (Hughes, 1983), 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 y económicas. Esta dimensión política invita a adoptar el enfoque de la Construcción Social de la Tecnología (CST) desarrollada en Pinch y Bijker (2008). Sin embargo, esta perspectiva presenta algunas limitaciones epistemológicas. El carácter público del proyecto boliviano, dota de gran relevancia al modo en que se juegan las relaciones de poder, pero la CST, según han criticado varios autores (Pinch, 1997)¹¹ ignora aquellas relaciones y es “insípida en términos políticos. A fin de integrar algunos de esos elementos de la dimensión política, se incorporarán categorías de análisis de la Teoría del Actor-Red (TAR), propuesta por Latour, Callon, Law, (Callon y Law, 1986; Latour, 1987). De ésta, conceptos como red tecno-económica y su tipología, los actores e intermediarios, *grupos sociales relevantes*, *cierre de controversias*, o

¹¹ En 1984 Pinch y Bijker proveyeron la primera descripción completa de CST. A partir de aquí, la CST ha sido criticada desde diferentes puntos de vista: la jerga de la CST es oscurantista, el planteamiento es muy formulista, existe demasiado énfasis en las etapas de diseño, las relaciones sociales y las estructuras de poder entre los diferentes grupos sociales son ignoradas, entre otras. Los propios autores han discutido y rebatido los argumentos críticos. Es el caso del texto citado de 1997.

el enfoque de *simetría radical* serán útiles para estudiar el proceso de construcción de la caja negra (la instalación y puesta en marcha de la planta piloto de baterías llave en mano). Será de especial interés la *teoría de la traducción* de Callon (1995) donde los procesos de traducción, alineamiento, coordinación y enrolamiento servirán para entender los intereses de algunos actores¹² clave.

Por otro lado, el enfoque socio-técnico de raíz latinoamericana, basado en el análisis de dinámicas y trayectorias de artefactos y firmas, que podemos encontrar en (Thomas, 2008), resulta especialmente conveniente para el caso de análisis. No sólo por la mirada regional que incorpora, sino porque desde el punto de vista teórico conceptual maneja algunas de las categorías que sintetizan el objetivo de este trabajo: *la trayectoria socio-técnica*¹³ de la PPB. Está, a su vez, se encuentra inserta en una dinámica socio-técnica, compuesta por instituciones, políticas, tecnologías racionalidades y formas de construcción ideológica de los actores. ¿Es contingente la *trayectoria socio-técnica* de la PPB a la dinámica en la que se inserta o, por el contrario, la capacidad de perturbar el actor-red está limitada a la acción de algunos ensambles socio-técnicos? Sobre este marco teórico existen algunos estudios de caso interesantes, como el de la *trayectoria socio-técnica* de la motocicleta Puma en la Argentina (Picabea y Thomas, 2011), o el estudio de la exitosa firma Investigación Aplicada - Sociedad del Estado (INVAP S.E.) de Thomas (2008), donde se combina el enfoque de la sociología de la tecnología y de la economía del cambio técnico, retomando conceptos como *estilo*, *adecuación socio-técnica* o *resignificación de tecnologías*. Estos estudios de caso serán revisados a mayor detalle en el próximo capítulo dado el gran número de elementos comunes con el caso boliviano.

No es difícil percatarse que la riqueza encerrada en la reserva litífera boliviana, la mayor del mundo, es objeto de múltiples controversias, tanto en lo que respecta al régimen de propiedad, como sobre la dirección y forma en la cual debe ser encarada la explotación e industrialización del recurso natural: capital trasnacional o empresa pública, pilotaje o producción a gran escala, tecnología de punta o “de segunda”, etcétera. De igual modo, al interior de las instituciones del Estado (Ministerios, Universidades) se pugna por conseguir un espacio relevante dentro del proyecto. No es, sin embargo, el objetivo profundizar en todas estas cuestiones, sino más bien, dejar temas abiertos para futuras investigaciones.

Lo que trataremos a lo largo de esta tesis es sobre como la apropiación del conocimiento tecnológico y su posterior co-creación corresponden a un proceso muy particular de construcción social de las capacidades tecnológicas para la fabricación de baterías de litio (BdL), y como el entorno mesosocial y algunos elementos técnicos y no técnicos condicionan el devenir del proyecto. Para ello, el estudio de la PPB incorpora varios elementos novedosos. De los cuales cabe destacar el papel central que ocupa el proceso de *selección de la tecnología*. Si bien los enfoques económico y sociológico discutidos en este capítulo presentan numerosos puntos de conexión, a

¹² Muchos son los actores (humanos) que pertenecen al actor-red del proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos. Entre ellos tenemos a las empresas trasnacionales, interesadas en la reserva natural o en vender sus bienes y servicios a la GNRE –que tiene a disposición aproximadamente US\$ 900 MM-. El Gobierno boliviano –desde la jefatura del Estado, hasta los funcionarios de múltiples instituciones-, que participan de la gestión administrativa, facilitando o bloqueando el avance del proyecto en función de sus intereses, ideología, pugnas por el poder, rencillas, etc. Universidades, interesadas en captar recursos, participando con su conocimiento. La sociedad civil, como beneficiario de los réditos del emprendimiento, expectante a los resultados del “proyecto estrella” del Gobierno. Sector crítico, que no comulga con el modelo de explotación estatal y presiona para cambiar el modelo de gestión. Estos, por mencionar sólo a algunos que tienen relevancia.

¹³ Tal y como define Thomas (2008), una *trayectoria socio-técnica* es un proceso de co-construcción 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 socio-técnico en particular, en nuestro caso la PPB, este concepto de naturaleza diacrónica permite establecer relaciones causales entre componentes heterogéneos en marcos temporales.

saber, el interés por la apertura de la caja negra, la oposición al modelo lineal de innovación, la dimensión cognitiva de las organizaciones, los procesos de aprendizaje y la raíz tácita del conocimiento o el enfoque sistémico y de redes, a lo largo de esta tesis se mostrará como la elección de unas tecnologías frente a otras emerge como elemento central, en tanto que condiciona la posibilidad de una determinada *trayectoria socio-técnica* que, a su vez, puede perturbar la *dinámica socio-técnica* en la que aquella se inserta

Capítulo 4: Estado de la cuestión

4.1 Estudios actuales sobre el tema litio en Bolivia y la región.

Desde la emergencia del litio como insumo clave para el desarrollo de la industria de baterías, la temática en torno al litio ha cobrado interés, dando lugar a una nutrida bibliografía en sus múltiples dimensiones. Desde una *perspectiva histórica*, existen diferentes trabajos analizando los antecedentes históricos del litio en Bolivia. En (Orellana, 1995), desde un punto de vista crítico, se revisa el contrato fallido con la LITHCO¹⁴ para la explotación del Salar de Uyuni, argumentando que la falta de seguridad jurídica en Bolivia y las restricciones a la repatriación de utilidades que se pretendía imponer a la trasnacional americana fueron motivos clave para que ésta no se instalase finalmente en Bolivia. Esta temática fue abordada, tanto desde la esfera académica, en (Chávez, 1990; Torres, 1990) como institucional, en (Ministerio de Minería y Metalurgia, 1992). En todos ellos se puede apreciar la disconformidad con el hecho de que ninguna iniciativa histórica deviniese en industrialización del litio, con independencia de la forma que pudiera adquirir ésta. Este mismo análisis, pero vinculando el procesos de industrialización del litio a un esquema de desarrollo se puede encontrar en Nacif (2012), donde se cuestiona el carácter fetiche de la industrialización: ¿es el objetivo de la industrialización de los recursos naturales atraer inversión extranjera para generar empleo e incrementar la tributación nacional o, alternativamente, debe aquella cumplir con otros objetivos, como el desarrollo de capacidades o la satisfacción de una necesidad social?.

Desde el contrato fallido con la LITHCO hasta el anuncio en 2008 por el Presidente Morales del plan estatal de industrialización del litio, la cuestión del litio en Bolivia desapareció de la agenda mediática, académica y política. A partir de entonces, ha reaparecido con fuerza. Y es que el hecho de que sea el Estado boliviano el actor principal de industrializar el yacimiento de Uyuni, contrasta con la visión hegemónica sustentada en el régimen concesional privado. De este modo, un gran número de trabajos, y desde diferentes perspectivas, critican y ponen el acento en las limitaciones y deficiencias de la iniciativa boliviana, mientras algún otro destaca sus virtudes. En todo caso, se trata de un tema altamente polarizado sobre el cual es difícil encontrar análisis razonablemente ecuanímenes.

Desde una *perspectiva jurídica*, en (Moreno, 2010), en base al articulado de la Constitución Política del Estado, encontramos un análisis sobre el régimen minero en Bolivia. Y, específicamente, (Claure, 2010) analiza el régimen jurídico del litio en Bolivia, revisando y recopilando los principales Decretos Supremos y Resoluciones Ministeriales relacionadas con el tema. No obstante, cabe destacar que este documento sólo abarca las etapas iniciales del proyecto.

¹⁴ En 1988, el Ministerio de Minería y Metalurgia boliviano invitó a la LITHCO (Lithium Corporation of America) a negociar un contrato para el aprovechamiento de los recursos minerales en áreas seleccionadas del salar Potosino de Uyuni. El borrador del contrato provocó el descontento de la población. Durante meses se sucedieron marchas de protesta, bloqueos y huelgas de hambre hasta que, en mayo de 1990, el nuevo Presidente Paz Zamora desestimó el borrador del contrato, argumentando la violación de una ley que exige una licitación internacional para la explotación de dichos recursos. Se dejó de lado la vía del contrato directo entonces, y se convocó una licitación internacional. La misma LITHCO se la adjudicó, y en febrero de 1992 se firmó un contrato de riesgo compartido entre Bolivia y la empresa. Sin embargo, un año más tarde, la LITHCO abandonó Bolivia tras una modificación en las cláusulas tributarias del contrato por parte del gobierno, trasladándose al Salar del Hombre Muerto, en Argentina.

Textos más actualizados que incorporan un mayor análisis sobre las políticas públicas en torno al litio se pueden encontrar en (Grágeda et al, 2015; Pavlovic, 2015), donde se presenta una revisión crítica del marco legal de la explotación del litio en Chile al tiempo de incorporar propuestas de políticas públicas para avanzar hacia una industrialización con mayor presencia estatal. Por su parte, Echazú, (2015) y Nacif (2012) revisan el marco legal del proyecto boliviano y los antecedentes normativos. Asimismo, Nacif (2015), apoyándose en el análisis legal, realiza un recorrido por la historia del litio en la Argentina, reflexionando sobre el tránsito del litio como reserva pública nacional a concesión privada provincial.

Desde un punto de vista de *las tecnologías productivas*, trabajos como el de (Claros, 2012; Escalera, 2012) proponen modelos alternativos al proceso de evaporación solar propuesto e implementado por YLB. Este grupo de trabajos, coordinados por la Universidad Tomás Frías de Potosí (UTAF), y apoyados por la Universidad de Freiberg (Alemania), respaldados por documentos académicos y tesis doctorales como (Schmidt, 2010; Thelma, 2008) proponen un proceso de concentración de litio en base a conos de evaporación que, si bien podría ser técnicamente interesante, en el fondo adolece de un análisis de costos ajustado a las condiciones del Salar de Uyuni. Pero, además, implícitamente cuestionan el modelo estatal de industrialización sugiriendo que un modelo más apropiado debería tener menos protagonismo del estado y más apoyo de empresas e instituciones internacionales. En cuanto al tema de baterías, en Junio de 2017 la UTAF anunció la firma de un convenio de colaboración con la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) para “avanzar en la formación de recursos humanos en áreas relacionadas a la investigación básica y aplicada sobre almacenamiento de energía, específicamente para el desarrollo y estudio de baterías de ion litio”. No obstante, a comienzos de 2018 no existen avances en este sentido. En cuanto a resultados de investigación, en el XIII Congreso Internacional de Metalurgia y Ciencia de Materiales, celebrado en La Paz en octubre de 2016, los trabajos de Ajpi, (2016) y Leiva y Cabrera, (2015) informan sobre el estado del arte en la síntesis de materiales catódicos para baterías de litio. Asimismo, los trabajos de Gonzales y Quispe (2017) o Cabrera (2017) presentados en el 4° Simposio internacional sobre Litio, Minerales Industriales y Energía, que se realizó en Cochabamba en Septiembre de 2017, ofrecen una panorámica sobre nuevos materiales para baterías y rutas alternativas para la síntesis de electrodos de litio.

En un tono crítico con el proyecto del gobierno boliviano, analistas como Juan Carlos Zuleta Rolando Carvajal (Carvajal, 2010; Zuleta, 2015) o Saúl Escalera –quién criticó la limitada participación de YLB en el 4° Simposio internacional sobre Litio-, llevan escribiendo, desde los inicios del proyecto, numerosas notas cuestionando tanto el enfoque técnico y estratégico del proyecto, como su viabilidad económica. Dos expresiones sintetizan el pensamiento de estos autores: “Bolivia ha perdido el tren del litio” y “Bolivia está reinventando la rueda”. La primera hace referencia a un hipotético análisis de mercado, según el cual el ciclo económico del litio, de fuerte demanda en la actualidad y elevados precios, no tendría una duración muy larga debido: 1) al surgimiento de nuevos emprendimientos que aumentarían la oferta, y 2) a la emergencia de nuevas tecnologías de almacenamiento que no requieran de litio, como las celdas de combustibles –que funcionan con hidrógeno-. La conclusión que se deriva de esto es que al estar la industrialización liderada por el estado es lenta e ineficiente. Para no perder “el tren del litio”, el gobierno debería ceder a una trasnacional con experiencia la explotación del salar. La segunda expresión hace alusión al desarrollo de capacidades propias, las cuales serían un contratiempo para articular un proceso de industrialización acelerada: ¿tiene sentido consumir recursos y tiempo en apropiarse de una tecnología que ya fue desarrollada en otro lugar del globo?

Otro grupo de trabajos en torno a la *dimensión social* del proyecto se pueden encontrar en (Radhuber y Vega, 2012) donde se critica la política desarrollista del gobierno y su contradicción con el discurso de la defensa de la madre tierra. Así, cuestionan la capacidad del gobierno para incorporar las demandas territoriales y, por ende, “ligar sus iniciativas a las estructuras territoriales, económicas y productivas de la región”. En esta línea, Ströbele-Gregor (2012; 2013) realiza una

doble tarea de divulgación: 1) una breve descripción “crítica” del plan de industrialización del litio impulsado por el gobierno de Evo Morales desde 2008; 2) una reflexión valorativa sobre las desigualdades y conflictos que presumiblemente generaría (o incluso ya genera) dicho proyecto. No obstante, más allá de tratarse de un texto crítico propositivo, lo que la autora busca es, bajo el argumento de esas supuestas desigualdades y conflictos en torno al proyecto, justificar la no intervención del Estado en el proyecto de industrialización, al tiempo, de proponer el modelo clásico de industrialización vía empresas transnacionales.

De manera similar, en (Hollender y Shultz, 2010) bajo argumentos medioambientales se llega a conclusiones parecidas. Por una parte, los autores, critican la falta de preocupación por el posible impacto ambiental que podría causar la explotación del Salar de Uyuni, sin tener en cuenta que precisamente es en la etapa piloto en la que se definirá el proceso productivo de obtención de las sales de litio. En la actualidad, el proceso productivo ha sido modificado minimizando la generación de desechos¹⁵. Por otra parte, se cuestionan las posibilidades de alcanzar mercados atractivos, tanto para el carbonato de litio como para las baterías. Sin embargo, al igual que los analistas y autores mencionados anteriormente, es la visión netamente economicista la que gobierna el núcleo de su argumentación: la industrialización del litio se justifica en tanto en cuanto exista un flujo de caja que devuelva jugosas utilidades, más allá de quién controle la tecnología y los procesos productivos. Esta visión no contempla la satisfacción de las necesidades sociales – como la pobreza energética que existe en Bolivia y en la región- como categoría de análisis. Al contrario, el escenario ideal sería aquel en el que Bolivia exportase baterías de litio para vehículos eléctricos al mercado mundial.

Podemos afirmar que la relación entre conflictos sociales, problemática medioambiental vinculada a la minería del litio y viabilidad e impacto económico constituye una temática central del estado del arte. Carbonier y Jimenez (2013) se preguntan si el litio podría impulsar el desarrollo sostenible en Bolivia, respondiéndose que no, dado que “una tecnología apropiada para la extracción del litio en el contexto boliviano es una precondition para ingresar satisfactoriamente en el mercado mundial”. En Analuf (2015) encontramos una reflexión en torno a los impactos socio-ambientales derivados del consumo excesivo de agua y la falta de transparencia en los procesos de consulta a las comunidades afectadas. Con una metodología diferente, Augstburger (2012) plantea diferentes escenarios posibles de la industrialización del litio concluyendo que hablar de “explotación sostenible es un oxímoron”, puesto que el balance energético del sistema –cuantificado para cinco escenarios diferentes- siempre empeora por la acción del hombre. En base a un análisis del impacto económico en la región, Poveda (2014) critica como la industrialización del litio impactará negativamente en otras actividades económicas de la región (cultivo de quinoa, pastoreo, turismo), pero, además, critica que aquella no deja de responder a una lógica de acumulación capitalista que subvertirá las actividades productivas tradicionales. En cuanto al desarrollo de baterías de litio, el autor no va más allá de afirmar que “no comprende [la GNRE] que ésta [la producción de baterías] está ligada a la producción de automóviles, que no se fabrican en Bolivia”, desvinculando las aplicaciones para las que los artefactos son diseñados de sus posibilidades de resignificación y funcionalidad social.

Por su parte, desde instancias gubernamentales se publican documentos que buscan contra argumentar, aclarar o negar las críticas. En esta línea, Montenegro (2015) presenta una serie de resultados experimentales que desmienten algunos datos sobre consumo de agua, volúmenes de desechos y toxicidad. Y en el plano económico, en Montenegro (2014) se presenta una

¹⁵ Si bien es cierto que en un principio la obtención de carbonato de litio por la vía de los cloruros generaba una gran cantidad de desechos, de sulfato de calcio principalmente, durante el periodo de pilotaje este proceso ha sido modificado eliminando prácticamente en su totalidad dichos productos no deseables. En la actualidad, el proceso de concentración de salmuera transcurre en el campo de los sulfatos, que elimina la necesidad del uso de cal y, por tanto, no genera tortas de sulfato de calcio.

aproximación al impacto económico del proyecto desde una óptica de análisis que lleva, precisamente a conclusiones contrarias a las de Poveda (2014)¹⁶. En esta línea, y revestidas por la “objetividad de los datos”, las propias memorias de la GNRE (2011-2016) ejercen de herramienta oficial para intentar justificar que los avances alcanzados por el proyecto no son nada desdeñables.

Tal vez una mirada más constructiva se puede encontrar en el extenso trabajo de Olivera, (2017) en el que se hace un detallado análisis multidimensional del proyecto boliviano. Desde los antecedentes históricos del proyecto, pasando por los mercados globales y tendencias, hasta los actores y gobernanza del proyecto. En este sentido, puesto que “las políticas públicas no siempre están en consonancia con las visiones, creencias, significados colectivos y expectativas de los actores”, el autor, acertadamente, señala el desafío de diseñar una estrategia de intervención que ensanche las sinergias con la región productora, aumentando la comprensión mutua. Sin embargo, en lo que respecta a las etapas de alto valor añadido –baterías de litio-, el autor, aun comprendiendo que se basa en una estrategia de desarrollo de capacidades, al mismo tiempo critica que no existen estudios de mercado rigurosos. Más interesante resulta el apunte que realiza sobre la inexistencia de una cadena de suministro: ¿deberían contener las baterías de litio producidas en Bolivia litio del Salar Uyuni o, en realidad, la procedencia del litio es irrelevante?

Existen, por otro lado, textos en los que se pone el acento en *los avances del proyecto* (Curi, 2011), tanto aciertos, como la creación de un Comité Científico para aglutinar a expertos internacionales en temas de tratamientos de salmueras y baterías de litio, como sus riesgos, de tipo medioambiental, o cumplimiento de compromisos y agenda. Algo más extenso y actualizado en Rodríguez y Aranda, (2014) se presenta un diagnóstico y propuesta de plan de acción sobre las principales cadenas de valor minero-metalúrgico-industriales bolivianas. Entre ellas, se analizan las fortalezas y debilidades de la cadena de valor del litio, *desde la salmuera hasta las baterías*. Un seguimiento a los avances del proyecto se puede encontrar también en Echazú, (2015). En este trabajo –propio del Gerente Nacional de Recursos Evaporíticos de Bolivia y actual Viceministro de Altas Tecnologías Energéticas-, partiendo de los antecedentes del proyecto y la estrategia de industrialización planteada por el Gobierno detalla, para todas las áreas de trabajo (explotación del Salar de Uyuni, producción de baterías de litio, obras civiles, contratos, etc), los avances alcanzados a la fecha. Asimismo, también con vocación oficialista, en las diferentes memorias institucionales de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE, 2011-2016) se pueden encontrar datos concretos de los avances e hitos alcanzados anualmente.

Otros documentos abordan también el seguimiento del proyecto desde *la óptica del funcionamiento de la empresa pública*. Con una argumentación crítica, (Arias, 2011) cuestiona en base a datos económicos el modelo de Empresa Pública Nacional Estratégica con atribuciones productivas –como la COMIBOL, que recupera su rol productivo a partir de Ley 3720 de 2008-. La visión contraria la encontramos en García Linera (2012) –Vicepresidente del Estado Plurinacional de Bolivia-, texto de publicación oficial en defensa de la COMIBOL y su rol histórico en la recuperación de la soberanía sobre los recursos mineros.

¹⁶ El informe Un presente sin futuro. El proyecto de industrialización del litio en Bolivia publicado en 2014 por el Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA) generó una gran controversia. El Ing. Juan Carlos Montenegro, actual Gerente de Yacimientos de Litio Bolivianos, participó de la publicación con un artículo sobre la contingencia económica del proyecto. Sin embargo, el Ing. Montenegro, tal y como manifestó en una nota dirigida Javier Gómez Aguilar, Director Ejecutivo de CEDLA, no fue informado sobre el título del informe, el cual “refleja un preconcepto que no lo comparto y que no refleja el contenido de mi posición expresada en la investigación a mi cargo”, indicaba el Ing. Montenegro. Asimismo, el Ing. Montenegro denunció que numerosos datos técnicos eran erróneos, como afirmar que la GNRE adoptaría la vía de los cloruros –problemática por la generación de grandes cantidades de residuos-, para la producción de carbonato de litio, cuando en realidad, ya se había informado públicamente de que la ruta productiva sería mediante el uso de los sulfatos.

La *dimensión formativa y la necesidad de vinculación académica* como condición necesaria para el desarrollo de la cadena de valor del litio se puede encontrar en González, (2015), donde se recogen diferentes iniciativas institucionales (creación de centros de investigación, programas de formación, etc), así como un glosario de centros argentinos involucrados en el tema litio y sus líneas de trabajo. Más orientado a las necesidades de formación de recursos humanos, en Choque et Al (2011) se puede encontrar un trabajo de identificación de líneas estratégicas (química básica, baterías, etc) y el correspondiente mapeo de actores institucionales en Bolivia capaz de atender las necesidades teórico-experimentales tipificadas.

Otro grupo de textos con conforman el estado del arte tiene que ver con el análisis sobre el *contexto del litio*, sus tendencias y las oportunidades que de ello se derivan para la región. Una reflexión, en este sentido, sobre la geopolítica del litio y su potencialidad para la integración regional se puede encontrar en Bruckmann (2013,2015), quién defiende el rol potencial del litio para profundizar en la integración regional. El hecho de que la región concentre más de 2/3 de la reserva mundial de litio supone una oportunidad estratégica no sólo para trazar acciones coordinadas, como la formación de los precios internacionales (Bruckmann, 2013), sino también para articular políticas de ciencia y tecnología en torno al litio que puedan servir para integrar a la región al tiempo de profundizar en la soberanía tecnológica. En una línea similar, aunque sin centrarse específicamente en el caso del litio, Pérez (2010) propone una estrategia para dinamizar el desarrollo en América Latina aprovechando las oportunidades específicas del contexto actual y las ventajas que ofrece la región, consecuencia de la riqueza en recursos naturales. La autora analiza brevemente las características de la globalización y los rasgos del paradigma tecno-económico de la revolución de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs), para definir las nuevas posibilidades de mercado, de posicionamiento en redes globales y de opciones tecnológicas. Mercado y Córdova (2015), asimismo, abordan el tema evidenciando la incipiente transición tecno-económica que está teniendo lugar fruto de las transformaciones disruptivas que están sufriendo los sistemas tecnológicos de baterías de litio. Los autores lamentan que frente a la posibilidad de articular sinergias y adquirir un rol protagónico a escala global, la falta de acciones coordinadas a escala regional –como la creación de laboratorios virtuales o la creación de instrumentos financieros y legales-, condena a la región a convertirse en adoptantes tardíos.

También en clave regional, Nacif (2013), poniendo el foco en la estructura de la propiedad, presenta un estudio comparado de los modelos productivos en Argentina, Bolivia y Chile. De estos trabajos se desprende que la propiedad del recurso –estatal frente al modelo de concesiones privadas- condiciona las posibilidades y la forma que adquieren los procesos de industrialización y su contrapartida en el desarrollo de capacidades.

Merece la pena mencionar los trabajos de Freiburger (2014,2015) en los que el proyecto del litio boliviano es pensado como una “entidad” (*entity*) a la que se le pueden asociar prácticas, usos y significados. Con un enfoque de *filosofía de la ciencia*, el autor describe y analiza las formas, materialidades y significados vinculados “el evento” del “conocimiento propio”. Asimismo, las controversias políticas en torno al litio son tratadas en Freiburger (2015) en base a las características de ese “subsuelo político” en el que entendimiento y no entendimiento transcurre a la vez al interior del proyecto. Estos enfoques, como se verá más adelante, están relacionados con el concepto de soberanía científica y con la teoría de las culturas políticas elaborada por Elizaga y Jameson (1996), que se manejará a lo largo de esta tesis.

En base a lo anterior, se puede afirmar que la una nutrida bibliografía sobre el tema de litio y, específicamente, sobre el litio en Bolivia, aborda diferentes aspectos relevantes y consustanciales a la propia *trayectoria socio-técnica* de la PPB. Asimismo, se evidencia que las condiciones objetivas del proyecto –una iniciativa Estatal que pretende industrializar la mayor reserva de litio del mundo en un contexto de demanda creciente de litio- condicionan gran parte de la literatura sobre el tema, llevándolo a posiciones antagónicas: a favor o en contra. El argumentario sobre el

cual se articula la crítica por parte de los detractores del proyecto y la réplica o defensa del mismo es variado. Desde complejos análisis econométricos, como en Poveda (2014), escenarios de explotación del litio (Augstburger, 2012) que demostrarían la falta de sostenibilidad ambiental del proyecto, hasta otros con enfoque sociológico (Ströbele-Gregor, 2012; 2013) o de carácter técnico (Claros, 2012; Escalera, 2012), etc. En todo caso, es importante hacer notar que todos los trabajos que conforman el estado del arte se centran en las Fases I y II del proyecto, es decir, en el análisis de la explotación del Salar de Uyuni, quedando de este modo el tema de las baterías de litio (Fase III) relegado a un segundo plano del debate. Son dos los motivos principales que explican esta preponderancia de análisis sobre las etapas ubicadas en el *upstream* -aguas arriba- del proyecto.

El primero tiene que ver con el interés geopolítico de las grandes firmas por el recurso natural. No en vano los diferentes memorándums de entendimiento (MdE) firmados con grandes consorcios transnacionales¹⁷ no han devenido desarrollos concretos porque en todos los casos la instalación de plantas de baterías o materiales catódicos estaba ligada tácitamente –desde el punto de vista de los intereses de las empresas- a la participación de éstas en la explotación del Salar de Uyuni ¿Qué interés podría tener a una gran firma con conocimiento y capacidad para producir baterías de litio para transferir su tecnología a Bolivia? Y es que en el contexto de cambio de paradigma tecno-económico facilitado por la tecnología de acumuladores de litio, más que ceder su tecnología a los países poseedores del recurso natural, resulta más conveniente para las grandes empresas del sector –minerías, automotrices, dispositivos electrónicos, etc-, asegurar el control del litio como materia prima. Y para muchas de ellas, la mejor opción es la integración vertical de su cadena de suministro, controlar la producción en los salares¹⁸. De este modo, bien sea por cuestiones ideológicas o económicas¹⁹, gran parte de la literatura del tema se centra en cuestionar un modelo de industrialización que bloquea la participación de grandes consorcios transnacionales en la explotación de un recurso natural estratégico.

Un segundo motivo por el cual no hay estudios detallados sobre la Fase III (avance en la cadena de valor) del proyecto de litio boliviano tiene que ver con el perfil bajo que ha adoptado YBL en la difusión de los resultados y enfoque estratégico. Puesto que una estrategia de desarrollo de capacidades endógenas en ciencia y tecnología no devuelve utilidades de manera inmediata, más bien al contrario, se trata de una inversión, bajo el prisma del *mainstream* economicista, esta estrategia no tiene sentido: Bolivia estaría reinventando la rueda, en palabras del analista Juan Carlos Zuleta (Zuleta, 2015). En respuesta, desde YLB, y aún a costa de muchas críticas por la desinformación y falta de explicaciones, se ha optado por una estrategia “silenciosa”, a fin de quitar presión sobre el equipo encargado de implementar la Fase III.

¹⁷ Durante los primeros años del proyecto, la GNRE, a través del Comité Científicos para la Investigación e Industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia (CCII-REB) firmó números memorándums de entendimiento con grandes trasnacionales. Entre ellos con la JOGMEC (Japan Oil Gas and Mineral Corporation, Japón) (Hidrocarburosbolivia, 2014), la KORES (Korean Resources, Corea del Sur), Citic Guoan (China), VSPC (Very Small Particle Company, Australia), Battery Doctors (EEUU), entre otros. En todos ellos, se aclaraba que la explotación del Salar de Uyuni, por mandato constitucional, sería competencia exclusiva del Estado. Sin embargo, estas firmas, a pesar de que firmaron estos MdE, mantuvieron la presión sobre la GNRE para, de un modo u otro, participar de la explotación del Salar. No habiendo conseguido su objetivo, las cláusulas de los MdE relacionadas con la cooperación tecnológica y el avance conjunto con el Estado boliviano en la cadena de valor quedaron en papel mojado.

¹⁸ Este modelo de integración vertical es precisamente el de empresas como Mitsubishi, que opera en el Salar de Olaroz (Jujui, Argentina) o la francesa Bollere, instalada en el Salar Centenario (Salta, Argentina).

¹⁹ Se puede ver que los trabajos de muchos de los autores críticos con el proyecto del Gobierno boliviano son financiados por organizaciones e instituciones que no comparten la estrategia de 100% estatal. Entre ellos, el analista Juan Carlos Zuleta, uno de los más críticos y con más presencia mediática, trabaja para fondos de inversión (Seeking Alpha) y ha realizado trabajos de consultoría para empresas automotrices. El proceso de obtención de carbonato de litio mediante conos de evaporación, propuesto por la Universidad Tomás Frías de Potosí, fue desarrollado por la Universidad de Minas de Freiberg. La socióloga Ströbele-Gregor es investigadora adjunta de la Universidad Libre de Berlín.

De esta manera, el presente trabajo, centrado en el análisis de la Fase III y, concretamente, el estudio de la planta de baterías de litio, contribuye a ensanchar el conocimiento sobre el proyecto de industrialización del litio en Bolivia. Lo que este trabajo pretende desvelar es el pensamiento estratégico que se esconde detrás de las decisiones que tomó la GNRE y que dieron lugar a la instalación y puesta en marcha de la planta piloto de baterías de litio en La Palca, Potosí. En primera instancia, la conceptualización del proyecto no sólo respondió a un criterio técnico, que se pondría de manifiesto en la tecnología seleccionada y el proceso mediante el cual ésta fue adquirida, sino también a un análisis tanto del entorno mesosocial, como del contexto en que se inserta la economía del litio. En este sentido, a fin de tener una visión más certera sobre ese proceso de toma de decisiones en torno a la estrategia de industrialización del litio, resulta fundamental comprender el potencial tecno-económico que encierra la PPB. Esto es, es necesario abordar el *análisis prospectivo* de la industria de los acumuladores de litio, puesto que la viabilidad de la industrialización del litio en Bolivia está condicionada por variables económicas, la rentabilidad y la dinámica de los mercados. Entender los fundamentos y lineamientos estratégicos del proyecto boliviano requiere conocer las perspectivas tecnológicas, económicas y de mercado sobre las cuales fue diseñado.

Sobre este punto, las dinámicas macroeconómicas de la industria del litio son analizadas por diversas firmas (Signumbox, 2012; Pike Research, 2012; Bloomberg, 2013). En ellas se pueden encontrar datos sobre proyecciones de mercado –oferta y demanda-, análisis de competencia, productos estrella, nuevas aplicaciones de las BdL, tendencias en nuevos materiales y diseños, entre otros. Asimismo, en cuanto al avance hacia un nuevo modelo energético basado en la generación renovable- acumulación, se pueden encontrar informes que tratan el asunto desde diferentes ángulos. Una mirada al problema de la pobreza energética aparece en (CAF-CEPAL, 2013). Alternativamente, (BID, 2014) desarrolla un análisis prospectivo sobre la penetración de las baterías de litio en AL, como dispositivos clave en la *transición energética*. En general, los informes (DOE, 2013; EIA, 2013; OECD-IEA, 2011) presentan una mirada detallada del sector energético mundial a diez años vista.

Ahora bien, puesto que, por un lado, los análisis de la Fase III (industrialización) del proyecto son muy limitados y, por otro, no existe en el estado del arte estudios de caso sobre el litio, cuyo objeto de análisis sea una unidad productiva²⁰, se ha estimado apropiado seleccionar y realizar un análisis comparado de algunos textos y estudios de caso de referencia como herramienta epistemológica útil para abordar el análisis de la *trayectoria socio-técnica* de la PPB planteada en el problema de investigación.

4.2 Temáticas actuales y estudios de caso de referencia

El debate sobre el rol de la ciencia y la tecnología en relación a la dependencia perdió vigor tras el abandono de la ISI, no obstante, en el ámbito de los estudios de la Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS), se continúa abordando esta problemática.

En este sentido, como marco general centrado en las políticas de ciencia, tecnología e innovación en la región, una compilación de textos clave se puede encontrar en Casas y Mercado (2015). Partiendo del hecho de que, a pesar de la heterogeneidad existente entre los países de la región, todos comparten un rasgo en común: se trata de países periféricos, los numerosos autores que participan en el texto reflexionan desde diferentes ámbitos sobre el estado actual de las políticas de ciencia y tecnología. En el texto se pretende explicar por qué a pesar de la existencia de

²⁰ La planta piloto de carbonato de litio, desarrollada íntegramente por la GNRE, desde la propia ingeniería de la planta hasta los procesos productivos, constituye un ejemplo paradigmático de desarrollo autónomo. Igualmente, la planta piloto de cloruro de potasio, única en el mundo construida sobre la costra salina de un salar, también edificada sobre la tecnología propia. Sin embargo, llama la atención que no exista a la fecha ningún estudio de caso sobre estas unidades productivas.

instituciones de ciencia y tecnología consolidadas –en algunos casos desde hace más de cuarenta años– las políticas de ciencia y tecnología mantienen una representación marginal en el ámbito de las políticas públicas. En base a ello, los diferentes autores pretenden identificar “algunos de los principales retos y desafíos que se prevén para que las políticas de CTI puedan contribuir a la resolución de los problemas cruciales de nuestros países, e impactar positivamente en el desarrollo de nuestras sociedades” (Casas y Mercado, 2015). Por citar algunos trabajos de especial interés, por su carácter transversal o vinculación específica al tema de investigación, en (Daza-Caicedo et Al, 2015) se preguntan, a través de un evento concreto, la Semana Nacional de la Ciencia y la Tecnología, que tiene lugar en tres países (Brasil, Chile y Colombia) sobre cuáles son las comprensiones de la noción de democratización en las políticas de popularización de la ciencia en general y de la actividad de los Sistemas Nacionales de Innovación en particular. Por su parte, (Mercado et Al, 2015) presentan una serie de indicadores económicos que evidencian que, aun cuando las transformaciones políticas de inicios de siglo delinearon la conformación de dos bloques regionales ideológicamente divergentes, esto no se tradujo en diferencias en la orientación productiva. Al contrario, en ambos bloques se constata una reprimarización de sus economías. En otra línea, en (Casas, 2015), la autora revisa la manera en la cual las políticas de CTI incorporan las dimensiones de pobreza y exclusión social, reflexionando sobre la importancia de la gobernanza y procesos orientados al cambio social.

Por otra parte, más específicamente alineados con el tema de investigación, encontramos numerosos trabajos de raíz latinoamericana que abordan la problemática de la transferencia de tecnología y su relación con la producción y transferencia de conocimiento en el contexto de los países periféricos. En Sábato (2011) encontramos una cuidadosa recopilación de textos emblemáticos en la materia que dan cuenta de la nutrida perspectiva de enfoques y temáticas con los que se ha abordado el tema en la región. Por ejemplo, por mencionar algún texto estrechamente relacionado con la temática de esta tesis, en “*Producción, transferencia y adaptación de tecnología industrial*” del uruguayo Máximo Halty Carrare, mediante un estudio comparado de algunas características de los procesos históricos de transferencia de tecnología llevados a cabo en Europa, Estados Unidos y Japón, el autor resalta el alcance de aquellos y su relación con lo que podría ser una política científico - tecnológica deseable para los países periféricos: ¿Es posible hablar de la existencia de una política de industrialización boliviana generada en torno al proyecto del litio? Algo más centrado en las posibilidades que encierran estos procesos de producción, transferencia y adaptación, en el propio trabajo de Jorge Sábato, “*Empresas y fábricas de tecnología*”, se estudian las características más destacadas de la producción de tecnología, con énfasis especial en mostrar la similitud existente entre producción de mercancías y producción de tecnología. De aquí se desprende que el conocimiento puede ser entendido como una mercancía susceptible a ser comercializada, si existe un esfuerzo deliberado para ello. El enfoque de pilotaje del proyecto boliviano de baterías de litio se enmarca dentro de esta discusión, pues no sólo se trata de la producción de una mercancía de alta tecnología para su comercialización. Además, resulta necesario dar impulso a las capacidades de absorción de conocimiento, así como a la adaptación tecnológica, lo que podría – y sería deseable- conducir, en el futuro, a la incorporación de innovaciones incrementales y, en última instancia, conocimiento tecnológico propio; el cual, por qué no, podría ser también comercializado como tal.

En esta sección, sin embargo, respondiendo a un criterio teórico-metodológico, se ha estimado conveniente la revisión a cierta profundidad de estudios de caso. Siendo que el conocimiento se puede adquirir a través de lo semejante (Kornblitz, 2007), por sus similitudes con el objeto de estudio, los casos aquí seleccionados podríamos considerarlos como de referencia. Es de especial interés, y el rasgo fundamental que justifica la revisión de algunos de estos estudios con anterioridad al abordaje del estudio de caso boliviano, el análisis sobre el rol que cumple el Estado no sólo como articulador de políticas, sino como un actor clave, activo y copártcipe en el proceso de construcción del objeto de análisis y su *trayectoria socio-técnica*.

Nos detendremos, por tanto, en la revisión dos estudios de caso que consideramos aportan valiosos elementos para la reflexión y posterior estudio del caso boliviano.

La motocicleta PUMA: Selección de tecnología y utilidad social.

El primero de ellos, “*Política económica y producción de tecnología en la segunda presidencia peronista. Análisis de la trayectoria socio-técnica de la motocicleta Puma (1952-1955)*”, de Facundo Picabea y Hernán Thomas, corresponde a un interesante estudio de caso, con importantes similitudes²¹ con el caso boliviano, en el que se analiza la trayectoria tecno-productiva de una mercancía de alto contenido tecnológico, entendida y seleccionada en función de su utilidad social. Mediante un abordaje teórico-metodológico de tipo cualitativo –a pesar de que también se presenta un detallado análisis de datos- se triangulan conceptos de economía política y conceptos del enfoque constructivista de la sociología de la tecnología con el fin de comprender como se determinan recíprocamente el desarrollo tecnológico y social, mostrando el carácter social de la tecnología y el carácter tecnológico de la sociedad. Bajo este enfoque, la idea que guía el análisis es la articulación de los niveles micro-macro disolviendo las nociones de objeto y contexto. Atendiendo tanto al artefacto, como a la ideología, a la política y al escenario tecno-económico en el que se produjo dicha tecnología. Para ello, se introducen diversos conceptos y categorías de análisis, como la *trayectoria socio-técnica*, *adecuación socio-técnica*, *estilo socio-técnico* o *resignificación de la tecnología* (Picabea y Thomas, 2011). Finalmente, el análisis se completa con un estudio cuantitativo presentando datos estadísticos en forma de series históricas referentes a producción, ventas, utilidades, empleo, etc, para respaldar la interpretación de los hechos.

En primer lugar, un rasgo común en ambos casos es el punto de partida para la implementación del proyecto: la importación de tecnología extranjera, como base material para desarrollar las capacidades internas. En el caso argentino, la fabricación de la motocicleta implicó procesos de ingeniería reversa y adecuación local de la tecnología imitada, mientras que en Bolivia la planta de producción fue adquirida en modalidad “llave en mano” a una empresa china. A diferencia del proyecto en Bolivia, en la Argentina, se importó el producto acabado, pero no la técnica de producción, no obstante, en ambos casos el objetivo común es el mismo: adquirir las competencias científico-tecnológicas para producir una mercancía –batería de litio y motocicleta- con bienes de capital e insumos fundamentalmente locales. En Bolivia la retroingeniería se aplicará fundamentalmente a los equipos de producción, mientras que en Argentina el desarrollo de la producción tuvo lugar mediante ingeniería directa basada en el proceso de ingeniería reversa sobre el producto. En el plano metodológico, mantiene una traducción permanente de la observación a la interpretación, en una preocupación constante por captar el significado de las acciones: ¿por qué se eligió una motocicleta alemana?

Otro punto que merece la pena comentar se refiere al *estilo socio-técnico*, similar en ambos casos. Según los autores, “la motocicleta, fue causa y consecuencia de las relaciones sociales entre funcionarios, técnicos, obreros, empresarios y usuarios”, creando una alianza socio-técnica que implicó un “proceso de co-construcción entre tecnología y sociedad a través de la interacción de productos, procesos productivos y organizaciones, instituciones, relaciones usuario-productor, ideologías, racionalidades y políticas”. En Bolivia, comienza a ser la batería de litio el artefacto en torno al cual empieza a fraguarse una alianza socio-técnica, con las comunidades aledañas al proyecto, sobre las cuales la planta de baterías no sólo se manifiesta como una caja negra generadora de empleos y flujos económicos, sino como objetivación política de una anhelada industrialización que durante siglos moldeó la subjetividad colectiva. Con todo, en ambos casos

²¹ La motocicleta Puma fue un ejemplo paradigmático de industrialización estatal que, mediante la adquisición y adaptación de una tecnología extranjera (alemana) permitió, gracias a la producción de una motocicleta de bajo costo, el acceso a la movilidad de la clase obrera. El proyecto de baterías de litio en Bolivia pretende, entre otras cosas, aportar en la superación de la pobreza energética a la que está sometida una gran parte de la población rural del país.

se trata del estudio de fenómenos sociales, partiendo del supuesto ontológico de que la realidad se construye socialmente y que, por tanto, no es independiente de los individuos (Kornblitz, 2007), de lo que la estrategia de investigación empleada para estudiar el caso boliviano será la observación de actores en el terreno y la interacción con ellos, como base para la interpretación de los hechos.

Un último aspecto para la reflexión, también relacionado con el estilo socio-técnico, tiene que ver con la perspectiva de usuario. Tanto en Bolivia como en Argentina, al tiempo de priorizar su función social, el producto tiene carácter estratégico desde el punto de vista político y económico. Además de la endogenización de capacidades tecno-productivas, lo cual constituye un valor en sí mismo. Ambas mercancías tienen/tuvieron la capacidad de crear nuevos usuarios cuyas necesidades no son/fueron cubiertas por el mercado. Al igual que los obreros argentinos de los años 40 no podían acceder a la movilidad propia, muchas comunidades en Bolivia no tienen acceso a ningún tipo de suministro eléctrico, de ahí el carácter social y el rol del estado como impulsor de determinados proyectos productivos que, de otro modo, nunca serían implementados por no ajustarse a los parámetros analíticos de la función de producción. La diferencia radica en que, mientras que en el caso de la motocicleta se definía un único usuario y las incidencias económicas eran secundarias -se trataba de cumplir objetivo social-, en el caso de las baterías, el objetivo social es uno entre varios. Esta reflexión, vincula la teoría general (la dependencia), con la teoría sustantiva relativa a la producción, difusión, transferencia, etc de la tecnología industrial.

INVAP: Excelencia científico-tecnológica y organizacional.

El artículo de “*La producción de tecnología nuclear en Argentina: el caso de la empresa INVAP*” Thomas, (2008), a partir de un abordaje teórico-metodológico que triangula conceptos de la sociología de la tecnología y de la economía del cambio técnico analiza la *trayectoria socio-técnica* de la firma Investigación Aplicada - Sociedad del Estado (INVAP S.E.) entre los años 1971 y 2003. El interés de este estudio de caso radica en que la firma constituye un caso singular en América Latina, en el sentido de que, a pesar del contexto político cambiante y escenarios macroeconómicos adversos fue capaz, a lo largo de tres décadas, de a) desarrollar productos intensivos en ciencia y tecnología, b) exportar tecnología incorporada y desincorporada a países, tanto de la periferia como del centro, y c) competir en condiciones de mercado con empresas líderes del sector. Se podría afirmar que, en última instancia, estos son algunos objetivos clave del proyecto de industrialización del litio boliviano y, por tanto, la revisión de este estudio de caso podrá aportar elementos útiles para el análisis deductivo-inductivo sobre la relación existente entre *trayectoria socio-técnica* y resultados conseguidos.

Una de las causas que explican el éxito de la firma fue su capacidad para diversificar la cartera de productos, pasando de un perfil de especialización en tecnología nuclear a otro que adicionaba al anterior la tecnología espacial (satélites, sistemas de navegación, etc). Así, para entender las diferentes dinámicas socio-técnicas en las que se vio envuelta la firma y que, en definitiva, reorientaron su perfil productivo, los autores dividen su *trayectoria socio-técnica* en cuatro fases: 1) Fase I (1971/1976) Antecedentes: el Programa de Investigaciones Aplicadas; 2) Fase II (1976/1984) Conformación de la firma: contratista del Plan Nuclear argentino; 3) Fase III (1984/1991) Reorientación de objetivos: inserción en el mercado externo, y 4) Fase IV (1991/2003) Consolidación y diversificación: apertura del área Espacial.

Esta separación temporal es relevante en la medida en que cada una de estas etapas tienen lugar hitos, que si bien de manera individual no determinaron el estilo socio-técnico actual de la firma, si contribuyeron a su definición. En este punto, cabe destacar la culminación de la Fase I con la adopción de la forma jurídica de Sociedad del Estado. Más allá del proceso de aprendizaje mediante procesos de *learning by doing* orientados al desarrollo de productos (integración de equipos, modelado matemático, etc) para clientes locales, el hecho de poder realizar contrataciones de manera autónoma sentó las bases para alcanzar un cierto grado de *autonomía operacional* (Feenberg, 2008) que le permitiría a la firma articular una gestión resiliente. Gracias a ello y

sumado al carácter reservado de los proyectos del CNEA, como contratista del Plan Nuclear argentino a partir de 1976, INVAP desarrollo un estilo tecnológico autárquico que fue sedimentando en los profesionales de la empresa “un espíritu de cuerpo caracterizado por una fuerte auto-confianza en su capacidad para enfrentar y resolver desafíos tecno-productivos” (Thomas, 2008:551). A pesar de que el CNEA fue prácticamente el único cliente de INVAP en esta Fase II, su apoyo irrestricto no sólo sirvió para aumentar las capacidades inicialmente acumuladas durante la Fase I, sino que además permitió aprendizajes de carácter organizacional, como estrategias de negociación, relacionamiento político-institucional, etc. En definitiva, el acervo de conocimiento multidisciplinar de la firma, adquirido durante esta fase, serviría como trampolín para encarar una Fase III de inserción competitiva en los mercados. En lo que respecta al proyecto de industrialización del litio, cabe destacar la constitución de la empresa Yacimientos de Litio Bolivianos a través de la Ley 928 el 27 de Abril de 2017. Si el proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia, que arrancó en el año 2008 como uno más a cargo de la Corporación Minera de Bolivia, se caracterizó por una autonomía operacional restringida (Ver Capítulo 7), el cambio de forma jurídica apunta hacia un incremento de aquella. Mientras que las decisiones estratégicas, como la asociación con empresas, o de inversión tenían que ser aprobadas por el Directorio de la COMIBOL, la nueva YLB, en tanto que Empresa Pública Nacional Estratégica, es autónoma para tomar estas decisiones.

Volviendo al caso de INVAP, a partir de los '80 los programas de ajuste fueron desmantelando el Programa Nuclear argentino, con la consecuente reducción de presupuestos para el CNEA. En este contexto, INVAP, encaró una estrategia de aprovechamiento de las capacidades acumuladas, “visualizando el mercado internacional como único mercado potencial alternativo” (Ídem: 554). Para ello, se implementaron varias estrategias a diferentes niveles: 1) En el plano tecno-productivo, se acometió una diversificación de la producción, 2) en el organizacional se generó una división administrativa-comercial, 3) en el comercial, comenzó la terciarización de algunas actividades y se fortaleció la red de proveedores internacionales. De este modo, a pesar de que la firma entró en una profunda crisis a partir de 1988²², la estrategia implementada devino resultados altamente positivos. En esta Fase III se realizaron las primeras exportaciones de tecnología incorporada en equipos y plantas llave en mano. Asimismo, en 1988, como resultado de una inspección de las instalaciones de INVAP por parte de la NASA, la empresa recibió una certificación que la acreditaba para desarrollar tareas de diseño y montaje de proyectos espaciales. Además, gracias a las adquisiciones de nuevos proveedores internacionales la firma desplegó un dinámico proceso de *learning by buying*. Fue a partir de entonces, a principios de los '90 que INVAP comenzó a desarrollar proyectos de sistemas satelitales. No sólo por el agotamiento del Plan Nuclear argentino, sino por el decaimiento del mercado nuclear internacional. Es decir, “la diversificación de la oferta respondió a una percepción de la restricción de la demanda” (Ídem: 558). Pero además, a principios de los 90 el proyecto espacial civil argentino recibió un fuerte impulso, reposicionando a INVAP nuevamente como proveedor del estado nacional, para el cual no existían proveedores locales. No obstante, a diferencia de lo que ocurría en la Fase II, cuando el estado nacional era prácticamente el único cliente, la empresa profundizó su estrategia de internacionalización participando en los mercados internacionales, haciendo suya la lección aprendida de las consecuencias de tener como contratista único al estado. Con todo, gracias a ello, a principios de la década del 2000 el área espacial estaba consolidada.

²² A partir de 1984, la firma de sendos contratos con India, Turquía y Rumanía para la venta de equipos se produjo una agresiva expansión del personal de planta (de 605 empleados en 1984 a 1,059 en 1988). Sin embargo, la profundización de los planes de ajuste, a partir de 1988, sumado al cierre de operaciones de la planta de uranio ese mismo año supuso un freno a la expansión de la firma y el inicio de un fuerte proceso de reestructuración. No obstante, fue la inhibición de realizar exportaciones sensibles lo que colocó a la firma en una profunda crisis financiera. En diciembre de 1991 el gobierno ordenó la suspensión de envío de material sensible a Irán, impidiendo el cumplimiento del contrato firmado en 1988 entre INVAP S.E y el gobierno iraní.

A modo de contraste con el proyecto boliviano, en lo que se refiere a la tecnología de baterías de litio, a pesar de que aún no se ha ingresado en la etapa comercial, en la actualidad existen varios proyectos piloto en el ámbito de la electrificación. Asimismo, el *estilo de resignificación y copia* desarrollado mediante la adquisición de la planta piloto de baterías ha permitido profundizar en el conocimiento sobre la tecnología de acumuladores de litio –inexistente cuando arrancó el proyecto- gracias, en primer lugar, a un proceso de *learning by buying*, que creó las condiciones para desplegar procesos de *learning by doing* a través de la operación de la planta.

Partiendo de que una condición necesaria para que INVAP pudiese diversificar satisfactoriamente su producción fue su viabilidad empresarial, una primera clave para entender aquella responde al argumento clásico de la “industria naciente” según el cual, lejos de no crecer respecto a sus competidores internacionales, INVAP fue capaz de consolidarse como una empresa competitiva en el sector (nuclear y espacial). Por otra parte, la acumulación de capacidades organizacionales y tecno-productivas durante las Fases I a III permitió iniciar una nueva Fase IV con la apertura de una nueva línea de productos totalmente diferenciada de la *expertise* previa. Es decir, aquella acumulación “resultó funcional al desarrollo de la capacidad de diversificación de la producción” (*Ídem*: 563) gracias a una dinámica de “aprendizajes cruzados” (lo que se aprende en un campo es funcional a otro²³) y a la habilidad de usar y transformar conocimientos genéricos –*papers* y otra documentación de libre acceso- en específicos mediante prácticas de resignificación de tecnologías

Es destacable, en este sentido, que la producción predominantemente “*in house*” durante las Fases I y II seguida de un proceso de tercerización (outsourcing) resultó apropiado para optimizar el desarrollo de capacidades tecnológicas. Lo primero, para dotar al personal de destrezas para la resolución de problemas complejos de modo autónomo, y lo segundo para reproducir de un modo ampliado el proceso de acumulación interno a través de mecanismos de transferencia de tecnología. Esta combinación de desarrollo autónomo-externalizado tuvo un efecto sinérgico entre procesos de *learning by doing* y *learning by interacting* que contribuyó a desarrollar una ventaja competitiva dentro del sector, tanto nuclear, como satelital: una elevada flexibilidad y adaptabilidad a las necesidades de los clientes (productos *tailor made*). Por último, el cambiante contexto político y económico condujo a la firma por una trayectoria de alta adecuación socio-técnica lo cual, en última instancia, devino la incursión en una nueva área tecno-productiva.

En lo que respecta al caso boliviano, el estadio en el que se encuentra es muy distinto al de INVAP: YLB es una empresa recientemente creada y aún no ha ingresado en la etapa comercial –en el caso de las baterías²⁴-. No obstante, se pueden encontrar rasgos similares al caso de INVAP en su *trayectoria socio-técnica*. Como dijimos, a diferencia de INVAP, la GNRE arrancó el proyecto de la PPB mediante la adquisición de una planta piloto en modalidad “llave en mano”. No obstante, tras la puesta en marcha de la planta, ha tenido lugar un proceso de absorción de capacidades y adecuación socio-técnica: 1) productos diferentes a los contratados –celdas de baja capacidad de 0.8A.h y de alta capacidad 10 A.h- han sido desarrollados, 2) algunos procesos productivos han sido cambiados y otros mejorados 3) los propios técnicos de YLB no sólo se encargan de la reparación y mantenimiento de los equipos, sino que también han diseñado e implementado nuevos equipos de manufactura (Ver Capítulo Notas ex-post). De este modo, es posible afirmar que, al igual que INVAP en sus orígenes, la GNRE combinó la adquisición de tecnología con una fuerte apuesta por el desarrollo autónomo. Sin embargo, ¿son todas las tecnologías funcionales al desarrollo autónomo? O, dicho de otro modo, ¿cómo se vincula la base tecnológica de la planta con la apertura de la caja negra?

²³ En el caso del desarrollo satelital, los responsables de INVAP se dieron cuenta de que no es muy diferente fabricar reactores nucleares que satélites. Los parámetros de seguridad, niveles de calidad, rutinas y prácticas de seguimiento e, inclusive, equipamientos son muy similares.

²⁴ La GNRE comercializó su primer lote de cloruro de potasio (250 Tn) en 2013 y de carbonato de litio (9.6Tn) en 2016. Por tanto, la empresa se encuentra en una etapa de comercialización piloto de las sales primarias.

BLOQUE 3: Baterías de litio y modelo de industrialización en Bolivia

En este Bloque 3 el contexto tecno-económico global y el diseño del proyecto serán tratados. En una primera instancia, se revisan algunos aspectos de la industria del litio, tales como la estructura de la producción y escalas, modalidades de acceso a la tecnología, productos estrella, etc. Asimismo, sobre la base de la tecnología de los acumuladores, se discute la relación existente entre el litio, la matriz energética y las posibilidades de apropiación del conocimiento encerrado en aquellos. En este sentido, se enfatizan las determinaciones asociadas a la selección de una tecnología frente a otra. Discutido el contexto, se pasa de lleno a describir el modelo de industrialización adoptado por Bolivia. Primero, desde un punto de vista de la estrategia explícita anunciada por el gobierno boliviano, se describen las tres fases diseñadas -Fase I: Producción de *commodities* a escala piloto, Fase II: Producción industrial de *commodities* y Fase III: Desarrollo de la cadena de valor-, para, a continuación, reflexionar sobre los aspectos implícitos que encierra esta estrategia, y que sientan las bases para el ulterior desarrollo del proyecto. Esto es, el origen de la *trayectoria socio-técnica* de la PPB y su contingencia están vinculados a los elementos tácitos encerrados en la modalidad de industrialización elegida por Bolivia, y que se discuten en el capítulo 6.

Capítulo 5: Panorama de la industria y consideraciones de partida

5.1 Dimensión y atributos estratégicos de la industria de acumuladores de litio.

Existe un gran número de aplicaciones para el litio²⁵, muchas de ellas conocidas desde comienzos del siglo pasado, sin embargo, desde la década de los 90s las baterías de ión-lito se han consagrado como el sector más dinámico de la economía del litio. La explicación de este hecho tiene que ver con su amplia difusión y rango de aplicaciones²⁶, su creciente demanda y el rápido decrecimiento en sus costos de producción, es decir, con el *paradigma tecnológico* que se conforma a partir de estos dispositivos (Dosi, 1982).

Es posible establecer dos atributos que hacen de las baterías de litio el *valor de uso* más relevante dentro del espectro de aplicaciones. El primero deriva de un aspecto más superficial y pragmático, relacionado con la satisfacción de una necesidad creciente de acumulación de energía, fruto de una demanda social que en la actualidad reconoce la telefonía móvil, las computadoras portátiles y otros dispositivos electrónicos portables como artículos de primera necesidad. En este sentido, a la vista de los avances científicos y técnicos alcanzados en esta materia, en base a los cuales se puede afirmar que a día de hoy muchos subsectores de la industria de baterías de litio son maduros, todo parece indicar que el empleo de vehículos eléctricos se irá instalando en la cotidianeidad a medio y largo plazo. Primero en los países centrales y posteriormente en la periferia, tal y como ha ocurrido con los celulares. Por tanto, se podría decir, en definitiva, que una razón fundamental que hace de las baterías de litio un dispositivo de gran interés es que presentan y presentarán una

²⁵ Algunos campos significativos de aplicación del litio son la metalurgia, empleándose el litio como dopante en aleaciones de aluminio, la química farmacéutica, donde el carbonato de litio de alta pureza es usado para el tratamiento de la esquizofrenia, la química orgánica, en lo que se refiere a los compuestos organolíticos, como el el butil litio (Bu-Li), extensamente empleados en síntesis orgánica, el sector de las grasas y lubricantes a base de litio, sistemas de absorción de humedad, en los cuales ciertos haluros litiados (bromuro de litio, por ejemplo), actúan como absorbente de partículas de agua, intercambiadores de calor, donde sales fundidas de litio, – a través de la focalización de un haz de luz en un campo de espejos solares, ej.- transfieren energía a un flujo de agua cuyo vapor genera electricidad en una turbina.

²⁶ Algunas aplicaciones relevantes de las baterías de litio engloban las militares (submarinos, armamento), aeroespaciales (cohetes, satélites), médicas (marcapasos), herramientas (taladros, cortadoras), transporte (vehículos, motocicletas, buses), back up, (hospitales, laboratorios), electrificación (suministro eléctrico doméstico e industrial), electrónicas de consumo (celulares, laptops), además de relojes, juguetes, linternas, etc.

fuerte demanda. Esta perspectiva de mercado es, evidentemente, de gran relevancia para la región en un momento en el cual existe un amplio debate regional respecto al futuro de la industrialización de litio y así, en este marco de debate, no resulta extraña la asociación directa de las baterías de litio para vehículo eléctrico como el *producto estrella* de la industrialización, puesto que este tipo de batería, por una parte, ejercerá un fuerte efecto tractor sobre la producción, pero además, a la fecha presenta unas excelentes perspectivas en cuanto a su realización futura como mercancía intercambiable de alto valor añadido.

Sin embargo, en un segundo plano y alejado del *mainstream* regional, subyace un debate más profundo y de mucho mayor alcance que merece la pena rescatar, relacionado con la futura matriz energética y el papel que en ésta jugarán los acumuladores de litio. El debate sobre el futuro energético del planeta abarca múltiples temas que engloban la problemática de la sostenibilidad medioambiental, afectada por las ingentes emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la generación eléctrica y la locomoción basada en la combustión interna, la emergencia de nuevas tecnologías, o el inexorable agotamiento de los combustibles fósiles, y derivado de éstas, el cuestionamiento del actual modelo energético. Esta incipiente transición energética se evidencia en el número creciente de instalaciones renovables a nivel mundial²⁷. Aunque no sólo la perspectiva de escasez o el medioambiente son motivos de preocupación. El problema de la producción energética centralizada y, en muchos países, el régimen oligopólico al que se ve sometido el sector está levantando voces, desde Europa y Estados Unidos, a favor de un modelo basado en la descentralización de la producción y en la autogeneración, a través de sistemas de generación renovable acoplados a dispositivos de almacenamiento, y haciendo uso de redes inteligentes operadas mediante las modernas tecnologías de información y comunicación (TICs). Frente a esta situación, desde instituciones supranacionales como la ONU o la UE se están impulsando programas para tomar posiciones de cara a esta problemática, al mismo tiempo que a nivel de estados y corporaciones, se desarrollan proyectos orientados a la promoción de las energías renovables, bajo el supuesto de que este será el nuevo rumbo que tomará el sector energético (referencias).

No obstante, a pesar de que efectivamente existe un debate en torno al cambio de matriz energética, y de la incipiente aparición de proyectos y programas dirigidos a impulsar el modelo renovable, los problemas medioambientales y de escasez no se atisban en el corto plazo y, además, existen fuertes intereses por parte de los grupos económicos ligados al sector tradicional. Entonces, ni los tibios avances alcanzados, ni mucho menos el discurso presentado desde los centros de poder sobre el alcance del problema, permiten entrever el elemento estratégico que supone el control soberano de un recurso natural potencialmente útil para asegurar el abastecimiento energético en el futuro. Si se considera el grado de desarrollo tecnológico alcanzado tanto en materia de acumuladores de litio, como de sistemas de generación a través de fuentes renovables en tan corto periodo de tiempo, es de prever que en un horizonte más o menos cercano una gran parte del abastecimiento energético pueda ser instalado a base de energías renovables²⁸. Y, sin duda, esto será así cuando los combustibles fósiles se hayan extinguido²⁹.

²⁷ En el año 2012, las tecnologías renovables –excluyendo hidroeléctrica de gran capacidad– supusieron el 42% de los 213GW de potencia de generación eléctrica instalados en el mundo, un 36% más que el año anterior. Con una inversión agregada de US\$ 260 miles de millones, de los cuales, el 46% tuvo lugar en las economías de la periferia, las renovables se situaron al nivel de inversión de las tecnologías tradicionales, en las que en este año se invirtieron US\$ 262 miles de millones (referencia).

²⁸ La cuota de energía renovable sobre el total del consumo en la Unión Europea es del 14.1% (promedio comunitario). El objetivo para 2020 es del 20%, sin embargo, algunos países miembros presentan en la actualidad cuotas muy superiores: Suecia (51%), Finlandia (34.3%), Austria (32.1%) (EuropaPress, 2014).

²⁹ En realidad, lo que veremos en los próximos años será una restricción al consumo a la par que una mejora en las tecnologías alternativas. Por ejemplo, si se logra estabilizar las baterías de Litio oxígeno, que ya es casi un hecho, la autonomía de los EV superará los 800 Km.

Empero para la aplicabilidad de estas tecnologías renovables es condición necesaria el uso de artefactos capaces de acumular la energía generada, como vía para estabilizar los picos de oferta y demanda energética. Por consiguiente, el futuro de las energías renovables está indisolublemente ligado al de la acumulación. Siendo esto así, la posesión real de recursos naturales susceptibles de ser transformados en sistemas de acumulación de energía; esto es, el litio, y sumado a la capacidad de, efectivamente, transformarlos en estos sistemas, implica no sólo el dominio de un *commodity* capaz de generar flujo de caja a través de la comercialización en el mercado internacional; sino que, además, supone profundizar en el control soberano del abastecimiento energético. No obstante, tal y como la GNRE planteó el proyecto, dicha *capacidad industrializante* requiere de la concurrencia de múltiples actores decididos y competentes para acometer una *capitalización del conocimiento* (Ben-David, 1974) en sentido amplio. No sólo en cuanto al modo de producirlo y aplicarlo, sino también cómo distribuirlo socialmente.

Muy conscientes de las oportunidades económicas en torno a la acumulación energética basada en el litio, y con el horizonte de viabilidad del actual modelo energético acotado, gobiernos y firmas del sector despliegan sus estrategias geopolíticas y comerciales. Así, mientras que China busca cubrir todo el espectro de aplicaciones, desde las baterías de baja energía para dispositivos portables -rubro en el que es líder mundial-, hasta las de gran capacidad energética, y en ambos casos bajo la lógica de máxima reducción de costos; en Estados Unidos y Europa, se apuesta principalmente por dispositivos de alta capacidad energética, pero bajo criterios de excelencia tecnológica, o Japón y Corea, al igual que China, buscan cubrir un amplio rango de usos pero priorizando la calidad tecnológica como en Europa.

Todo esto, en un contexto de control oligopólico de la producción de carbonato de litio, en el que cuatro empresas se reparten más del 80% de la producción mundial, está dando lugar a una especie de “fiebre del litio” donde grandes empresas de sectores como el automotriz, la electrónica, o la minería, respaldadas por sus gobiernos de origen, despliegan en América Latina una diplomacia de las materias primas con el objetivo de asegurarse el suministro futuro del codiciado elemento. De este modo, los resultados de esta nueva diplomacia se dejan ver en el hecho de que parece haberse instaurado una “moda” en la que las trasnacionales de los sectores relacionados, directa o indirectamente, con el almacenamiento de energía controlan su propio salar bajo régimen concesional minero privado, hasta sumar en la actualidad más de cien proyectos en ejecución para producir carbonato de litio o alguno de sus derivados.

Ante este boom del litio que centra todas las miradas en la Arabia Saudí del litio -como a muchos autores les gusta referirse a la región del Cono Sur donde se encuentran los salares-, algunos de los estados latinoamericanos refundados tras el periodo neoliberal buscan respuesta a la pregunta de cómo encarar la industrialización del litio en América Latina. En concreto, los tres países que integran el triángulo del litio -Argentina, Bolivia y Chile- responden de manera diferente. Así, desde Bolivia se apuesta por una industrialización bajo control estatal, mientras que, en los otros dos países, se opta por el modelo concesional. Desde la Argentina se llegó a plantear -durante el Gobierno de Cristina Kirchner- la creación de una “OPEP” del litio con los otros dos países para proyectar una política común -idea totalmente descartada por el actual gobierno de Mauricio Macri, que no cuestiona la pertinencia del modelo concesional privado gestionado desde las provincias-, mientras en Chile se debate sobre los Contratos Especiales de Operación de Litio, que abren la puerta a nuevos emprendimientos para la explotación de sus salares, y también sobre la pertinencia de eliminar el término “estratégico”, que acompaña al litio. Mientras otros sectores de la sociedad chilena -el Frente Amplio- demandan la nacionalización del litio (CNNChile, 2019).

Sobre los elementos más pragmáticos, en torno a los cuales se articula el debate regional sobre la industrialización del litio latinoamericano, en muchos casos vinculado al potencial valor de cambio de las baterías de litio, cabría añadir algunos más que, tal vez, subordinados a los temas de carácter más mediático, podrían revelarse como clave para plantear esquemas productivos alternativos. Por

las características de esta industria, que engloba la explotación de un recurso natural estratégico, y que por tanto tiene implicaciones geopolíticas, pero también porque se trata de una industria intensiva en ciencia y tecnología, no es posible pensar en la forma de la industrialización independientemente de sus consecuencias sobre el modelo de desarrollo en su conjunto. Partiendo de la base de que por industrialización del litio se entiende, en mayor o menor medida, transformar los *commodities* de litio en productos de mayor valor agregado, y en última instancia en baterías de litio, entonces, el reto de la industrialización incorpora un efecto indirecto, pero de gran relevancia implícito al proceso tecnológico de conversión del carbonato de litio en acumuladores de energía: el *aprendizaje*. Esta capacidad de transformar una materia prima en un producto de alta tecnología requiere de capacidades científico – técnicas, las cuales deben, de algún modo, ser adquiridas. Así, los procesos de *transferencia de conocimiento* –tácito y explícito- y la *capacidad de absorción* de la tecnología condicionan las posibilidades de producción de nuevo conocimiento. Economistas de renombre afirman que frente a la *teoría de la agencia*³⁰ y las políticas convencionales basadas en la eficiencia a corto plazo –que en este caso estarían relacionadas con la lógica primario-exportadora o las transferencias de tecnología intramuros entre filiales y casas matrices-, aquellas que toman una perspectiva de innovación/aprendizaje pueden resultar mucho más rentables en el largo plazo. También estos autores afirman que la rentabilidad promedio para la economía proveniente de proyectos gubernamentales orientados a la *investigación industrial*, es más elevada que cuando estos proyectos son llevados a cabo por el sector privado, dado que los “incentivos privados no se encuentran bien alineados con los beneficios sociales” (Stiglitz, 2014).

Estas afirmaciones invitan inmediatamente a replantear el modelo de industrialización no sólo bajo una perspectiva economicista, sino bajo un enfoque que incorpore en el análisis otras variables relacionadas con el conocimiento. Bajo esta óptica, la dimensión científico-tecnológica se traslada a un plano prioritario, puesto que de otro modo se estaría incurriendo en el error histórico de pensar –o en muchos casos, capciosamente afirmar- que la *dependencia tecnológica* nada tiene que ver con la categoría de periferia. Este enfoque tiene consecuencias directas a la hora de proyectar la industrialización, pues la aceptación de la variable científico tecnológica complejiza la definición de criterios para la *selección de tecnologías*, de los que, en última instancia, resulta la base material del modelo industrial y, de ello, su alcance. Mientras que la aproximación economicista ortodoxa fundamenta la selección de la tecnología en base a la optimización de la función de producción, en un enfoque heterodoxo que considere la ciencia, la tecnología y su *función social*, el proceso de selección se vuelve más complejo. En este caso, la toma de decisiones con respecto a los socios tecnológicos, las escalas de producción, o inclusive, la definición de productos estrella responde a una lógica diferente de la del costo-beneficio.

En base a lo anterior, de lo que se trata en definitiva en este trabajo, es de indagar sobre como diferentes variables de análisis y sus relaciones mutuas en el entorno multidimensional en el que se encuentra inserta la industria de los acumuladores de litio condicionan la trayectoria de industrialización y en qué medida aquellas se encuentran cristalizadas en la propia *trayectoria socio-técnica* de la PPB. Entre ellas, el carácter transversal del *conocimiento* y la interacción entre sus productores y usuarios resulta clave para comprender la naturaleza de los mecanismos de enlace entre los elementos técnicos, los organizacionales y los culturales, sobre los cuales se asienta la contingencia económico-social del proyecto.

³⁰ La titularidad pública constituye la base discursiva de la corriente crítica del proyecto boliviano. Esta disyuntiva en torno a la propiedad queda polarizada entre la esfera ideológica y los argumentos técnicos que sustenta la teoría de la agencia, en favor de una titularidad privada que asignaría los recursos de un modo más eficiente. Si bien su armazón teórico –teoría de la elección pública, económica de la organización, etc- alimenta la idea de que la burocracia o la interferencia del interés político en el ámbito técnico perjudica la eficiencia empresarial, lo mismo ocurre cuando se incorporan variables sociales. En todo caso, este debate intersecta enfoques pragmáticos e ideológicos, y refleja la tensión entre la dinámica de acumulación de capital y una voluntad popular de repensar el rol del Estado.

5.2 Implicaciones de la selección de la tecnología

Llegados a este punto parece que uno de los determinantes clave en la *trayectoria socio-técnica* de la PPB tiene que ver con la *selección de la tecnología* y el proceso mediante la cual tuvo lugar. Pero ¿qué tipo de consideraciones subyacen al proceso de elección de una tecnología y su forma de implementación en el caso del proyecto boliviano?

Los insumos litiados: Participación clave en la estructura de costos.

Mucho se ha avanzado desde que a principios de los 90s la empresa Sony comercializase su primer dispositivo alimentado por baterías de ión-litio, y de ello, la variedad de opciones tecnológicas³¹ que actualmente pueden ser identificadas como preferentes dentro del contexto latinoamericano. De manera que, ante el reto de plantear alternativas para la industrialización del litio, y teniendo en cuenta que las características que tendrá el modelo industrial es función de las decisiones de carácter tecnológico tomadas en el proceso de desarrollo del mismo, entonces, es fundamental considerar el carácter multivariable de los criterios de selección de tecnología, así como la manera en que debe ser encarado este proceso de decisión.

La propia naturaleza tecnológica de las baterías de litio y sus componentes constituye el punto de partida sobre el cual se asienta la ruta de análisis y decisión que dará lugar a un determinado modelo de industrialización. En este sentido, es particularmente de interés para los países que cuentan con grandes reservas de litio detenerse en el análisis de la estructura de costos de las baterías de litio, pues su configuración inherentemente proporciona, a priori, una ventaja comparativa natural con respecto a otros productores. A pesar de que no se puede asignar un porcentaje fijo de la estructura de costos a un componente dado, ya que esto depende de la configuración particular de la batería³², materiales empleados, etc, es posible dar unos rangos aproximados. De esta forma, se tiene que el componente más costoso es el material catódico (40%), seguido del electrolito (20%) y el ánodo (20%), el separador (15%) y resto de componentes (5%) (Nelson, 2009, Gholam-Abbas, 2009)). Para el ensamblado de baterías, adicionalmente, hay que considerar el “sistema de gestión” (BMS) y la carcasa. Por otro lado, dentro de los componentes de las baterías recargables, el litio se encuentra en el cátodo y en el electrolito³³ por tanto, atendiendo a la estructura de costos, aproximadamente el 60% de una celda ión-litio es imputable a elementos constituidos a base de litio. (Gaines y Cuenza, 2000).

La distribución de costos de una celda ión-litio es de gran relevancia, en términos de viabilidad económica, a la hora de plantear alternativas de industrialización en América Latina. Si bien hay que reconocer que las condiciones tecnológicas para pensar en una industria de baterías de litio son desfavorables con respecto a los países especializados en estas tecnologías (Éste Asiático, Europa y EEUU), el hecho de controlar la materia prima esencial para la elaboración de baterías de litio –entendida como aquella que tiene mayor contribución a la estructura de costos de las celdas ión-litio -, supone un factor clave que transforma las posibilidades económicas del proyecto (Ver Sección 10.3) de forma que en un escenario en el que se produjesen los insumos litiados

³¹ Las opciones tecnológicas, en un sentido amplio, hacen referencia tanto a la dimensión científico-técnica, como a la empresarial, siendo que es en ésta última en la que tienen lugar las operaciones de comercialización y transferencia.

³² Una celda es la unidad fundamental de una batería, que se compone de cátodo, ánodo, electrolito, separador y carcasa. El ensamblado de varias celdas implica aumentar el “nivel de integración”, así como la incorporación de un circuito electrónico o “sistema de gestión (BMS)” y una carcasa de seguridad, conformándose de esta forma un “módulo de batería”. El acoplamiento de varios “módulos” constituyen el “paquete de batería”, que es el producto final empleado en vehículos eléctricos y otros dispositivos de almacenamiento masivo.

³³ El litio en una batería ión-litio se encuentra en el cátodo en forma de óxido metálico (LMO, LCO, NCM, NCA, cómo compuestos de uso generalizado) o en forma de fosfato (LFP), asegurando estas estructuras el proceso de intercalación-deintercalación a través del cual opera la batería; asimismo, el electrolito, medio conductor iónico a través del cual los iones de litio se mueven entre los electrodos (ánodo y cátodo), también está compuesto de una sal de litio, típicamente LiPF₆, disuelta en una matriz orgánica líquida, sólida o gelificada.

contenidos en las celdas, a partir del litio contenido en los salares latinoamericanos, se podría producir una suerte de compensación de la limitada capacidad tecnológica boliviana en materia de acumuladores de litio a través de una significativa reducción de costos. La ventaja comparativa que se deriva de la propia naturaleza tecnológica de las baterías de litio sugiere, por tanto, como punto de partida, una potencialidad económica asociada a una alternativa de industrialización que apunte a sacarle beneficio a las ventajas que proporciona la estructura de costos de las celdas ión-litio. Y de ello, la propia *trayectoria socio-técnica* de la PPB.

La optimización de los parámetros característicos

Si partimos de que las BdL son artefactos de elevada intensidad científico- tecnológica, el desarrollo de capacidades de absorción y los procesos de aprendizaje dependerán de manera importante de los criterios según los cuales la tecnología sea 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 será apropiado y producido.

Desde el punto de vista de los parámetros característicos de las BdL, en primer lugar, es necesario destacar la gran variedad de tecnologías para baterías de litio disponibles en la actualidad, tanto en lo referente a calidad como a técnicas de procesado. Para caracterizar una batería existen seis variables esenciales las cuales determinan su naturaleza. Estas seis variables son: 1) Energía específica, 2) Potencia específica, 3) Seguridad, 4) Performance, 5) Ciclabilidad y 6) Costo. (Dinger et al, 2009; Steinweg, 2011), de cuya optimización depende su calidad y nivel de desarrollo científico- tecnológico. Por otro lado, el comportamiento de la batería, y por tanto el desempeño de las variables antes mencionadas, depende del material de electrodo empleado en su producción. Las tecnologías de electrodo que actualmente se usan masivamente y sobre las cuales se pretende la optimización de estos parámetros son: 1) *Lithium Nickel-Cobalt-Aluminium* (NCA), 2) *Lithium Cobalt Oxide* (LCO), 3) *Lithium Nickel Cobalt Manganese* (NCM), 4) *Lithium Manganese Oxide* (LMO), 5) *Lithium Titanate Oxide*, (LTO), 6) *Lithium Iron Phosphate* (LFP) (Dahlin y Strom, 2010) y sus formulaciones derivadas. La realidad, es que ninguna de estas tecnologías es dominante respecto a otra en lo que a desempeño óptimo de las seis variables anteriores se refiere, ya que mientras una presenta buenos resultados para una, dos o varias variables, aún presenta pobres niveles en otras; por tanto, el desarrollo científico-tecnológico busca la optimización de todas estas variables a la vez. De ello, la *selección de una tecnología* que priorice unas variables sobre otras está condicionada por la aplicación para la cual la batería es diseñada, lo que a su vez condiciona su complejidad, en tanto que la *performance* de las baterías es directamente proporcional a la cercanía a la frontera del conocimiento de la tecnología.

De las seis magnitudes a considerar sobre la calidad de la tecnología, cabe destacar el costo de la batería; ya que esta sea, quizás, una de las mayores limitantes para permitir la penetración de los acumuladores de litio en los mercados de competencia. Si bien en la actualidad, dependiendo de la química (LFP, NMC, etc), tecnología empleada para la fabricación de la batería y el rendimiento en la producción, el precio de venta (unidad instalada) oscila entre los US\$ 200 /kWh y US\$ 800 kWh³⁴ (IRENA, 2017), el valor histórico fijado para poder competir con la gasolina es de us\$ 250 /kWh (Axsen, 2008), el cual, atendiendo a la evolución histórica, que muestra la variación de la densidad de energía específica en función del tiempo de forma inversamente proporcional al precio no podrá ser alcanzado, al menos, hasta el año 2020 (Dinger et al, 2009). De igual forma, la entrada masiva en el mercado de sistemas de almacenamiento energético a gran escala ligados a la electrificación, se estima para cuando el costo de inversión de estos sistemas sea inferior a los us\$ 250/kWh (DOE, 2013). Es por esto que los diferentes estudios de mercado coinciden en que un fuerte incremento de la demanda de litio tendrá lugar entre 2020-2025.

³⁴ Aunque los precios medios de baterías Li-ion para VE están aún por encima de los us\$ 250 /kWh, la existencia de productos por debajo de este valor reflejan la creciente penetración de estos vehículos en el mercado

Escalas y tecnologías de producción.

En los últimos años, a la vista del mercado potencial que se abrió desde 1991 (Matsuki y Ozawa, 2009), numerosas empresas comenzaron a invertir en la instalación de plantas industriales para la producción de celdas y baterías ión-litio, sin embargo, tanto las técnicas de producción como los volúmenes no son homogéneos. En cuanto al liderazgo en la producción, aunque los países asiáticos siguen manteniendo el monopolio, la distribución entre estos ha variado. Si en el año 2000 Japón contribuía en más del 90% de la producción mundial, en sólo cuatro años, esta cuota había bajado al 60% y la participación de Corea pasó a ser de un 15% y la de China de un 20%. (Buchmann, 2004). Esta tendencia se ha mantenido, y en la actualidad China ha consolidado su posición como el mayor productor mundial, como resultado de la experiencia acumulada adquirida a través de la copia de tecnología. También han emergido nuevos países productores importantes, como Polonia o EEUU³⁵.

Paralelamente al crecimiento del mercado, tanto el tamaño de las plantas como la tecnología de producción ha ido aumentando y perfeccionándose respectivamente. Aunque aún existen pequeñas plantas de manufactura manual y semiautomática, con capacidades de producción del orden de los miles de amperios-hora por día (Ah/día), las plantas más modernas y automatizadas pueden alcanzar niveles de producción del orden de los millones de Ah/día -las llamadas “Gigafactorias”. Así, se espera que la capacidad global de almacenamiento pase de los 28GWh en 2016 a los 174 GWh en 2020 (BMI, 2019). Consecuentemente, la inversión en I+D+i en los últimos años en las disciplinas en torno a la tecnología de baterías de litio ha evolucionado de igual modo, modificando casi a diario el estado-del-arte.³⁶

Se puede afirmar, por tanto, que en la actualidad existen proveedores de plantas de manufactura con gran versatilidad tecnológica, en escalas de producción y procesos productivos. Esta oferta se ve acompañada de una reducción de costos generalizada para acceder a esta tecnología, lo cual, favorece las condiciones para la instalación de este tipo de industria ligera en países periféricos puesto que, a diferencia de la industria pesada, además de reducirse las barreras de entrada, el problema de las economías de escala se resuelve gracias a la posibilidad de adaptar el tamaño de la producción a las condiciones de mercado a través de un *enfoque de gradualidad de las inversiones* (Rodríguez-Carmona y Aranda, 2014). Éste permitiría, en condiciones de rentabilidad, alcanzar un crecimiento equilibrado entre la oferta y la demanda.

Modalidades de acceso a la tecnología

La heterogeneidad existente en las diversas industrias del sector en cuanto a tamaño, tecnología, mercados y otros se relaciona con la forma que adquiere el modelo de negocio. En este sentido, si bien todas las industrias que producen baterías de litio tienen en común al menos dos aspectos esenciales: 1) depende del suministro de insumos, y por tanto del precio de las materias primas y 2), involucran en mayor o menor grado lo que podríamos denominar alta tecnología. Sin embargo, inherente a estos rasgos característicos, tanto el modelo de negocio como la manera en la que las empresas se relacionan en el mercado supone grandes diferencias. Por una parte, atendiendo a las aplicaciones, se tiene que el mercado de baterías destinado a productos portables, a base de baterías de baja capacidad, está localizado fundamentalmente en China, donde existen grandes industrias con niveles de producción del orden de los millones de Ah por día, cuyos mercados fundamentales

³⁵ En términos de producción de BdL, en 2020 se espera que el 62% (108GWh) provenga de China, el 22% (38GWh) de EEUU (Gigafactoria de TESLA), el 13% (23GWh) de Corea del Sur y el 3% (5GWh) de Polonia.

³⁶ A diario se anuncian nuevos descubrimientos científicos, como las nuevas herramientas para impresión 3D de microbaterías de litio (Technology Review, 2013) desarrolladas en el MIT, o la nueva baterías de litio de 8MW de potencia para almacenamiento de energía eólica (Greentech Media, 2012), así como inversiones multimillonarias en producción, tal y como informaba Tesla Motors a propósito del proyecto de instalación de una megaplanta para producir 500.000 baterías de vehículo eléctrico al año, con una inversión de us\$ 5,000MM que operará a pleno rendimiento a partir del 2020, (Greentech Media, 2014).

son Europa, Estados Unidos y otros países de Asia³⁷. Asimismo, si bien existen en China productores de baterías para aplicaciones de “última generación”, también se pueden encontrar fábricas de menor tamaño, operando con procesos semiautomáticos y manuales para aplicaciones de “segunda generación”³⁸. En definitiva, China cubre todo el rango de aplicaciones, calidades y niveles de producción. Los modelos europeo y norteamericano no contemplan la participación en el sector de dispositivos portables ni de baterías de “segunda generación”, en su lugar, apuestan exclusivamente por las tecnologías de “última generación” y, en general, prefieren la producción de paquetes para vehículos eléctricos, sistemas de *back-up* y otros dispositivos de alta energía, que generan un mayor rédito económico.

En lo que se refiere a las relaciones comerciales entre empresas productoras de baterías e insumos litiados con los proveedores de materias primas, se podría modelizar dos extremos: 1) aquel donde las operaciones de compra-venta de materias primas ocurre a distancia; es decir, donde no existe una fuerte relación productor de materias primas-comprador y 2) aquel en el que los compradores se aproximan a los proveedores de recursos naturales vía diplomática y a través de las altas esferas empresariales y gubernamentales, en cuyo caso, existe una fuerte capacidad de intervención por parte de las empresas, generalmente respaldadas por sus países de origen. El primer caso corresponde con empresas de tamaño medio y pequeño que no tienen la capacidad y respaldo diplomático para actuar a niveles superiores. El segundo, atañe al de las grandes corporaciones transnacionales que, a la par de tratar de asegurar el suministro de recursos naturales, y a ser posible el control de los mismos, buscan el posicionamiento con fines geoestratégicos en los países productores de materias primas.

En este sentido, en cuanto a las *modalidades de acceso a la tecnología*, hay que destacar las posibilidades que ofrece el actual mundo globalizado mediante las modernas tecnologías de información y comunicación (TICs). Hoy día es posible afirmar que las alternativas para la selección de socios y tecnologías son cualitativamente mucho más amplias, con respecto a lo que acontecía hace no muchos años. Mientras que en el pasado cercano la única forma que tenían los países periféricos para acceder a las tecnologías de los países centrales era vía diplomática o de relación empresarial directa, en un entorno de oferta muy limitado, la necesidad de reproducción ampliada del capital, favorecida en el siglo XXI gracias a las TICs, permite el acceso universal a un nutrido porfolio de tecnologías. La consecuencia directa de esto es que, mientras que antiguamente la selección de una determinada tecnología con fines industriales venía, en cierta manera, impuesta por los ofertantes -interesados en perpetuar el patrón primario-exportador en América Latina-. En la actualidad, el comprador tiene la posibilidad de cuestionar la nueva *diplomacia de las materias primas* y seleccionar la tecnología que mejor se adapta a sus necesidades y capacidades tecnológicas.

Ahora bien, que exista hoy más que nunca la opción de poder elegir tecnologías con independencia de los ofertantes, supone una dificultad adicional desde el punto de vista de la selección. En el antiguo contexto de oferta limitada, era ésta la que acotaba los límites de los *criterios de selección*, mientras que en el actual escenario de oferta cuasi ilimitada son los compradores, sobre la base de sus propios conocimientos, los que tienen que definir *ad hoc* todas las especificaciones técnicas.

³⁷ Las exportaciones de baterías de litio de China en 2009 se distribuyeron de la siguiente forma: a la Unión Europea, el 53% del total, un 5% a EEUU y un 32% a otros países de Asia (Global Sources, 2009). Esta dependencia de China por parte de Europa y EEUU ha modificado la estrategia de éstos últimos apostando en los últimos años por la producción en la propia región. A finales de los 2010s, EEUU y Europa empiezan a cobrar relevancia como productores.

³⁸ Se entiende por baterías de “última generación” aquellas destinadas a aplicaciones donde la tecnología empleada ha sido desarrollada recientemente y, por tanto, se encuentra en la frontera del conocimiento. Muestra una *performance* mejorada, sin embargo, aún no se puede considerar consolidada. En contraposición, la tecnología de “segunda generación”, hace referencia a aquella tecnología madura que puede ser usada en aquellas aplicaciones que no impliquen requerimientos tecnológicos tan exigentes como en el primer caso.

En el caso de Bolivia, sobre la base de las TICs, la GNRE, negoció la adquisición de una planta para la producción de BdL en modalidad “*llave en mano*” a una firma china especializada en manufactura de BdL. La *caja negra* comprendería un pequeño laboratorio de análisis físico-químico y electroquímico, otro para la caracterización mecánica de las BdL y una planta piloto de manufactura de celdas y baterías. La firma contratante proporcionaría los equipos, insumos de arranque y la puesta en marcha de la planta. (Ver Capítulos 6 y 8)

5.3 Consecuencias de la selección del producto estrella.

Una explicación temprana sobre las limitaciones que enfrentaría la ISI fue señalada por Raúl Prebisch, quién hizo notar que para profundizar en el proceso de industrialización se requería de la importación de insumos críticos y bienes de capital que no podían ser abastecidos por la industria nacional. Esto suponía que el modelo ISI, tal y como estaba planteado, conllevaba a un deterioro continuo en los términos de intercambio (Prebisch, 1949). La estructura social, heredada de la colonia, mantiene una distribución desigual del ingreso; lo cual determina una demanda sesgada hacia el consumo de las clases adineradas, caracterizada por bienes de consumo duraderos. Este patrón de consumo tuvo como consecuencia el bloqueo del desarrollo de la tecnología propia; coartando la iniciativa local para investigar e incorporar nuevos productos, procesos y otras innovaciones. Puesto que estos artículos presentaban una complejidad tecnológica que no podía ser generada en el mercado interno, no existió la necesidad de ampliar la base científico-tecnológica, al igual que el sector productivo, insertado en la dinámica de importar tecnología barata del exterior, tampoco promocionó su desarrollo local.

Es este un tema clave en el que la *teoría de la dependencia* es capaz de explicar - en parte- el porqué del fracaso del proceso de ISI en AL, a diferencia de otros países del este asiático (Japón y Corea), en los cuales, de modo paralelo al desarrollo de la industria pesada, se apostó por una industrialización inicial de bienes salario que propiciaron una distribución más equitativa de los ingresos. Estos productos, a diferencia de aquellos tecnológicamente avanzados, son susceptibles de ser reproducidos con la tecnología local, además de ser consumidos en el mercado interno y, eventualmente, externo (Halty, 2009). Esta estrategia permitió un aumento equilibrado entre el nivel de consumo y las capacidades científico-técnicas.

En este sentido, son destacables las diferencias en cuanto a complejidad tecnológica que existen entre las baterías de litio para vehículos eléctricos de última tecnología y aquellas destinadas al almacenamiento de energía para suministro eléctrico. Las primeras se encuentran en la frontera del conocimiento, es decir, aún no se ha conseguido establecer un sistema electroquímico capaz de satisfacer todas las condiciones que demanda la industria automotriz, mientras que las segundas han alcanzado la madurez tecnológica. El problema de lograr una optimización de la densidad de energía –de la cual depende la autonomía de los vehículos-, con la densidad de potencia –relacionada con la capacidad de aceleración-, la seguridad, en un rango amplio de temperaturas de operación, y en un esquema competitivo de costos, supone un reto tecnológico que además se ve acrecentado en un contexto en el que el estado del arte está fuertemente protegido por las empresas líderes. La diferencia fundamental con las baterías para almacenamiento estático es que no son tan sensibles a la densidad de energía, puesto que para un sistema de *back up*, por ejemplo, el peso no es una limitante, lo cual permite una optimización más simple del resto de variables.

En otras palabras, con el grado de desarrollo tecnológico actual de las baterías de litio, es posible ensamblar acumuladores electroquímicos de gran capacidad para satisfacer prácticamente cualquier requerimiento de almacenamiento, sin comprometer la seguridad y a costos en el horizonte de la competitividad con los del modelo eléctrico vigente a base de generación no renovable. Además, estas tecnologías de “segunda generación” se pueden encontrar libres de patentes, licencias y royalties. Por el contrario, las baterías para vehículos eléctricos, más allá de que aún no estén consolidadas, en cualquier escenario futuro siempre serán mucho más sensibles, desde el punto de vista tecnológico, que aquellas empleadas en aplicaciones estáticas.

Por lo tanto, en contraposición a la alternativa de orientar la producción hacia un patrón de consumo sesgado hacia aquel estrato social minoritario capaz de acceder a los vehículos eléctricos de última generación, una estrategia de industrialización orientada a desarrollar los usos energéticos de las baterías de litio para suministro eléctrico, implica no solamente orientar el desarrollo científico y tecnológico hacia un fin social de uso generalizado, como es el acceso a la energía eléctrica. Además, desde el punto de vista tecnológico supone una alternativa más económica y sencilla. En el marco del discurso vigente, centrado en la relevancia que el litio tendrá en un futuro escenario donde los vehículos eléctricos ostenten una importante cuota de mercado, en cuanto a la comercialización del litio como *commodity*, este escenario es sin duda alentador, puesto que asegura la demanda para los productores latinoamericanos, sin embargo, pensando en una estrategia de industrialización del litio, tal vez una apuesta por el desarrollo de baterías para vehículos podría enfrentar una brecha tecnológica y unas barreras de entrada que no incentiven la ciencia y tecnológica local y, al contrario, favorezcan el *colonialismo tecnológico* (Urquidí, 1962), ante la incapacidad de desagregar los paquetes tecnológicos. En otros términos, la consecuencia del uso de una tecnología incorporada en el proceso productivo y en los bienes de capital, pero encapsulada, es que el control de la producción, más allá de la operación de los equipos, queda en manos de las firmas proveedoras de la tecnología, lo que supone recurrir en un enfoque de desarrollo tecnológicamente dependiente.

Pero además, esta misma lógica se trasfiere aguas arriba por todos los eslabones de la cadena de valor del litio. Puesto que la operación de una batería depende en gran medida de los materiales que la constituyen, el ensamblado de baterías para vehículos requerirá no sólo de avanzadas y complejas técnicas de procesamiento, al mismo tiempo deberá estar constituida por materiales – cátodos, ánodos, electrolitos, separadores, etc- con un alto valor tecnológico incorporado. Es decir, con ajustados rangos de impurezas y mínimas tolerancias en cuanto a estructura molecular y tamaños de partícula lo que, en términos de la producción, supone procesos productivos altamente estandarizados y equipos e infraestructuras costosas y de gran especialización.

Si se parte de una visión de la industrialización donde es el litio contenido en los salares latinoamericanos el que es introducido en las baterías producidas en la región, y además, se prioriza la soberanía científico- tecnológica, la viabilidad de este enfoque aumenta en la medida en que se reconoce que no es necesariamente la última tecnología la que mejor satisface las necesidades del proyecto político vigente.

Capítulo 6: El proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos

6.1 Bolivia: Desarrollo en etapas de la cadena de valor

Argentina, Bolivia y Chile, concentran más de dos tercios de las reservas mundiales de litio (US Geological Survey, 2010), sin embargo, la forma en que cada uno de estos países responde a la creciente demanda mundial, no sólo se diferencia por los diversos grados de desarrollo socio-económico y científico tecnológico, sino también por la particular conformación de los bloques sociales hegemónicos y las relaciones de fuerzas en que dichos bloques se sustentan históricamente. En este sentido, a diferencia de Argentina y Chile, donde la explotación de los salares funciona bajo régimen concesional privado, Bolivia se constituye como el único país del Cono Sur en prohibir las concesiones sobre sus reservas y refundar una empresa pública que busque su industrialización, en base a un proceso autónomo y soberano, en función de las propias necesidades sociales (Nacif, 2012).

En enero de 2006 el dirigente campesino-cocalero y líder del Movimiento al Socialismo (MAS) Evo Morales Ayma asumió el gobierno por el voto de una mayoría absoluta, y en relación a los recursos naturales, inició una política de nacionalizaciones, como respuesta a la movilización popular que exigía el cumplimiento del programa político presentado por el MAS.

Sobre la base del Plan Nacional de Desarrollo (PND) aprobado en 2006³⁹, la declaración de la reserva fiscal sobre todo el territorio nacional de 2007 –que eliminó definitivamente el sistema minero concesional (DS 29117) - y la recuperación de las facultades productivas de la COMIBOL en 2008 (Ley 3720), el presidente Evo Morales declaró la *prioridad nacional* del Plan de Industrialización de los Recursos Evaporíticos del Salar de Uyuni (DS 29496 del 1/04/2008) y anunció la construcción de una planta piloto de US\$ 17 millones financiados por COMIBOL. El 3 de abril creó la Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos de Bolivia (Resolución de Directorio General N° 3101/2008), aprobando el proyecto de *Desarrollo Integral de las Salmueras del Salar de Uyuni*. En 2010 cambia de denominación a Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE) mediante Resolución de Directorio 4366/2010 dotándole de mayor autonomía de gestión. Con el crecimiento del proyecto y a consecuencia de las limitaciones de autonomía operacional, derivadas de la dependencia de la Corporación Minera Boliviana y del Ministerio de Minería y Metalurgia, el 27 de abril de 2017, a través de la Ley 928 la Asamblea Legislativa Plurinacional sanciona la Ley 928 creando Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB). La nueva Empresa Pública Nacional Estratégica, dependiente ahora del Ministerio de Energía, sustituye a la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos, absorbiendo todas sus competencias, activos físicos y financieros.

La estrategia de industrialización del litio. Políticas explícitas y resultados.

El Gerente Nacional de Recursos Evaporíticos, Ing. Luis Alberto Echazú explicaba que la estrategia de industrialización “es concebida bajo los principios de soberanía sobre nuestros recursos naturales, como lo establece la Constitución Política del Estado y así lo afirma el Presidente Morales, “... 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 sólo pobreza y contaminación, por ello el Estado jamás va a perder la soberanía del litio”.

De este modo, continuaba el Ing Echazú, “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. Ésta 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, 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”. La estrategia de industrialización se compone de tres fases:

- La Fase I, destinada a la producción piloto de 40 TM/mes de Carbonato de Litio (Li_2CO_3) y de 1.000 TM/mes Cloruro de Potasio (KCl), en etapa de operación (investigación y optimización) con una inversión de \$US 17 millones.
- En la Fase II, se implementa un plan de producción industria anual de 30.000 a 40.000 TM/año de Li_2CO_3 , y 700.000 TM/año de Sulfato de Potasio con una inversión de \$US 485.
- En la Fase III, se fabricarán materiales de cátodo, electrolitos y baterías de ión-litio con socios claves para la transferencia y desarrollo tecnológico y con una inversión total de \$US 400MM.

³⁹ El Plan Nacional de Desarrollo establece las tareas de la etapa: “la generación, control y distribución de los excedentes producidos por los recursos naturales renovables y no renovables para la acumulación interna que alimente, en el largo plazo, el desarrollo nacional.” (*Plan Nacional de Desarrollo*, 2006).

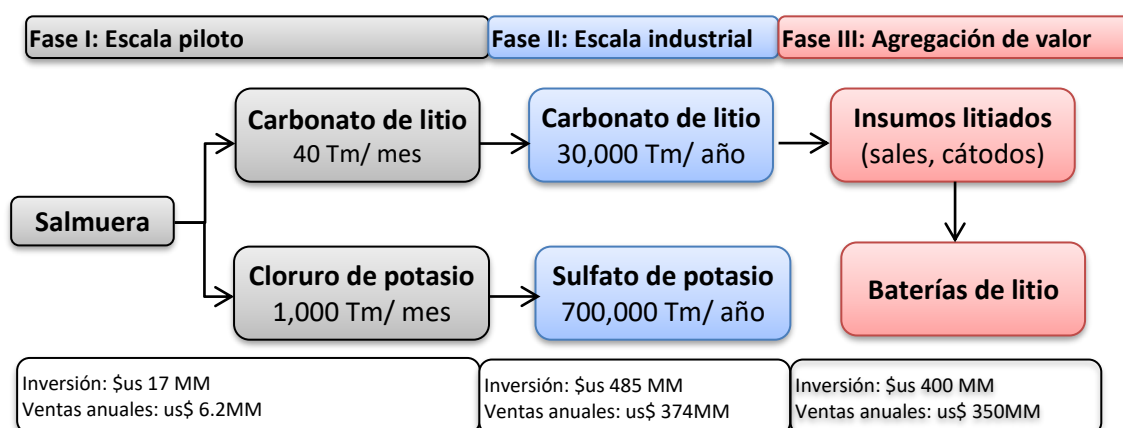


Ilustración 2: Esquema conceptual inicial de la estrategia de industrialización del litio.

Fuente: Elaboración propia.

Fase I: Puesta en marcha de plantas piloto de litio y potasio

Con el objetivo de analizar el comportamiento y evaporación de la salmuera, y conocer qué procesos son los adecuados para su tratamiento la Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos (DNRE) de la COMIBOL –Dirección que se transformaría en Gerencia en 2010-, elaboró en 2008 el proyecto *Desarrollo Integral de las Salmueras del Salar de Uyuni* para la instalación de la Planta Piloto en el Salar de las plantas piloto de litio y potasio. En la Fase I se pretendía “entrar en el mundo técnico y económico del preciado metal con la construcción de una Planta Piloto al borde del Salar de Uyuni. Se trata de que la Planta sirva para la experimentación de los pasos necesarios de la extracción de litio de una costra subterránea ubicada en el Salar y separarla en partes específicas y comercializables”. El inicio de obras de la Fase I fue inaugurado el 10 de mayo de 2008 por el Presidente Evo Morales en Llipi Loma, cantón Río Grande, Departamento de Potosí. El proyecto arranca con la edificación de la infraestructura civil y de las plantas piloto de Li_2CO_3 y KCl, construcción de piscinas de evaporación, habilitación de vías de acceso al salar (terraplén), instalación de la red de energía eléctrica de media tensión, sistemas de comunicación (Internet, telefonía celular y fax), implementación de los servicios básicos (agua, alcantarillado), campamento en el salar, implementación de equipos, maquinarias, transporte y otros.

La inauguración de la planta piloto de cloruro de potasio tuvo lugar el 9 de agosto de 2012 y el 3 de enero de 2013 la de carbonato de litio, concluyendo en esta fecha la Fase I orientada a desarrollar las capacidades científico-técnicas necesarias para encarar la Fase II –producción de *commodities* de litio y potasio a escala industrial-, en la cual se trabaja actualmente. La ejecución de la Fase I, a pesar de las enormes dificultades que ha enfrentado⁴⁰, no sólo ha permitido definir los procesos productivos, la ingeniería del proyecto industrial, o formar una masa crítica especializada, además, mediante un enfoque de implementación en etapas lógicas -I+D y pilotaje, previas a la escala industrial- el estado boliviano ha conseguido el control soberano sobre la producción del carbonato de litio y el cloruro de potasio a través del desarrollo de múltiples innovaciones –de proceso y organizacionales- sustentadas en la creación, difusión y aplicación de conocimientos concretos vinculados a las particularidades técnicas del tratamiento de las salmueras del Salar de Uyuni, en el entorno socio-político y económico específico de Bolivia. En la actualidad, la producción piloto de cloruro de potasio se vende en el mercado interno boliviano y la de carbonato de litio se exporta a China.

⁴⁰ El desarrollo de la Fase I no estuvo exento de contratiempos. Desde adversidades meteorológicas, como las intensas lluvias que en 2011 inundaron el Salar de Uyuni hasta los 90cm y obligaron a detener las obras, pasando por los vaivenes políticos en el Ministerio de Minería y Metalurgia y en la COMIBOL que afectaron a la planificación y ejecución de actividades, hasta problemas de índole científico – tecnológica o de burocracia interna, son algunos de los problemas que acompañaron la implementación de la Fase I del proyecto evaporíticos de la GNRE.

Fase II: Instalación de plantas industriales de litio y potasio

Con base en la información obtenida y la experiencia adquirida en la Fase I, que entre otras cosas sirvió para la optimización y definición tanto de los procesos productivos, como de las especificaciones técnicas de las plantas industriales, se desarrollará la Fase II. Esto es, la construcción de las plantas de Li_2CO_3 y sulfato de potasio K_2SO_4 , a una escala industrial mucho mayor, capaz de producir anualmente entre 30.000 a 40.000 TM/año de carbonato de litio y 700.000 TM/año de Sulfato de Potasio, con una inversión de \$US 485 millones.

Por una parte, toda la tecnología e infraestructuras del proceso de evaporación (circuito de piscinas) es de origen boliviano, desarrollado íntegramente por la COMIBOL. Así, la experiencia de la Fase I ha permitido el escalado del proceso de tratamiento de la salmuera, asegurando a Bolivia el control técnico sobre el recurso natural en el *up-stream*. En la actualidad, el área total de piscinas construidas asciende a las 2,420 Ha (equivalente a 2,000 campos de fútbol) divididas en diferentes circuitos de evaporación. De este modo, la infraestructura de evaporación para soportar la escala de producción de diseño está concluida. Las infraestructuras complementarias, se han construido galpones de almacenamiento, para insumos y estocaje de la producción de sales de litio y potasio, depósitos de agua dulce, alojamientos para trabajadores de planta, etc. Actualmente se ha construido la subestación Litio que garantizará el suministro de electricidad a las plantas industriales de cloruro de potasio y carbonato de litio en el Salar de Uyuni de Potosí, a través de una línea de transmisión de 115.000 voltios. También para el suministro eléctrico, el consorcio Emias-Elecnor inauguraron en septiembre de 2018 dos plantas solares fotovoltaicas en Uyuni de 60MW, la mayor capacidad de generación solar del país.

En cuanto a las plantas industriales, la GNRE contrató con la consultora alemana ERCOSPLAN el diseño final de la planta de sales de potasio en mayo de 2014 por US\$ 4.8 millones. Poco más de un año después, en base a las 50 carpetas y más de 500 planos incluidos en el proyecto de ingeniería, la GNRE firmó un contrato por 178 millones de dólares con la empresa china Camc Engineering Co. para la instalación de la planta industrial de potasio. A finales de 2017, el viceministro de Altas Tecnologías Energéticas, Luis Alberto Echazú –ex Gerente de la GNRE y actual Viceministro de Altas Tecnologías Energéticas-, informó de que “la Planta Industrial de Cloruro de Potasio tiene un avance del 92,3 % y su conclusión se prevé en febrero de 2018” (ElPotosi, 2017). No fue, en realidad, hasta octubre de 2018 que tuvo lugar el arranque de la planta industrial de cloruro de potasio, con una capacidad de producción de 350.000 Tn/año de KCl y una inversión total de 188 millones de dólares. En lo que respecta a la planta industrial de litio, el 16 de agosto de 2015, la GNRE suscribió con la empresa alemana K-Utec Technology el contrato para la elaboración del proyecto de ingeniería a diseño final de la planta por un monto de Bs.33 millones (\$US 4.5 millones). Al igual que en el caso de la planta de potasio, estas especificaciones sirvieron para diseñar los términos de referencia para la construcción de la planta. El plazo de entrega de propuestas para las 10 empresas precalificadas para la construcción de la planta terminó en enero de 2018. La adjudicación del proyecto tuvo lugar finalmente en mayo de 2018 a un conglomerado empresarial liderado por la china Maison Engineering por un monto total de 96 millones de dólares. Catorce meses se tardará en construir la planta, por tanto, se estima que la producción industrial de carbonato de litio comience en el segundo semestre de 2019.

Fase III: Industrialización. Avance en la cadena de valor del litio

Por otra parte, en octubre de 2010, el Gobierno lanzó la “Estrategia de industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia”, que por primera vez definió los detalles del plan y los grados de avance según infraestructura y financiamiento incluyendo, además de la Fase I y Fase II, una Fase III (Industrialización) orientada al desarrollo de la cadena de valor del litio (GNRE, 2010). Para ello, dos créditos del Banco Central de Bolivia fueron aprobados por la Asamblea Plurinacional. El primero del 28 de noviembre de 2010 por un total de Bs 836.400.000 -equivalentes a más de US\$ 120 millones. El segundo del 23 de diciembre de 2011 por Bs 5.332.050.000 -más de US\$ 765 millones (Leyes Financieras 062/2010 y 211/2011), de los cuales, para la Fase III de

industrialización, cumpliendo con el 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), US\$ 400 millones fueron asignados⁴¹. En esta Fase se propone disponer de socios claves para la transferencia y desarrollo tecnológico.

De acuerdo a la definición estratégica del proyecto, la Fase III comprende la producción de baterías de ión litio, material para cátodos y electrolitos litiados a través de una asociación y/o compra llave en mano de tecnología desarrollada. En este contexto, la GNRE firmó un contrato con la empresa China LinYi Dake Ltda. para la compra de un laboratorio y una Planta Piloto de Baterías de ion Litio, bajo la modalidad llave en mano, instalada en el complejo industrial La Palca - Potosí. El contrato incluyó la capacitación del personal boliviano en esta industria de última tecnología para el ensamblado de las baterías de ion litio.

En febrero de 2014, el Presidente Evo Morales, inauguró la Planta Piloto de Baterías de Ion Litio, que fue instalada por 10 técnicos de la empresa china LinYi, en la que también participó personal técnico de la GNRE. Una vez capacitado en el manejo de esta tecnología, periodo que duró dos meses, la GNRE se hizo cargo de su operación tal y como estipulaba el contrato de adquisición de la planta. La inversión para la provisión, instalación y puesta en marcha de la Planta Piloto, así como la capacitación de técnicos bolivianos ascendió a US\$ 2.995.000,00. Por otra parte, la refacción, reacondicionamiento y construcción de la infraestructura de La Palca para la Planta Piloto, fue realizada por la Empresa Potosina VBC Alianza, por un monto de US\$ 715.444. La inversión total fue de US\$ 3.710.444,00.

Por otro lado, la empresa francesa ECM Green Tech se adjudicó el 12 de noviembre de 2015 la instalación de una planta piloto de materiales catódicos, en La Palca, por 26 millones de bolivianos (Página7, 2017). De modo similar a la estrategia seguida con la PPB, este monto incluyó el equipamiento y la especialización del personal técnico. El 23 de agosto de 2017 el Presidente Morales inauguró la planta, que producirá óxido de manganeso litio (LMO) a una capacidad mínima de 1.2 kilogramos (kg) cada 100 horas, pero también producirá óxido de níquel-manganeso-cobalto litio (NMC) a una capacidad 1 kg cada 100 horas. El gerente ejecutivo de la empresa Yacimiento del Litio Bolivianos, Ing. Juan Carlos Montenegro, indicó que “esta planta permite cerrar el circuito de la industrialización del litio boliviano a escala piloto”.

6.2 Contingencia del modelo de industrialización

Si bien las políticas explícitas en materia de industrialización del litio, así como los resultados alcanzados a la fecha dan pistas sobre la contingencia del proyecto resulta, no obstante, conveniente examinar algunos elementos subyacentes a estas políticas sobre los cuales se asienta la visión estratégica del proyecto.

Dimensión científico tecnológica de la industrialización: Elementos implícitos

La industrialización del litio, en su ámbito científico tecnológico, busca la transformación de una materia prima – salmuera concentrada en litio- en productos comercializables derivados con diferentes grados de transformación: 1) carbonato de litio (grado comercial) , 2) carbonato de litio (grado batería), 3) sales derivadas del carbonato de litio (fluoruro de litio, hidróxido de litio, etc) , 4) precursores para BdL (materiales catódicos y sales de electrolito) y, 5) baterías de litio.

⁴¹ 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 la cadena de valor del litio, contaría con un financiamiento estatal de US\$ 400 millones, aceptando en esta Fase III la participación adicionales de socios extranjeros que aporten 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.

Los productos comercializables se corresponden con las coordenadas de la cadena de valor del litio, en la que aquellos no sólo cumplen el rol de ser mercancías en cuanto valor de cambio comercializables en los mercados internacionales de productores de aplicaciones, sino que además cumplen el rol de valor de uso, pues sirven como insumos de producción para el eslabón siguiente de la cadena.

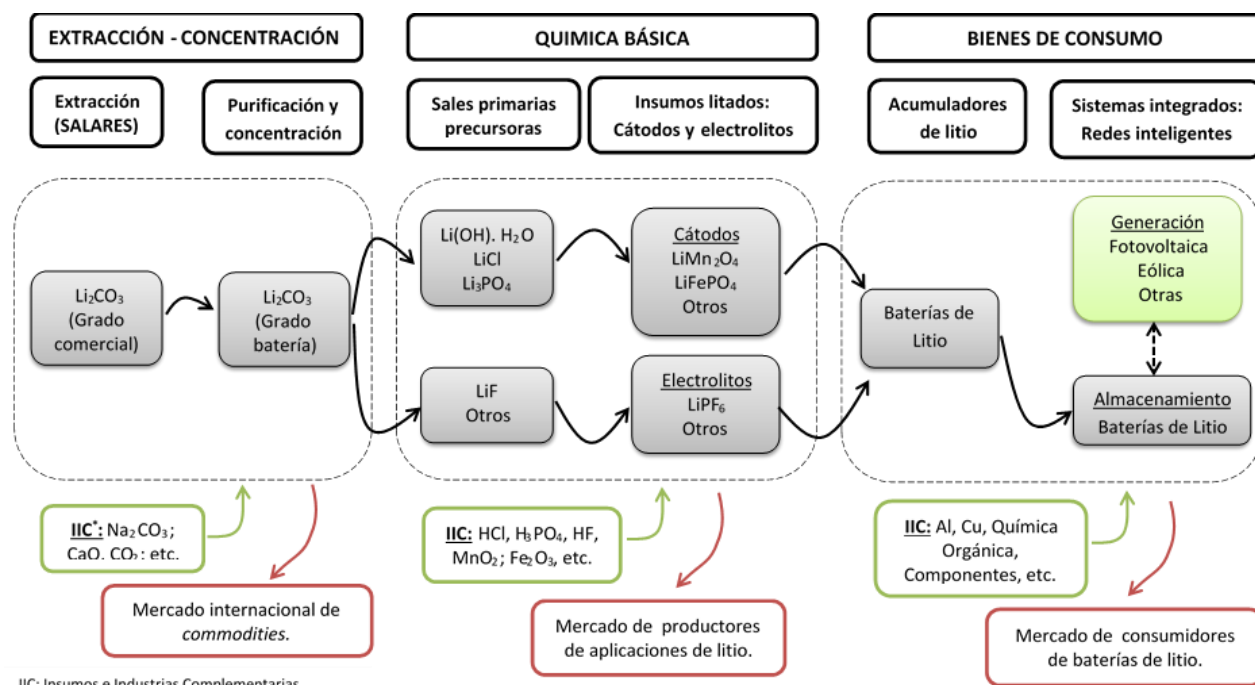


Ilustración 3: Esquema conceptual de la industrialización del litio en función del desarrollo de la cadena de valor. Fuente: Elaboración propia

En el *upstream* (aguas arriba) de la cadena se encuentran los procesos de extracción, concentración y purificación del carbonato de litio. En el centro de la cadena se localiza la industria de química básica, con eslabones correspondientes a las sales primarias derivadas del carbonato de litio (cloruro de litio, hidróxido de litio, fluoruro de litio, entre otras) y la industria de insumos litados (cátodos, como el óxido de manganeso litio (LMO); fosfato de hierro-litio (LFP) y sales de electrolito como el hexafluorofosfato de litio, (LiPF₆). Por el lado del *downstream* (aguas abajo) se encuentran los acumuladores de litio y la industria de integración de sistemas generación-almacenamiento-usuarios. Esta visión de la *cadena de valor del litio*, desarrollada en un inicio en sus dos extremos: carbonato de litio – baterías de litio, en la escala piloto, y posteriormente implementada a nivel de sus eslabones intermedios⁴² refleja una estrategia de industrialización sugerente a diferentes niveles.

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 a gran escala, también es cierto que implica ventajas desde el punto de vista de la *capacidad de apropiación tecnológica* y del *conocimiento del negocio y los socios*, lo cual redunda en una mejora en las aptitudes para la

⁴² 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 US\$ 2.4 millones 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 en una modalidad similar a la PPB a la empresa francés ECM Green Tech. Por otra parte, el proceso para la purificación del carbonato e hidróxido de litio -desarrollado íntegramente por los científicos e ingenieros boliviano-, precursores necesarios para la producción de material catódico, fue implementado satisfactoriamente en el año 2016 (Ver Sección Notas Ex Post)

selección de tecnologías en etapas posteriores –a mayor escala y, por 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 sólo le permitirá a Bolivia 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 ejecución⁴³ de los proyectos. Pero además, esta diversificación de socios y estrategias para la implementación de proyectos en sus diferentes fases, 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.

Traslación de la experiencia piloto: Riesgo compartido YLB-ACI Systems



Ilustración 4: Proyectos de YLB corporación y empresa mixta con ACI Systems. Fuente: YLB ,2018.

Los resultados de esta experiencia piloto en términos de selección de tecnología y socios se evidencian en la selección de la firma alemana ACI Systems como uno de los socios estratégicos para la industrialización. En abril de 2018 la firma alemana fue elegida entre 8 candidatos para asociarse con YLB en la forma de una empresa mixta. El estado boliviano controla la asociación con un 51%. La inversión conjunta estimada alcanzará los 1.117 millones de dólares para la construcción de cuatro plantas que permitirán la elaboración de diferentes subproductos, así como la fabricación de baterías.

PLANTA INDUSTRIAL	CAPACIDAD	OPERACIÓN
Li ₂ CO ₃ (YLB)	15.000 – 18.000 t/a	2° semestre 2019
LiOH (YLB-ACI)	25.000 t/a	Fines 2019
LiOH (YLB – X)	50.000 t/a	2020
LiOH (YLB – Y)	50.000 t/a	2021
BATERÍAS (YLB-ACI)	8 GWh	2022

Tabla 3: Proyectos de YLB en asociación

Las plantas serán instaladas en Bolivia y la firma alemana asegura el mercado para las baterías (para abastecer a la industria alemana de vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de gran capacidad para el sistema eléctrico).

Se estiman 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? Hay que señalar que la asociación con YLB no es la única. El gobierno boliviano está en negociaciones con empresas de otros países (Rusia y China, entre otros) para el establecimiento de otras plantas industriales (en modalidad de riesgo compartido). En estos casos, las futuras empresas mixtas serán controladas por Bolivia⁴⁴.

⁴³ La explotación del Salar de Uyuni se lleva a cargo de manera exclusiva por parte de la GNRE. La planta piloto de baterías de litio fue adquirida como proyecto “llave en mano” a la empresa china Linyi Dake, Ltd (GNRE, 2013). Además, JOGMEC de Japón colabora con la GNRE en investigaciones sobre procesos de tratamiento de salmueras. Un consorcio holandés compuesto por la universidad T.U.Delft, Battery Technology International y Da Vinci Laboratory Solutions, han realizado un “plan maestro” (GNRE, 2013) para la instalación de un centro de investigación en litio de última tecnología (LaRazón, 2013). El Gobierno austriaco, a través de sus universidades públicas, está interesado en transferir conocimiento y tecnología de litio a Bolivia. Además, desde los orígenes del proyecto en 2008 la GNRE firmó memorándums de entendimientos con empresas e instituciones de diferentes países (Japón, Corea, China, Brasil, Irán, Francia, Finlandia, Suiza, Venezuela, entre otros).

⁴⁴ Recordamos que el 4 de noviembre de 2019, tras varios días de paros y bloqueos en Potosí, el todavía Presidente Evo Morales aboga el DS 3738 suspendiendo la creación de la empresa mixta YLB-ACI Systems.

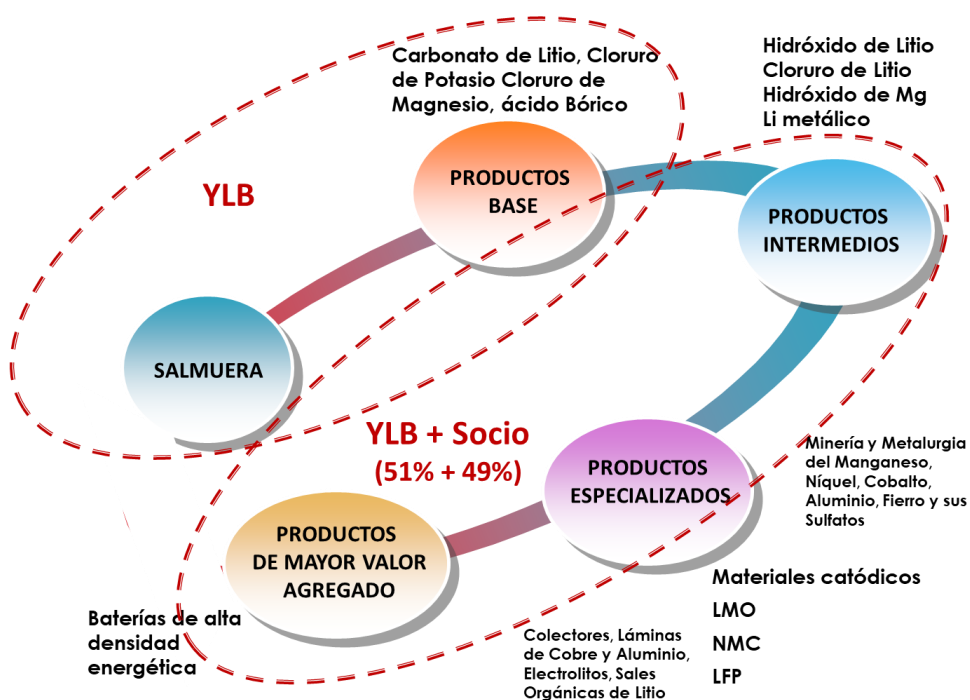


Ilustración 5: Cadena de industrialización del litio definida tras el acuerdo con ACI Systems. Fuente: YLB, 2018.

En definitiva, la modalidad de ejecución elegida en el proyecto piloto Boliviano pretendía alcanzar diferentes objetivos: a) *epistemológicos*, relacionados con el negocio, los socios y sus culturas empresariales, la base científico-tecnológica, b) *políticos*, recuperando la soberanía sobre los RRNN, c) *estratégicos*, apostando por avanzar en el desarrollo

*autónomo*⁴⁵ y hacia un modelo energético sostenible y d) *económicos*, sin olvidar que el proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos tiene que ser económicamente rentable.

En cuanto a la planta piloto de baterías, la visión sobre la importancia del pilotaje y el desarrollo de capacidades endógenas tuvo correlato en su propio diseño. Con una inversión total de US\$ 3.7 millones, 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*, el proyecto de planta piloto de baterías fue diseñado 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 sólo 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, puede operar como mecanismo de apalancamiento de mercados internos y externos (Rodríguez y Aranda, 2014) permitiendo una evolución paulatina y equilibrada entre las esferas de la producción y la comercialización. Puesto en perspectiva un escenario futuro en el cual Bolivia entrase a la comercialización internacional de dispositivos para almacenamiento de energía, resulta conveniente una evaluación previa, tanto de sus usos sociales, como de la viabilidad, económica y tecnológica. 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 10 Ah para ensamblado de baterías 24V-10Ah- para bicis eléctricas o almacenamiento con fines de electrificación, abren un amplio espectro de posibilidades en cuanto valores de uso.

Desde la perspectiva del acceso a electricidad en contextos de pobreza energética, el caso de la comunidad Yuracaré de Ibarecito (LosTiempos, 2014. Ver Capítulo 8.3), pasando por el fortalecimiento de alianzas público-privadas, como el desafío que se lanzó desde la GNRE a los empresarios privados para que instalasen una fábrica de bicicletas eléctricas en Bolivia, las cuales

⁴⁵ En este sentido, y siguiendo a Thomas y Dagnino (2000), una verdadera estrategia de desarrollo tecnológico autónomo requiere del diseño de *trayectorias tecnológicas alternativas*, capaces de producir innovaciones, pero orientadas hacia la solución de los problemas socioeconómicos locales. Trayectorias tecnológicas que, en última instancia, deberán tener en cuenta a los “usuarios potenciales del conocimiento que se produce” (Lalouf, 2013).

podrían tener un mercado masivo en ciudades como Sucre, Oruro, Santa Cruz o Cochabamba, donde las baterías litio podrían ser aportadas desde la planta piloto de baterías instalada en La Palca, Potosí (La Razón, 2014). Pero también, la integración del tejido empresarial estatal con el propósito de facilitar el acceso universal a las TICs, como es el caso de la fábrica estatal de computadoras Quipus, un 30% más baratas que las del mercado, cuyas baterías podrían ser provistas por la GNRE (La Razón, 2014). Todas estas son alternativas reales sobre las cuales la GNRE ha manifestado su interés en participar y apoyar, como parte de una lógica de pilotaje integral.

Pero no sólo esto, además de estas líneas de trabajo, desde una mirada prospectiva alrededor del concepto de soberanía energética, dentro del actual estado del arte del proyecto, existe la posibilidad de ligar la acumulación energética con la generación en las etapas piloto. Dos acontecimientos ilustran el inicio de la transición de matriz energética en Bolivia: la instalación de los primeros parques piloto de generación eólica y solar. El 2 de enero de 2014 la primera planta piloto de generación eólica fue inaugurada en, Qollpana, Cochabamba. Con una inversión de US\$ 7.6 millones y una potencia instalada de 3 MW, suministrada por dos aerogeneradores, la empresa china Hydrochina operará este pequeño parque eólico durante dos años para luego transferirlo a la estatal eléctrica ENDE (PaginaSiete, 2014). Es destacable que la optimización del rendimiento de esta planta depende del diseño de sus acumuladores. Por otra parte, el 21 de mayo de 2014, el Gobierno firmó un contrato con la empresa española Isastur para la instalación de la primera planta de energía solar en Bolivia, con una inversión de US\$ 10.8 y un periodo de ejecución de seis meses. Los 17.000 paneles fotovoltaicos generarán 5 MW de potencia y estarán respaldados por un sistema de baterías de ión-litio de 2 MW de potencia. (LaNuevaEspaña, 2014).

Por otra parte, la tecnología seleccionada, de “segunda generación” (Ver pie de página 37), responde a la estrategia cognitiva del proyecto, en tanto que incorpora la *brecha tecnológica* como un criterio principal de la selección. Así, tanto la tecnología del material catódico y otros insumos empleados en las celdas (LMO y LFP), como la propia configuración interna de las celdas y baterías se encuentran alejadas de la frontera del conocimiento. Lo mismo se puede decir de los equipos de manufactura y de los procesos productivos involucrados. Salvo en etapas concretas, el procesado es manual, admitiendo tolerancias relativamente amplias. Asimismo, frente a la producción robotizada, en general, el equipamiento productivo de la PPB boliviana permite su comprensión, tanto interna, como del proceso que realiza. En definitiva, las decisiones tomadas por la GNRE develan una conceptualización del proyecto según la cual la planta piloto de manufactura y la tecnología de las baterías que ésta incorpora no se corresponden con una *caja negra*, sino que ambas cumplen el rol de *artefacto capacitante*⁴⁶ orientado al desarrollo de *capacidades endógenas* en ciencia y tecnología.

Por último, a modo de cierre de este Bloque 3 y preámbulo de los Bloques 4 y 5, complementando la discusión de las páginas anteriores desde una perspectiva de sociología de la tecnología: de la vinculación entre el contexto tecno-económico en que se insertan los acumuladores de litio, el entorno socio-cultural del proyecto y las bases sobre las que se sustenta el diseño del mismo, se derivan, en definitiva, varios significados en cuanto valor que le fueron atribuidos a las baterías de litio. Es la consecución de aquellos, mediado por la *trayectoria socio-técnica*, el objetivo que se pretende alcanzar con la PPB.

- **Como valor de cambio.** Desde una perspectiva de mercado, y a la vista de los avances científicos y técnicos alcanzados en esta materia, en base a los cuales se puede afirmar que a día de hoy muchos subsectores de la industria de baterías de litio son maduros, todo parece

⁴⁶ Entendido como una funcionalidad que se antepone a cualquier rasgo técnico. Esto es, más allá de la tecnología específica involucrada en la PPB (electroquímica de baterías, físico-química de superficies, ingeniería mecánica, procesos productivos...) su función fundamental es promover el aprendizaje. Función que sólo se realiza si existe un esfuerzo deliberado y consciente para ello.

apuntar hacia el crecimiento de la demanda de estos dispositivos de manera sostenida durante muchos años (Ver Bloque 5). El hecho de tomar como punto de partida la dimensión económica, afecta a la *reificación* de las BdL. A pesar de que Bolivia aún no las comercializa y, por tanto, no es posible hablar de un *artefacto estabilizado*, tal y como apunta (Bijker, 2008), el papel de la difusión⁴⁷ en moldear el significado que un grupo social le atribuye a un artefacto, profundiza su presencia “en la conciencia de los miembros de los grupos sociales relevantes”. Cómo se discutirá en el capítulo 8, el manejo comunicacional del proyecto, tanto al interior del propio proyecto y las instituciones del Estado, como hacia la sociedad civil, emergen como un terreno de disputa en el que esta dimensión de las BdL, como valor de cambio, se convierte en una de las principales herramientas discursivas.

- **Como valor de uso.** La base tecnológica del futuro modelo energético a escala global liga indisolublemente la producción, en base a energías renovables, con la acumulación. Discursivamente, esta significación complementará un enfoque netamente economicista con otro que apunte hacia un uso social de la tecnología con un carácter sustentable: a) ensamblada a base de recursos naturales propiedad del pueblo boliviano y b) diseñada para corregir la situación de pobreza energética, en un país poco interconectado a la red de suministro eléctrico y con una población enormemente dispersa. Tal y como manifiestan (Bijker et al, 1987), el rol constructivo que lo simbólico tiene en el desarrollo de lo material otorga al significado la función de mediar entre artefactos y seres humanos. En este sentido, las consecuencias que el desarrollo del proyecto boliviano podría tener en el cambio global de la matriz energética están fuertemente afectadas por el valor simbólico que ello tiene dentro de un amplio abanico de actores sociales. Estas categorías simbólicas se relacionan con los imaginarios del sometimiento histórico a las potencias hegemónicas –y al capital trasnacional en los años previos al actual gobierno- y la industrialización soberana de los recursos naturales. También con la peripecia de emerger como una potencia relevante en el escenario mundial, o con la posibilidad de, en el corto plazo, erradicar la pobreza energética del país.
- **Como valor tecnológico.** Una tercera característica de los acumuladores de litio es su elevada intensidad científico-tecnológica. En este sentido, el mandato político que asumió el Presidente Evo Morales en enero del 2006 supone ineludiblemente, como condición necesaria para superar la histórica dependencia de Bolivia, dar valor agregado a los recursos naturales del país, incorporando en ellos conocimiento para transformarlos en productos tecnológicamente avanzados. No obstante, la consecuencia de esto no sólo es el aumento del valor económico y tecnológico. Al mismo tiempo, la conversión de un recurso mineralógico, como el litio, en un artefacto tecnológico como las BdL, encierra la posibilidad de acometer una apropiación de la tecnología mejorando las capacidades internas científico-técnicas. Es precisamente el atributo de *artefacto capacitante* que tienen las baterías de litio lo que sirvió para zanjar el *cierre de una primera controversia*, relacionada con la forma en que la GNRE daría los primeros pasos en materia de industrialización (Ver capítulo 8). De este modo, a pesar de que fueron las dimensiones de valor de uso y de cambio de las BdL las que dominaron el plano discursivo que impulsaría el proyecto, fue la consideración del valor tecnológico encerrado en las BdL lo que marcó las condiciones de frontera de la *trayectoria socio-técnica*.

⁴⁷ Según la GNRE, el mercado de BdL crecerá a tasas superior al 10% en los próximos años, hasta que a partir de 2020 tendrá lugar un “boom” propiciado por la introducción masiva en el mercado de los vehículos eléctricos y otras aplicaciones relacionadas con el almacenamiento estático – de energías generadas a través de fuentes renovables-. Así, las tendencias de mercado, que se publicitan y explican desde la GNRE, además de constituirse como aliadas del proyecto, propician que otros grupos sociales relevantes –sociedad civil- se enrolen manteniendo a la GNRE como traductor de sus intereses: en poco tiempo las BdL generarán bienestar e ingresos económicos para el pueblo boliviano. Sólo una empresa pública es garante de una redistribución satisfactoria de la riqueza generada mediante la comercialización de las BdL.

BLOQUE 4. La planta piloto de baterías de litio y su entorno (Forma teórica)

La PPB fue diseñada partiendo del análisis del contexto tecno-económico global. No obstante, no es éste el que interacciona en exclusividad con su *trayectoria socio-técnica*. Es en realidad el entorno mesosocial el que intersecta directamente las dimensiones operativa y cognitiva, afectando a aquella. Así, el marco legal, administrativo e institucional en el que se desenvuelve la PPB – Ministerio de Minería y Metalurgia, Corporación Minera de Bolivia, etc- es abordado de un modo descriptivo en el Capítulo 7. Asimismo, el entorno microsocioal – al interior de la propia Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos- también es analizado, en este caso revelando algunas limitaciones y claves a la hora de articular flujos de conocimiento. Descritos los entornos micro y mesosociales, a través de un enfoque de sociología de la tecnología, en el Capítulo 8 se presenta un recorrido cronológico por la trayectoria *socio-técnica* de la PPB. Bajo este enfoque, los hechos acontecidos, desde la etapa de diseño de la planta hasta su puesta en marcha, y su relación con los grupos sociales relevantes son interpretadas desde la perspectiva de sus implicaciones en términos de desarrollo de capacidades, así como de utilidad social.

Capítulo 7. Conocimiento y entrono mesosocial del proyecto

7.1 El marco institucional y la cultura burocrática en la administración pública

Si el planteamiento estratégico y la manera en la cual tuvo lugar el proceso de construcción de la *caja negra* constituyen la esencia de la forma teórica de la PPB, la GNRE, como lugar continente de los sujetos encargados de desarrollar el proyecto y desenvolverse en el contexto social, constituye el almacén organizacional de la cual aquella depende. Por ello, tener una visión completa del posible alcance del proyecto en relación a su forma teórica requiere, al mismo tiempo, revisar algunos elementos clave que tienen que ver con su almacén mesosocial. Nos detendremos, en este sentido, en la identificación de los actores y grupos sociales relevantes que participan del proyecto, así como en la revisión del marco institucional que en el que se desenvuelve la GNRE – COMIBOL para la ejecución del proyecto.

No obstante, siendo que un análisis sistemático de cada uno de estos actores y su rol en el proceso de cambio técnico resultaría enormemente extenso, en este capítulo se indagará sobre aquellos actores clave y marcos normativos que de un modo relevante afectaron a la instalación de la PPB. Entre ellos, destaca la COMIBOL como empresa responsable de la ejecución del proyecto. Asimismo, el entorno institucional (e.g, el Ministerio de Minería y Metalurgia) y el marco legal y administrativo ejercen como correa de distribución capaz de permitir o dificultar el desarrollo del proyecto (Ver Ilustración 5). Por tanto, entender la dinámica procedimental e institucional resulta de gran relevancia para comprender la parte operativa asociada al proyecto. Se ha seleccionado, por último, al actor directo responsable del proceso transferencia tecnológica, la GNRE. En tanto que receptora de la tecnología y responsable de orientar los procesos de aprendizaje, las especificidades culturales y las consecuencias que de aquí se derivan en términos de producción y difusión del conocimiento también serán revisadas. Sería de gran interés epistemológico otros análisis focalizados en el resto de actores del ecosistema del proyecto litio boliviano, y de su rol en los procesos de cambio técnico en el entorno de la PPB. A saber, las *vinculaciones* del proyecto con las universidades (Dagnino y Thomas, 2000) –en incipiente proceso de articulación-, el ensamble socio-técnico formado entre las comunidades aledañas al proyecto, las cuales conforman en gran medida el vector causal tecnología-sociedad, o de los medios de comunicación, en su rol de orientadores de la opinión pública. Asimismo, sería un aporte valioso, retomando a Pavitt (1984), una evaluación del desarrollo de *recursos complementarios* a través de proveedores locales y elucidar los flujos de conocimiento que se establecen entre ellos y la PPB. Sin embargo, estos y otros actores incluidos en el ecosistema del proyecto sólo serán señalados de manera tangencial.

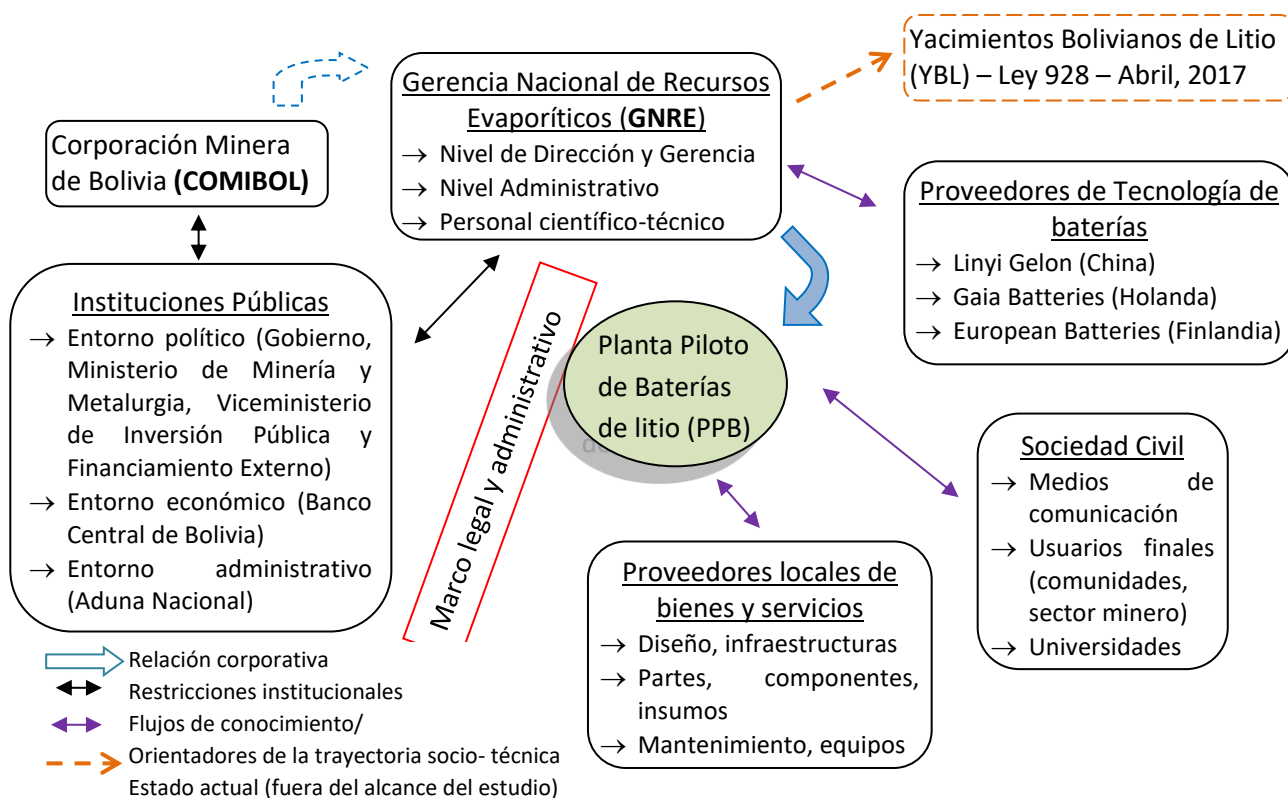


Ilustración 6: Ecosistema del proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos. Fuente: Elaboración propia

Promulgada en 1992, la Ley SAFCO se creó para regir la administración pública, normar procedimientos, establecer múltiples salvaguardas y un régimen de sanciones para evitar la corrupción, pero no está pensada para gestionar empresas estatales productivas. La ley atribuye responsabilidades administrativas y penales a los malos administradores públicos. Tras 25 años de aplicación, la ley no ha logrado atajar la corrupción en los niveles deseados, pero ha infringido un enorme coste al país, al imponer un corsé administrativo a la gestión de empresas estatales de carácter productivo.

Estas restricciones institucionales dieron lugar a la necesidad de crear reglamentos específicos para viabilizar el funcionamiento de las empresas estratégicas que requerían agilidad de gestión. De este modo, se promulgó un Reglamento Específico del Sistema de Administración de Bienes y Servicios de aplicación en las Empresas Públicas Nacionales Estratégicas (más conocido como RE-SABS-EPNE) para sortear los cuellos de botella. Así, en calidad de empresa estratégica del Estado, COMIBOL elaboró su propio RESABS-EPNE. Sin embargo, la concreción del reglamento no tuvo la eficacia deseada. El motivo es la enorme maraña de normativa legal, que opera como factor de bloqueo estructural, dificultando a menudo la aplicación práctica de los RESABS-EPNE. El ovillo de múltiples leyes, decretos y reglamentos superpuestos da lugar a múltiples contradicciones legales y, en consecuencia, abre el abanico de posibles interpretaciones. La letra está viva. Así respondió una alta funcionaria de la aduana a la demanda de parte del equipo a cargo de la instalación de la PPB de recurrir al RESABS-EPNE para agilizar los trámites de desaduanización de los equipos de la planta. Como los RESABS-EPNE no pueden contemplar ni desarrollar toda la casuística de procedimientos y trámites posibles en el Estado, finalmente la interpretación sobre la aplicación práctica de la normativa queda en mano de terceros.

Todo este marco institucional trasciende el ámbito legal y ha dado lugar a una cultura de funcionariado con mentalidad de *reyes chiquitos*, que hacen de cada escritorio un espacio propio de poder y bloqueo. Esta cultura se traduce en la potestad para interpretar la norma en sentido restrictivo, así como en la práctica cotidiana de la observación permanente a los procedimientos

como ejercicio de poder, pero también de respaldo frente a posibles sanciones. Al final, esta forma de ser funcionario se traslada de arriba abajo, desde niveles gerenciales hasta los mandos intermedios y niveles técnicos. De esta manera, en ocasiones, los responsables de aprobar y autorizar trámites son funcionarios sin adecuada preparación técnica, por lo que se amparan en la observación como mecanismo de protección. Además, esta cultura se agudiza fruto del miedo a sanciones administrativas y penales por irregularidades.

Por otro lado, la Ley Marcelo Quiroga Santa Cruz, promulgada en 2010, ha alentado los miedos a la sanción, mientras que la multiplicación de mecanismos oficiales de auditoría y control sobrecargan los equipos técnicos y administrativos de los proyectos de industrialización de COMIBOL hasta afectar la gestión técnica. Esta ley trasciende el régimen de sanciones de la Ley SAFCO y extiende las faltas por mala administración al ámbito de la responsabilidad penal. Como consecuencia de esta ley, la intensificación de la fiscalización y rendición de cuentas ha creado una maraña descoordinada de procedimientos a cargo de varios entes y organismos públicos responsables de esta tarea (MMM-Unidades Técnicas de Fiscalización, COMIBOL-Unidad de Auditoría, Ministerio de Planificación, Ministerio de Transparencia, Contraloría y Asamblea Plurinacional). Más aún, en muchos casos, los proyectos industriales de la COMIBOL deben atender los procedimientos de auditoría de todos los organismos citados, así como las Peticiones de Informe Escrito y Oral (PIE y PIO) de parte de la Asamblea Plurinacional. A este respecto, el Gerente Nacional de Recursos Evaporíticos denuncia que, en periodos críticos, el 50% del tiempo efectivo de trabajo del personal de su gerencia está implicado en satisfacer diferentes requerimientos de auditoría.

Otra fuente de burocracia se encuentra en el acceso a financiación. En lugar de apoyar con fondos de capital siembra, el Estado prefiere en muchos casos apoyar a las empresas industriales con facilidades de crédito. Sin embargo, las políticas crediticias no resultan siempre adecuadas. Algunas de las limitaciones que sufrió el proyecto del litio se refieren a: i) mecanismos engorrosos de aprobación (con la preceptiva inscripción de recursos públicos en el VIPFE); ii) excesiva tuición administrativa del MMM, del cual depende la COMIBOL; y iii) rigidez de las condiciones para los desembolsos. Pese a ser responsable de la mera inscripción de recursos, el VIPFE fiscaliza también el formato de formulación de los proyectos que solicitan recursos públicos. El formato del Estudio Integral Técnico, Económico, Social y Ambiental (TESA) no responde a las necesidades de proyectos industriales. De hecho, fue el VIPFE quién bloqueó la firma de un contrato con la firma surcoreana POSCO para la instalación de una planta piloto de materiales catódicos en el marco de la Fase III (Industrialización) del litio (América Económica, 2013). Después de más de un año de negociación y unos términos del contrato ciertamente favorables para Bolivia⁴⁸ los funcionarios del VIPFE –que no distinguían bien entre la explotación del salar de Uyuni para la producción de carbonato de litio y lo que significaba la instalación de una planta piloto de materiales catódicos- argumentaban que “los términos del contrato eran anticonstitucionales”. En cuanto a la PPB, tanto la demora en la firma del contrato con el BCB, como los retrasos en los desembolsos causaron diferentes problemas operativos.

⁴⁸ El acuerdo con POSCO contemplaba el establecimiento de una sociedad conjunta al 50% POSCO-COMIBOL para la instalación de una planta de cátodos de última tecnología. Se realizaría una inversión conjunta a partes iguales para el establecimiento en Bolivia de la planta. Algunos puntos clave del contrato: 1) La tecnología sería transferida por POSCO. 2) No había compromiso de avanzar en un proyecto industrial conjunto. 3) el Presidente del Directorio compartido sería de Bolivia. 4) Por supuesto, no existía ninguna vinculación entre este contrato con el Salar de Uyuni, más allá de que la GNRE proveería el carbonato de litio para la síntesis del material catódico. 5) Cualquier propiedad intelectual generada en el proyecto pertenecería a ambas partes. De modo simplificado, este contrato suponía que Corea pagaría 1.2 millones de dólares por transferir su propia tecnología, a cambio de solamente posicionarse como socio de la GNRE e ingresar en la órbita del Salar de Uyuni.

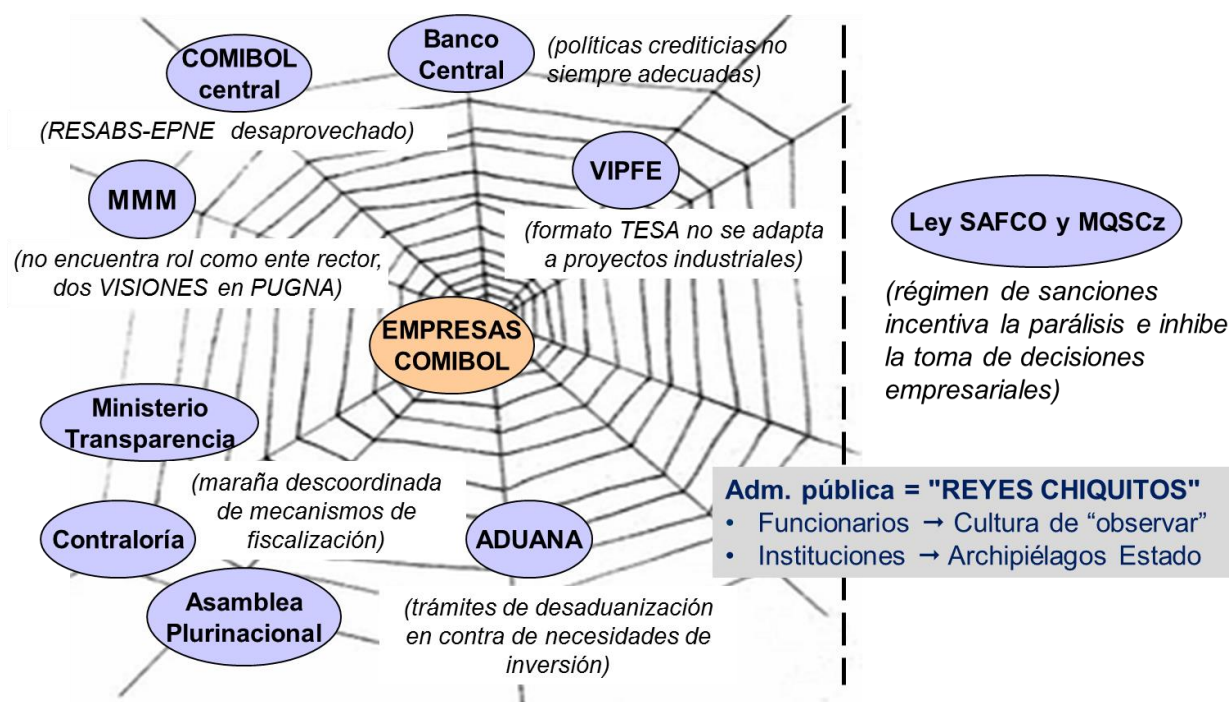


Ilustración 7: Entramado institucional vinculado al proyecto de industrialización del litio.

Fuente: Elaboración propia

En definitiva, el marco institucional no está concebido para promover políticas de industrialización desde el Estado en Bolivia, en tanto que se trata de un marco que incentiva tanto el control y la fiscalización, como penaliza la toma de decisiones en el marco de una gestión empresarial.

En este contexto, el MMM no encuentra su rol como ente supervisor de las políticas de industrialización de la minería. El Viceministerio de Desarrollo Productivo Minero Metalúrgico no logra incorporar sistemas de planificación a largo y mediano plazo, capaces de convocar a los agentes y vehicular los recursos económicos. Conviven, además, dos visiones en pugna sobre la industrialización minera y el alcance de los objetivos de soberanía tecnológica y la soberanía de los recursos naturales (Agenda 2025, 2013). De un lado, la promoción de megaproyectos de explotación a partir de contratos de riesgo compartido con capital transnacional, como es el caso del proyecto de explotación del yacimiento de Malku Khota⁴⁹. De otro, la apuesta por el desarrollo propio de tecnología y desarrollo de cadenas de valor, cuyo ejemplo más emblemático es el proyecto del litio. Estas contradicciones conducen a cortocircuitos en la gestión de los proyectos y empresas. La falta de claridad estratégica sobre cómo avanzar hacia la industrialización debilita la voluntad política necesaria para enfrentar todos los desafíos, generando confusión entre *políticas explícitas e implícitas* (Herrera, 1995), lo que paraliza en ocasiones las gestiones operativas de los proyectos.

⁴⁹ Mallku khota, un enorme yacimiento de galio, indio, plata, cobre, plomo y zinc (Jimenez y Campanini, 2012) valorado en más de 8,000 millones de dólares es motivo de controversia en cuanto modalidad de explotación. En Agosto 2012 el Gobierno de Evo Morales revirtió la concesión del proyecto Mallku Khota a la transnacional South American Silver por presión de las comunidades aledañas al proyecto, disconformes con el plan de ejecución propuesto por la transnacional. A partir de este momento se abrió un acalorado debate en el Ministerio de Minería y la COMIBOL en torno al rumbo que debería tomar la explotación: algunos preferían una modalidad al estilo proyecto de industrialización del litio, con un papel de liderazgo por parte de COMIBOL, mientras que otros –la posición con mayor fuerza en el año 2013- optaban por un riesgo compartido mediante el cual la empresa socia de Bolivia se encargaría de la explotación del yacimiento y la COMIBOL de la administración del contrato. El destino de Mallku Khota no está definido aún en 2018.

Conscientes de estas limitaciones, el Gobierno decidió en 2017 sancionar la Ley 928 creando Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB). La nueva Empresa Pública Nacional Estratégica, dependiente ahora del Ministerio de Energía, sustituye a la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos, absorbiendo todas sus competencias, activos físicos y financieros. Esta decisión busca aumentar la *autonomía operacional* (Feenberg, 2008) para la explotación e industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia, así como alejar al proyecto de la esfera de COMIBOL y del Ministerio de Minería y Metalurgia

7.2 Los estratos culturales de la COMIBOL

Si bien, se puede afirmar que existe un entramado burocrático institucional que dificulta la implementación del proyecto, la propia COMIBOL se inserta de manera prioritaria en esta cultura burocrática. Una mirada retrospectiva a la agitada historia de la COMIBOL permite identificar tres grandes etapas que coinciden con fechas importantes en el país: i) etapa productiva y de protagonismo estatal (1952-1986); ii) etapa administrativa (1986-2006); y iii) etapa de recuperación (2006-hasta la fecha). Cada etapa de COMIBOL ha supuesto un giro de 180 grados en las funciones y rol de la empresa estatal, pero ha dejado también una impronta institucional en su estructura y cultura organizativas. Se trata de un claro ejemplo del *path dependency* que apuntaban Nelson y Winter (1974). En otras palabras, los efectos de las diferentes etapas se han ido superponiendo como sedimentos hasta dar lugar a la COMIBOL actual:

- COMIBOL productivo-estatal (1952-1986): De la etapa más larga y exitosa de la empresa ha quedado una cultura organizativa de ser Empresa-Estado, con un imaginario simbólico muy fuerte de lo estatal, una vocación imperiosa de tener presencia territorial en todos los departamentos del país, y cierta función social-paternalista (consistente en proveer servicios y atender necesidades de sectores rurales de áreas mineras que no podían ser atendidos por el Estado formal).
- COMIBOL administrativa (1986-2006): Las políticas neoliberales dismantelaron el aparato productivo de la empresa estatal hasta reducirla a una mera empresa carcasa, responsable de administrar bienes, percibir rentas en contratos de riego compartido y cobrar cánones de arrendamientos. Esos veinte años de han dejado una profunda huella en la empresa en términos de cultura rentista, procedimientos burocráticos, así como una estructura gerencial hipertrofiada en el área administrativa
- COMIBOL productiva-empresarial (2006 en adelante): La reactivación de COMIBOL por parte del Gobierno del MAS ha traído consigo el impuso gradual de nuevos proyectos minero-metalúrgicos focalizados en algunas zonas del país, que pretenden poner en marcha enfoques empresariales que divergen de las estructuras y culturas organizativas precedentes.

Esta realidad institucional tan compleja y abigarrada motiva que no exista una visión compartida sobre la misión de la empresa estatal al interior de la misma. En la actualidad, conviven gerentes que perciben su trabajo como meros funcionarios-guardianes responsables de administrar bienes y servicios, con otros que aspiran a reconstruir, en el marco del proceso de cambio, los antiguos centros mineros de COMIBOL de fuerte implantación territorial. Y existe también otro grupo de gerentes más dinámicos que pelean por concretizar los proyectos de industrialización ligados a cadenas productivas. Todos ellos conviven en un frágil equilibrio de intereses contrapuestos, que precisa constantes rotaciones de cargos para no romperse. En 2013, la COMIBOL tuvo tres presidentes (Edgar Pinto, Edgar Hurtado y Marcelino Quispe) y, en siete años de gobierno del MAS, la empresa estatal ha visto desfilar a seis presidentes.

De hecho, la estructura organizativa de COMIBOL refleja la convivencia simultánea de distintas lógicas administrativas, territoriales y funcionales, sin responder a un enfoque empresarial coherente. En este sentido, el organigrama parece el más vivo espejo de esa historia abigarrada de superposiciones y agregaciones que están en el origen de los problemas actuales. El organigrama combina: i) una estructura matricial operativa (dependiente de la Gerencia Técnica y de Operaciones, y de la que cuelgan las empresas mineras estratégicas); ii) una estructura geográfica de tres Gerencias Regionales (Oruro, Potosí y Santa Cruz), de la que dependen los denominados centros mineros; iii) una tercera superestructura administrativa (dependiente de la Gerencia Administrativa Financiera), iv) una Gerencia de Proyectos y; v) una última Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos impulsada por el gobierno actual (con carácter deliberadamente independiente en el organigrama para dotarla de mayor autonomía de gestión). La cooperación internacional danesa ha dejado también su granito de arena a través de la Dirección de Medio Ambiente (DIMA)

Esta historia de superposiciones se traduce en un galimatías en el que conviven al interior de la firma algunas de aquellas *culturas* que Elizaga y Jameson (1996) describían⁵⁰: estructuras, procedimientos, concepción de cargos, lenguajes, y sensibilidades que responden a diferentes épocas (si bien prevalece la visión administrativo-rentista de la etapa neoliberal). Estas falencias de COMIBOL se trasladan automáticamente de arriba a abajo, generando efectos perversos sobre los proyectos de industrialización. Por citar algunos de ellos, la COMIBOL productiva está supeditada a los ritmos y criterios de la Gerencia Administrativa-Financiera (y no al revés, como ocurre en cualquier empresa productiva). Esta gerencia opera con herramientas ineficientes. Por ejemplo, las decisiones de replanificación, inversión o reparación de maquinaria se tramitan a partir de interminables *hojas de ruta*, que no están diseñadas para responder con eficiencia a los problemas de una empresa (sino más bien para garantizar la dimensión procedimental del trámite). Por otro lado, esta gerencia no maneja con fluidez los procedimientos de licitación y contratación internacional, que se revelan claves para el desempeño de empresas industriales que operan en mercados globales de *commodities*.

Por otro lado, el actual organigrama de COMIBOL posee duplicidades, ya que los proyectos y/o empresas productivas dependen de una Gerencia Técnicas de Operaciones (sin suficiente rango ni peso), pero los bienes de los antiguos centros mineros (en ocasiones, rehabilitados en nuevos proyectos productivos) dependen también de las Gerencias Regionales. Además, algunos de los proyectos/empresas metalúrgicas han heredado el escalafón de cargos de los centros mineros (administrador y superintendente), que responde las funciones de otra época, pero no contribuyen a promover la gestión de una empresa industrial.

Al no haber un *manual claro de funciones* de gerencia, los roles de los diferentes gerentes (regionales o funcionales) quedan a discreción de la persona que ocupa el cargo. Por ejemplo, algunos gerentes regionales visitan los proyectos industriales, otros no lo hacen.

⁵⁰ Los autores definen cuatro tipos de “culturas políticas”, a saber: 1) Cultura burocrática, preocupada por la administración, planificación y organización, donde lo importante es la ciencia para la política. 2) Cultura académica, interesada en una política para la ciencia que preserve el “ethos científico”, predominante en la esfera correspondiente a la infraestructura científico-tecnológica. 3) Cultura económica, relacionada con el sector empresarial que busca transformar los resultados científicos en innovaciones rentables y comercializables. Esta cultura sería mayoritaria en la esfera del Gobierno y el aparato productivo, sin embargo, el actual proceso creciente de “tecnocientificación” estaría haciendo penetrar esta cultura en la esfera científico-técnica. 4) Cultura cívica, inquieta por las consecuencias sociales relacionadas con la producción y aplicación de la ciencia.

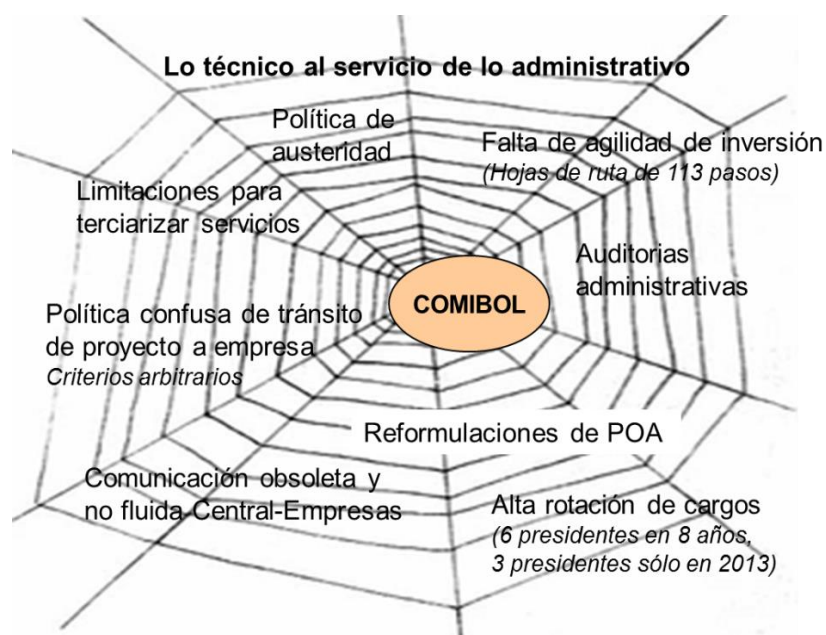


Ilustración 8: Limitaciones operacionales al interior de COMIBOL.
Fuente: Elaboración propia

En resumen, la industrialización de la minería requiere hoy de un nuevo enfoque empresarial al servicio del “proceso de cambio”. En este contexto, la COMIBOL como empresa matriz es más parte del problema que de la solución, pero las experiencias de varios proyectos y/o empresas productivas ofrecen suficientes hallazgos y lecciones aprendidas que pueden alimentar el proceso de reestructuración de COMIBOL. Tal vez esta refundación debería reconocer el dinamismo de las empresas productivas y pensar en un diseño corporativo al servicio de las empresas productivas (Rodríguez-Carmona y Aranda, 2014)

7.3 Multiculturalidad y flujos de conocimiento al interior de la GNRE

Es este el contexto en el que se desenvuelve el diseño y puesta en marcha de la PPB. Todas esas culturas, procedimientos, superposiciones, etc, inicialmente externas al proyecto permean al interior del mismo reproduciendo las mismas lógicas. Ciertamente, el proyecto litio resulta paradigmático, en cuanto a afluencia de culturas, tanto por ser la GNRE una Gerencia de la COMIBOL, como por las propias que han emergido tras el arranque del proyecto y que son específicas de éste. Pero también la industrialización del litio tiene rasgos propios en la manera en que el conocimiento es generado y difundido, o en la manera en que se juegan las relaciones de poder. Aquello que concierne al poder implica indefectiblemente la existencia de diferentes actores en pugna (Elizaga y Jamison, 1996). Y esto afecta a todos los niveles del proyecto, desde las relaciones de la alta Gerencia con el exterior del proyecto, como de los propios funcionarios del proyecto en su ámbito de competencias.

En el planto científico-tecnológico, el proyecto es interdisciplinar, puesto que la capacidad tanto apropiarse de la tecnología transferida, como de desarrollar investigación propia, tanto para la explotación de las salmueras del Salar de Uyuni, como para las baterías de litio, sólo puede ser adquirida mediante esfuerzos deliberados en esta dirección (Lall, 1992), y de diferente naturaleza. Asimismo, la base de estructural y cognitiva científico-técnica de partida, la condición de proyecto público o el propio acervo cultural, condicionan los procesos de producción, difusión y aplicación del conocimiento⁵¹. Más aún por el hecho de que el proyecto boliviano tiene vocación de alcance internacional, por lo que la subsunción formal de la tecnología al mercado es difícilmente

⁵¹ Hablaremos del modo tradicional de producción del conocimiento (modo 1), correspondiente con la manera clásica de “hacer ciencia”, en contraposición con el modo moderno (modo 2), donde el “ethos” científico es subsumido formalmente a la lógica del capital. De esta manera, mientras que el modo 1 plantea solucionar problemas desligados de objetivos prácticos, en el modo 2 se lleva a cabo en un contexto de aplicación. El modo 1 es disciplinar y homogéneo, a diferencia del modo 2 que es interdisciplinar, heterogéneo. El modo 2 de producción del conocimiento busca satisfacer una necesidad que es demandada por el mercado, para ello la producción es organizada involucrando actores con experiencia y habilidades diversas que trabajan coordinadamente en el desarrollo de una determinada aplicación. Esto conlleva la conformación de grupos en los que los que igualmente participan científicos sociales, ingenieros, científicos naturales, abogados, economistas, etc, puesto que el cumplimiento del objetivo así lo requiere (Gibbons et Al, 1997).

cuestionable, más allá de poner en la balanza otras formas del valor inherente a las BdL-valor de uso y tecnológico-. En definitiva, el éxito del proyecto dependerá de la medida en que sea capaz de insertarse de un modo creativo en la lógica del mercado globalizado, ponderando riesgos, fortalezas, amenazas y oportunidades bajo un marco estratégico emanado de la dirección política.

Si tomamos del triángulo de Sábato⁵² y sus versiones modernas como marco de análisis, el proyecto litio de Bolivia contiene elementos propios de las tres esferas: 1) tratándose de un proyecto público de industrialización, éste interactúa con la esfera estatal participando en la elaboración y orientación de las políticas públicas del sector, 2) asimismo, la participación directa del Estado en la producción lo convierte en un instrumento de política económica e industrial, 3) su diseño busca deliberadamente la soberanía científica y tecnológica, para lo cual se considera prioritaria la inversión en investigación y desarrollo y 4) la sociedad civil -en el sentido amplio de Habermas- observa de cerca los avances del proyecto, tanto en su calidad de financiadores del mismo, como de posibles usuarios finales de los productos industrializados del litio (baterías de litio para diferentes aplicaciones, de las cuales algunos grupos relevantes se podrían beneficiar).

Para que una estrategia de innovación devenga resultados satisfactorios, debe ser capaz de generar interacciones entre los actores de los vértices o, en su visión moderna, entre “las hélices”⁵³ en que se insertan estos actores. Por tanto, no sólo es relevante identificar y entender las culturas de los actores involucrados en un proceso de producción, difusión y uso del conocimiento. Igualmente hay que reconocer la necesidad del establecimiento de *diálogo* entre ellos. En este sentido, para que la apuesta por la industrialización del litio a través de una empresa pública devenga resultados satisfactorios es necesario que el proyecto sea capaz de generar esa suerte de interacciones virtuosas entre los diversos actores adscritos a las diferentes culturas. Sin embargo, encontramos diferentes fuentes de bloqueo para que esto ocurra. Por una parte, el ecosistema institucional, sustentado en la burocracia, tal y como se vio en el capítulo anterior, choca con las posibilidades de diálogo.

Por otro lado, la existencia de culturas heterogéneas y con un peso relativamente importante en el proyecto, y que en última instancia responden a intereses diferentes, también dificultan el diálogo. Traducido a la implementación de la planta piloto de baterías, se confirma que, más allá de los problemas técnicos inherentes a la instalación de una tecnología novedosa en el país, muchos problemas estén relacionados con la multiculturalidad intrínseca al proyecto. Y es que cuando se trata del desarrollo de productos con fines de comercialización, inevitablemente, la cultura económica, en sus formas mercantil, financiera, etcétera, está obligada a dialogar con la

⁵² El modelo del triángulo de Sábato (Sábato y Botana, 1968) define cuáles son las esferas a través de las cuales tienen lugar los *flujos de conocimiento* y que tipo de relaciones se establecen entre ellas. Por un lado, la estructura científico-tecnológica, compuesta por el sistema educativo, laboratorios, mecanismos jurídico-administrativos, recursos económicos, etc, debe estar coordinada con la estructura productiva de la sociedad – empresas públicas y privadas- y ambas estructuras, a su vez, con las instituciones y unidades gubernamentales responsables de promover políticas públicas y asignar recursos. De esta forma, los actores de estos vértices (gobierno - estructura productiva - infraestructura científico-tecnológica) deberían establecer “intra-relaciones” (entre los actores de cada esfera), inter-relaciones (entre los actores de diferentes esferas) y “extra-relaciones” (entre actores de una esfera con otros actores de fuera)

⁵³ El triángulo de Sábato fue enriquecido y matizado con el modelo de la triple hélice, propuesto por Henry Etzkowitz y Loet Leydesdorff en los años 90s. Según este modelo, la sociedad interacciona con tres hélices –análogas a los tres vértices que describían Sábato y Botana- a través de “extra relaciones”. Es decir, la *sociedad* se muestra como algo exterior al Sistema Nacional de Innovación. En los últimos años este modelo ha sido cuestionado por su limitación a la hora incorporar el *conocimiento colectivo* emanado de la sociedad como parte del engranaje fundamental en los procesos de cambio técnico. De ello, el modelo de *cuádruple hélice*, que incorpora a la sociedad dentro del SNI, emerge como nuevo marco teórico-metodológico para el análisis de las formas de producción y uso del conocimiento. En el caso del proyecto boliviano de la PPB, en tanto que *artefacto capacitante* contingente en su *flexibilidad interpretativa*, resulta conveniente la incorporación de una hélice adicional correspondiente a *la sociedad*. Algo, por otra parte, ya discutido de un modo extenso en el triángulo de Sábato.

burocrática, y éstas, a su vez, con la científico-técnica que se corresponde con la base material del negocio. De manera que si esto no se da se producirán distorsiones que afectarán al desenvolvimiento del proyecto en su conjunto.

Pero esto no sólo ocurre a nivel interinstitucional. También en el plano intrainstitucional existe la necesidad de armonizar los diferentes planos del lenguaje que se articulan en las culturas de los diferentes actores involucrados. A modo de ejemplo, cuando se habla, de *vincular* el conocimiento generado en las universidades con las empresas surgen controversias de diversa índole, no sólo porque esto contrapone diferentes culturas, sino además, debido en muchos casos a la existencia de un trasfondo ideológico (Dagnino y Thomas, 2000). La enajenación del “ethos” científico que señalaba Robert Merton supone, en cierto modo, una ruptura con la *cultura académica* dado que, al mismo tiempo, existe una demanda de capitalización de la investigación (Dagnino et Al, 1996). Puesto que “hoy se reconoce la necesidad de lograr un equilibrio entre la demanda de resultados prácticos y la libertad de investigación” (Albornoz, 2007), y esta afirmación evidentemente también aplica en el caso del proyecto boliviano, ¿cómo consensuar de forma equilibrada estas dos culturas? Hay que reconocer que los mecanismos para hacer ciencia al “estilo tradicional”, es decir, salvaguardando el “ethos” científico, son conocidos, sin embargo, el desafío surge cuando se trata de acoplar esto armónicamente con la lógica empresarial, algo que, por otro lado, consiguieron hacerlo de modo más o menos satisfactorio algunos países⁵⁴.

En el caso de la industrialización del litio boliviano, a pesar de tratarse de un proyecto “tecnocientífico” que ve a la ciencia y a la tecnología como herramientas necesaria para obtener un fin concreto: la elaboración de productos comercializables derivados del litio, la mirada “no instrumental” de la ciencia también está presente, en tanto que se reconoce la necesidad de profundizar en la investigación básica y aplicada como vía para desarrollar las capacidades científicas nacionales, al tiempo de generar actitudes racionales críticas. De esta forma, existe una pequeña comunidad científica de las universidades con una cultura tradicional que colabora con el proyecto. Sin embargo, a nivel de los grupos de investigación directamente involucrados, esta cultura queda subsumida frente a la cultura económica que se dicta desde la Gerencia del proyecto. Asimismo, esta incipiente red de proyectos e institutos de I+D relacionada con algunas líneas de investigación sobre el litio y sus usos en la acumulación energética, difícilmente podrá romper la desarticulación y superposición propias del Sistema Nacional de Innovación (Bisang, 1995)⁵⁵, sin *vincularse* previamente con las demandas concretas a las que deben responder las BdL

Por su parte, tal y como vimos, la cultura burocrática, más allá de – como decía Weber –, “orientarse a la optimización de actividades sobre la base de una división del trabajo establecida con criterios objetivos”, en muchas ocasiones genera conflictos antagónicos con las otras dos culturas, convirtiéndose lo que debería ser un medio en un fin. En realidad, esta cultura de *reyes chiquitos*, consecuencia de un fenómeno de *path dependancy* al interior de COMIBOL, gobierna prácticamente la totalidad del proyecto –al interior de la GNRE-, lo cual le confiere a ésta un carácter transversal. Así, no sólo es suficiente que los científicos e ingenieros conozcan los mecanismos burocráticos, también deben ser capaces de expresarse con este lenguaje imponiéndose la necesidad de construir una *interfase cultural* unívoca con la que deben intersectarse el resto de culturas.

⁵⁴ En 1980 la Ley Bayh-Dole en EEUU modificó la relación entre universidad, gobierno e industria en el ámbito de la comercialización tecnológica. El efecto que supuso que dos culturas, tradicionalmente incomprensibles, comenzasen a acercarse fue un incremento del 160% en 15 años de la inversión en I+D subcontratada en las universidades (Cotec, 2003). No obstante, cabe señalar que a consecuencia de esta ley la lógica empresarial ha inundado las universidades, pervirtiendo el “ethos científico” Mertoniano y generando conflictos entre éste y los intereses del capital.

⁵⁵ Debido a la desarticulación y superposición propias de estos Sistemas Nacionales de Innovación (SNI), Bisang prefiere referirse al “conjunto de instituciones de CyT” (Bisang, 1995). Según Lalouf (2013), el problema surge cuando se convierte a los SNI en conceptos normativos ideales, dejando de lado las causas sociales de los SNI reales.

El reconocimiento de la existencia de diversas culturas confluyentes en el proyecto pero que, sin embargo, son divergentes en su naturaleza, redundando en la necesidad de buscar aquellos mecanismos que permitan avanzar en un sentido convergente. Pero esta dificultad no sólo se presenta cuando se trata de establecer diálogos entre, por ejemplo, una cultura científica con otra administrativa, ambas totalmente diferentes. Incluso dentro de una misma cultura, o culturas más afines, como podrían ser la científica y la tecnológica, también surge la necesidad de establecer comunicaciones en un contexto de búsqueda de objetivos comunes (Vessuri, 2004).

Dentro de estas culturas científico-técnicas –o, más bien, diremos disciplinas-, evidentemente nada tiene que ver ni a nivel de investigación básica o aplicada, ni de tipología tecnológica, la explotación de la salmuera para transformarla en carbonato de litio, con la producción de baterías de litio. En el primer caso, campos como la geología, hidrología son especialmente relevantes, mientras que en el segundo caso lo son la electroquímica o la caracterización de materiales. Tampoco se parece el diseño, la construcción y el equipamiento de las piscinas de evaporación del Salar de Uyuni, o la planta de producción de carbonato de litio, con la planta de manufactura de baterías de litio. El hecho de que el desarrollo de la cadena de valor del litio está impregnado de una fuerte presencia de las culturas científica y tecnológica conlleva, no sólo a que exista una tendencia a la compartimentalización del conocimiento, también dificulta la *comunicación intradisciplinar*, pues el lenguaje de un geólogo nada tiene que ver con el de un físico del estado sólido, por ejemplo. A pesar de que este fenómeno es común a cualquier empresa industrial de un cierto tamaño, el problema, en el caso boliviano, radica en el hecho que la falta de esta comunicación interdisciplinar tiene como consecuencia una falta de visión compartida sobre el alcance del proyecto, debilitando la propia cohesión organizacional.

Por otro lado, existe algo que sería ciertamente criticable desde el punto de vista de la *teoría de la agencia*: puesto que la ejecución de este proyecto está a cargo de una empresa estatal, además de las culturas características que se podrían encontrar en cualquier empresa privada productiva de gran tamaño, en este caso la cultura política adquiere un carácter preeminente. De este modo, la inevitable coexistencia de culturas antagónicas, orbitando a una fuertemente ponderada cultura política suscita la aparición de múltiples *interfases culturales*, dónde se producen – haciendo uso de la terminología empleada en teoría de grupos- fenómenos de inclusión o intersección, que pueden conducir a entendimientos mutuos, pero también a diferencias como consecuencia, o bien de un irreconciliable conflicto de intereses, o bien del manejo de *planos del lenguaje* muy distintos.

Por lo tanto, el emprendimiento estatal boliviano se presenta como multidisciplinar, aunque no sólo en su dimensión científico-tecnológica, también en el ámbito de la gestión. La presencia de múltiples culturas: científica, burocrática, económica, política, etc se refleja tanto en la complejidad para establecer diálogos interinstitucionales con objetivos corporativos comunes, como en la toma de decisiones frente a los estímulos dirigidos por la pluralidad de actores externos al proyecto, pero partícipes en él a diferentes niveles. De nuevo la necesidad de armonizar un diálogo intercultural que responda de manera equilibrada a todos los intereses en pugna emerge como condición de viabilidad del proyecto, pues una ruptura de los frágiles equilibrios puede devenir bloqueos en los flujos de información y conocimiento y, en última instancia, en bloqueo operativo. Para ello, la construcción de espacios de diálogo comunes, diseñados para que tenga lugar una *hibridación de lenguajes*, resulta crucial en la búsqueda del acercamiento de culturas.

Dicho de otro modo, el desempeño del proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia depende en gran medida de la capacidad para la construcción de interfases múltiples, tanto disciplinares, como culturales, las cuales cumplan, por una parte, el rol de coordinar acciones en la búsqueda del objetivo común manteniendo el equilibrio de intereses de los múltiples actores y, por otra parte, sirviendo como canales para la difusión y transferencia de información y conocimiento, tanto al interior de la institución, como hacia el exterior.

A modo de reflexión final, una alternativa para el establecimiento de canales de comunicación recíprocos entre diferentes ramas científicas y técnicas es mediante la construcción de espacios de investigación transdisciplinarios o *interfases disciplinares*. Éstas actúan como fronteras del conocimiento vinculando dos o más especialidades que, de otro modo, se encontrarían desligadas y, puesto que intersectan varias disciplinas, además de activar flujos de información, potencian una sinergia contingente. Lo que se busca, en definitiva, es desdibujar las fronteras, romper los espacios compartimentados para impulsar nuevas formas de producción de conocimiento (Gibbons, 1997). Para el establecimiento de *interfases activas* que sirvan como verdaderos puentes tendidos para permitir flujos de conocimiento capaces de conectar diferentes culturas y disciplinas, los agentes asignados deben conocer tanto las culturas y disciplinas, como los lenguajes propios sobre los que la interfase pretende intersectar. De otro modo, en lugar de puntos de contacto capaces de vincular diferentes dimensiones en su heterogeneidad, existirán discontinuidades inhibitorias de la comunicación entre aquellas. Queda por ver si la nueva YLB es una mera continuación de la cultura COMIBOL –gobernada por una hegemonía burocrática- o si por el contrario será capaz de articular a los actores, equilibrar planos del lenguaje y culturas y generar estas interfaces activas.

Capítulo 8: El proceso de construcción de una caja negra.

8.1 Perspectiva de análisis: La PPB como ensamble socio-técnico

La industrialización de los recursos evaporíticos en Bolivia representa un ejemplo paradigmático de política pública en materia de ciencia, tecnología e industria, no sólo por el momento histórico en el que acontece, gobernado por el paradigma neoliberal, o porque en su plano teórico y discursivo alude a un debate histórico sobre las formas en que se vincula la ciencia y la tecnología con el desarrollo. Sino porque las baterías de litio, en tanto forma industrializada de un recurso natural útil para la satisfacción de necesidades en sentido amplio, encierran un fuerte potencial de *ensamblaje sociotécnico* que pone de manifiesto como sociedad y tecnología, más que determinarse recíprocamente, emergen como dos caras de una misma moneda (Bijker et Al, 1987).

Empero, si además tratamos de analizar los procesos históricos que se encuentran detrás de los resultados que devinieron en el estilo tecnológico concreto con la que dio comienzo el proyecto de baterías de litio boliviano, entonces, deberán considerarse aquellos abordajes que intentan captar la complejidad de los procesos de cambio tecnológico, rechazando las distinciones a priori entre “lo tecnológico”, “lo social”, “lo económico” y “lo científico” (Thomas, 2008). Al respecto, encontraremos que los elementos fundamentales a ser considerados a la hora de estudiar los procesos de cambio técnico están aquí presentes. A saber, los artefactos, los significados atribuidos a estos por los diversos grupos sociales involucrados en su desarrollo, y las relaciones sociales entre dichos grupos. En palabras de Hughes, los análisis sociológicos, tecnocientíficos y económicos están permanentemente entrelazados en un *tejido sin costuras* (Hughes, 1983), lo cual resulta funcional para este estudio de caso. Por una parte, el carácter público del proyecto boliviano imprime relevancia al modo en que se juegan las relaciones de poder. Por otro, el gran número de grupos sociales relevantes y culturas involucradas en el proyecto ensamblan socio-técnicamente las posibilidades de la tecnología en cuanto a su apropiación y uso, con la construcción social de la misma. De esta vinculación de las baterías con el entorno sociocultural y político del grupo social encargado de la *traducción de los intereses* del resto de los actores⁵⁶ –la

⁵⁶ El actor-red del proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos incluye diverso actores humanos y no humanos. Entre ellos, destacan el Gobierno boliviano –desde la jefatura del Estado, hasta los funcionarios de múltiples instituciones-, que participan de la gestión administrativa, facilitando o bloqueando el avance del proyecto en función de sus intereses, ideología, pugnas por el poder, rencillas, etc. Instituciones financieras, como el Banco Central de Bolivia), responsable de la concesión del crédito para el desarrollo del proyecto, la sociedad civil, como beneficiario de los réditos del emprendimiento, expectante a los resultados del “proyecto estrella” del Gobierno. Pero también, sector crítico, que no comulga con el modelo de explotación estatal y presiona para cambiar el modelo

Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos-, se derivaron los significados en cuanto valor que le fueron atribuidos al artefacto en cuestión: 1) Como valor de cambio, 2) Como valor de uso, y 3) Como valor tecnológico (Ver Bloque 5).

Por otra parte, siendo que la construcción de hechos es un fenómeno colectivo, las tácticas para interesar a la gente por el resultado de una determinada afirmación pasan por atravesar la posición de los rivales y ayudarles a promover sus propios intereses. En este sentido, materializar un hecho implica articular una versión que traduce a todas las demás y adquiere un carácter hegemónico: *sea lo que sea que quieres, también quieres esto*. De este modo, la dificultad para la construcción de una caja negra (la instalación y puesta en marcha planta piloto de baterías llave en mano) radica en enrolar a los demás para que crean en ella, controlar su conducta, reunir los recursos suficientes y conseguir que la difundan a lo largo del espacio y el tiempo.

Durante la trayectoria del proyecto estatal de implementación de la planta piloto de baterías de litio, que hoy opera en la localidad de La Palca (Potosí), un germen impulsor del hecho operó una serie de traducciones de intereses, enrolando nuevos grupos, buscando aliados (humanos y no humanos) y reorganizando dinámicamente objetivos, hasta construir una incipiente caja negra: la planta piloto de baterías. El proceso de construcción de hechos en este ejemplo concreto se vincula al discurso en la medida en que la acción involucra diversos actores insertos en un escenario formal donde la disciplina y la forma del discurso están fuertemente arraigadas en la esfera del poder. De ello, las herramientas epistemológicas empleadas para la fundamentación de afirmaciones, aunque desafiante en sus contenidos, no podían sino atender a una retórica basada en el estatuto de las convenciones.

En definitiva, este Capítulo pretende, mediante un estudio cronológico, desvelar el proceso de construcción de algunos hechos relacionados con la planta piloto de baterías, a fin de dar luces sobre las posibles causas y decisiones que permitieron alcanzar determinados hitos. Como dijimos, las baterías de litio, además de cumplir ese complejo rol de valor de uso, de cambio y tecnológico, en cuanto valor de uso pueden ser resignificadas y reinterpretadas, lo cual depende del entorno socio-cultural en el que surgen. Así, para indagar sobre este aspecto, se pretende describir algunos de los ingredientes técnicos y no técnicos que configuraron el ensamble socio-técnico que es la PPB y que condicionaron sus posibilidades de flexibilidad interpretativa.

8.2 La construcción de la caja negra: Cronología y hechos.

Etapas I: Conceptualización, diseño y financiación.

Con el anuncio de la industrialización del litio, numerosas firmas trasnacionales mostraron su interés por participar junto con el gobierno en la explotación de la mayor reserva mundial de litio, entre ellas la empresa francesa Bolleré, 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 Blue Car. De regreso a Bolivia, el jefe de gobierno manifestaba su deseo de que Bolivia produjese baterías de litio para la nueva generación de vehículos eléctricos. Fue este el momento en el que surgió la idea de que Bolivia debía participar en la producción de estos dispositivos de almacenamiento, aunque lo que realmente significaba la realización de la idea era que, a través de las baterías de litio, Bolivia ingresaría en la modernidad, daría cumplimiento al sueño de la industrialización de los recursos naturales y, en última instancia, daría 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 el proyecto 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 incondicionalmente.

de gestión, universidades, interesadas en captar recursos, participando con su conocimiento, etc (Ver Capítulo 7). Pero además, el actor-red contiene actores no humanos, como son las propias baterías de litio, estudios de viabilidad, equipos de producción, entre otros.

La incorporación del gobierno como aliado en la acción constructiva del hecho 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), US\$ 400 millones fueron comprometidos por el Gobierno⁵⁷.

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* mediante el cual la GNRE, y concretamente un reducido grupo de ingenieros a cargo del diseño del proyecto, adaptaron el objeto de manera que este fuese capaz de satisfacer los intereses explícitos de la jefatura del estado, a sabiendas de que sin este aliado clave el proyecto no sería posible. Para ello, En primer lugar, fue necesario la creación del instrumento capaz de sustentar la afirmación “Bolivia producirá baterías de litio”; el cual fue construido a base de un núcleo técnico capaz de proyectar la futura caja negra: un estudio de pre factibilidad de un proyecto industrial de baterías de litio.

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*⁵⁸, pero además, fue también el primer objeto capaz de trasponer la idea a un elemento cognitivo material y con capacidad de difusión.

Ahora bien, a pesar de que el estudio presentado al presidente del gobierno contenía los elementos básicos del dimensionado del proyecto⁵⁹, así como las proyecciones financieras, no detallaba los pasos a seguir para alcanzar el objetivo contenido en la afirmación. No sólo esto. El primer estudio complacía los intereses explícitos del presidente Evo Morales, es decir, ponía números y letras; gráficos tablas y figuras, a la idea de una industria de baterías de litio, sin embargo, ¿era esta la mejor opción estratégica para llevar a cabo la industrialización de los recursos evaporíticos?

La inquietante cuestión sobre la pertinencia estratégica de la formulación inicial, sumada a la incertidumbre en la trayectoria de implementación fueron el motivo y la oportunidad para reorganizar intereses y objetivos. La alternativa de un proyecto de inversión de US\$ 400 millones para la instalación de una megafactoría de producción de baterías de litio planteaba un serio problema estratégico: no explicitaba como 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-. De ello, el proyecto que finalmente fue aprobado proponía la transformación de la materia prima – salmuera concentrada en litio- en productos comercializables derivados con diferentes grados de transformación: 1) carbonato de litio (grado comercial), 2) carbonato de litio

⁵⁷ 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 US\$ 400 millones, aceptando en esta Fase III 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.

⁵⁸ En Ciencia en Acción, de Bruno Latour, el autor identifica diferentes formas de traducción de intereses: a) primera traducción: quiero lo que tú quieres, b) segunda traducción: yo lo quiero, ¿por qué tú no?, c) tercera traducción: si sólo dieras un corto rodeo..., d) cuarta traducción: reorganizar los intereses y objetivos, e) quinta traducción: volverse indispensable. A lo largo de este capítulo se ejemplificarán algunas de estas traducciones de intereses en relación al proyecto de industrialización del litio en Bolivia.

⁵⁹ El estudio de pre factibilidad presentado al presidente del Estado Plurinacional de Bolivia contenía los siguientes acápites: i) estudio tecnológico, ii) estudio de mercado, iii) dimensionamiento del proyecto industrial, iv) diseño de planta piloto y laboratorios, v) estados financieros.

(grado batería), 3) sales derivadas del carbonato de litio (fluoruro de litio, hidróxido de litio, etc) , 4) precursores para baterías de litio (materiales catódicos y sales de electrolito), y 5) baterías de litio. Los productos comercializables se corresponderían con las coordenadas de la cadena de valor del litio, en la que aquellos no sólo tendrían el rol de ser mercancías, en cuanto valor de cambio, comercializables en los mercados internacionales de productores de aplicaciones, sino que además cumplirían el rol de valor de uso, pues servirían como insumos de producción para el eslabón siguiente de la cadena. En definitiva, se posicionó el postulado estratégico: 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.

Validada la coherencia estratégica -por la Gerencia de la empresa- del macroproyecto, faltaba por 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: comenzar el proyecto con una primera etapa a escala piloto.

Así, el 14 de marzo de 2011, el Ministerio de Minería y Metalurgia emite la Resolución Ministerial 055, según la cual se aprueba el estudio de pre factibilidad “Sales derivadas del carbonato de litio con alto valor añadido y baterías de litio” para la Fase III (Industrialización), por un monto de US\$ 400 millones, al mismo tiempo que insta al Banco Central de Bolivia (BCB) a financiar el proyecto “Implementación de planta piloto de baterías de litio en Bolivia” por un monto de Bs. 35.350.000 (US\$ 5 millones) correspondiente a la ejecución de la primera etapa de la Fase III de industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia. Poco después, el 13 de mayo, se firma entre COMIBOL y el BCB el contrato SANO N°179/2011 por la cantidad de Bs. 35.350.000 (US\$ 5 millones) 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. El 10 de Junio del 2011 tiene lugar el primer desembolso por un monto de Bs. 3.612.429. Con este primer desembolso dio inicio el proyecto de implementación “Planta piloto de baterías de litio en Bolivia”. Sin embargo, ni la firma del contrato con el Banco Central de Bolivia, ni el primer desembolso, aseguraban el éxito en la instalación de la planta piloto de baterías. Muchos asuntos tendrían que ser resueltos todavía.

Este primer desembolso del Banco Central de Bolivia tenía como objetivo crear el equipo que sería el encargado de implementar el proyecto de la planta piloto, no obstante, aún era necesario definir al proveedor de la tecnología y los equipos, firmar el contrato, definir la ubicación del proyecto, preparar las infraestructuras y reservar fondos para el arranque (desaduanización, por ejemplo) y cobertura de los costos de operación (transporte, suministros, personal, insumos etc). Para ello, entre otras actividades, se debía desembolsar el resto del monto establecido en el contrato.

A pesar de la decisión desde la jefatura de gobierno de avanzar con la industrialización del litio, desde la cartera de estado de minería –institución rectora del proyecto y responsable de aprobar los desembolsos- la implementación de este proyecto suscitaba una serie de dudas y prejuicios que dificultarían la liberación de los sucesivos desembolsos.

Por una parte, el restrictivo marco legal⁶⁰ no alentaba el desarrollo de un emprendimiento innovador de alta tecnología como era la instalación de una planta de baterías de litio, pues este

⁶⁰ La ley Marcelo Quiroga Santa Cruz, promulgada por el Gobierno de Evo Morales en marzo de 2010, tiene por objetivo “prevenir, investigar, procesar y sancionar los actos de corrupción cometidos por los servidores y servidoras públicas”, sin embargo, en muchos casos, esta ley más que satisfacer su objeto, ha sido motivo de bloqueo y elusión de responsabilidades en la toma de decisiones de los servidores públicos, como consecuencia del miedo al castigo. De manera que “la forma más segura que tiene un servidor público de evitar cualquier sanción es no firmar ningún documento”, aleaba un funcionario del Ministerio de Minería.

proyecto era percibido como ajeno a las competencias del tradicional sector de la minería y metalurgia. Por otro lado, desde la propia Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos, la decisión de adjudicar el proyecto – que se traduciría en aceptar la propuesta de un proveedor determinado – debía estar absolutamente justificada, dado que ante cualquier eventualidad la perniciosa responsabilidad penal recaería sobre las espaldas de aquellos funcionarios que lo autorizasen.

Etapas II: Selección de la tecnología y determinación de la *trayectoria socio-técnica*.

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 (T.U Delft). La segunda provenía de la empresa finlandesa European Batteries y la última de la firma china Linyi Dake, Ltd. Las dos primeras propuestas, con un elevado grado de automatización, garantizaban productos capaces de superar los más exigentes estándares de calidad y, por tanto, certificables para su comercialización en la Unión Europea, 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 decisión 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 puso de manifiesto 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 adquiere un paquete tecnológico protegido y altamente agregado que, finalmente, no conduce a la apropiación de la tecnología?

Para romper el mito de la modernidad asociado a la “última tecnología”, se propuso que el proyecto piloto debía cumplir el objetivo de potenciar la capacidad de absorción de tecnología de los ingenieros y científicos nacionales, además de no comprometer una inversión excesiva. De este modo, los intereses tanto de la GNRE, como del MMM fueron traducidos: *es posible implementar el proyecto con una inversión razonable*, lo cual no sólo 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 hacia 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, por parte del ingeniero responsable, tras su visita en Diciembre de 2011 a las instalaciones de la empresa China Linyi Dake, Ltd. De este modo, el segundo desembolso por un monto de Bs. 21 millones, programado inicialmente para el mes de Julio de 2011, fue efectivizado en diciembre de 2011, mes en el que se adjudicó el proyecto de planta piloto de baterías a la empresa china.

De este modo, comprobamos que el ambiente socio-cultural “es algo que informa tanto [sobre] el rango de los artefactos comprendidos en su flexibilidad interpretativa como los posibles mecanismos de clausura” (Pinch, 1997). El modo en el que fue zanjada esta controversia, sobre la tecnología más conveniente a seleccionar para la PPB, supone un desplazamiento del vector causal, sobre la influencia que los procesos sociales ejercen sobre el desarrollo científico o tecnológico –y viceversa-. En el caso del proyecto de baterías de litio boliviano, las consecuencias sobre el impacto social que pueden tener los cambios científicos y tecnológicos no podrían haber sido iguales si se hubiese apostado por contratar un proyecto con “tecnología de punta”.

El hecho de apostar por una estrategia de desagregación del paquete tecnológico y de acumulación de capacidades internas implica una inversión del vector causal reforzando la influencia que pueden tener los artefactos y el desarrollo tecnológico en el devenir de las relaciones entre los seres humanos. Mientras que la adquisición de un paquete cerrado y protegido implica constreñir las posibilidades de *resignificación de la tecnología*, en tanto que los científicos, técnicos e ingenieros que operarían aquella planta sintetizarían su función a la de meros técnicos operarios de una *caja negra* que devuelve un producto unívocamente diseñado. Por el contrario, la *desagregación del paquete tecnológico* y su apropiación aumenta la permeabilidad para que “lo social” penetre en “lo técnico”. En otras palabras, la estrategia planteada por la GNRE, que se plasmó en la decisión de contratar una determinada empresa, afectó a las posibilidades de *flexibilidad interpretativa* (ver Capítulo 9) y sentó las bases de la futura *trayectoria socio-técnica* de la planta.

Si este era un paso importante, el proyecto no estaría asegurado hasta la firma del contrato, pues sólo en este momento el compromiso de ejecutar el proyecto quedaría confirmado: a través de la transferencia de fondos a la empresa proveedora⁶¹. La entrada de año vino acompañada del relevo en la cabeza del Ministerio de Minería y Metalurgia, decisión que no favorecería el avance del proyecto. El nuevo ministro ni apostaba por el proyecto ni compartía la visión de la importancia del desarrollo de capacidades internas como condición necesaria para alcanzar la soberanía en la gestión y operación de los proyectos de ingeniería. Al contrario, era partidario de no implicarse en emprendimientos relacionados con rubros alejados de la minería tradicional, y aún menos, si el objetivo no era obtener retornos inmediatos. Sumado a esto, las desavenencias políticas con la gerencia del proyecto de evaporíticos operaban como bloqueo sistemático a cualquier acción planteada desde la GNRE.

En este punto, un importante escollo para la firma del contrato tenía que ver con dar una respuesta a las expectativas de la planta piloto de baterías: ¿qué se podía decir sobre la comercialización de productos? Ciertamente, de la respuesta a esta pregunta dependía en gran medida el éxito o el fracaso del proyecto. La gerencia del proyecto conocía muy bien lo que suponía comprometer la comercialización. En la Fase I del proyecto – producción piloto de carbonato de litio y cloruro de potasio en el Salar de Uyuni-, se definieron a priori los cronogramas y volúmenes de producción de ambas sales a ser comercializados, sin embargo, esto no se cumplió. Si bien se anunció públicamente que la producción de sales de potasio y litio comenzaría en 2011, esto no ocurrió hasta 2013 y 2014 respectivamente, lo que supuso una enorme presión política y mediática para la gerencia del proyecto.

Por tanto, ¿cómo comprometer la comercialización de baterías de litio, teniendo en cuenta la inexistencia de masa crítica, el desconocimiento de la tecnología, las formas de organización y de comercialización, la falta de *recursos complementarios*, y en definitiva, sin conocer el negocio? Afirmar públicamente que Bolivia comercializaría baterías era equivalente a dar un paso de fe. Evitar esto suponía una reinterpretación de los objetivos convincente y apropiable por la gerencia del proyecto: *la planta piloto sería exclusivamente una escuela para la formación y la capacitación de los técnicos, científicos e ingenieros bolivianos que, en un futuro, serán capaces de seleccionar tecnologías para un proyecto a escala industrial y que, además, adquirirán las habilidades necesarias para hacer investigación, desarrollo e innovación en esta y otras disciplinas relacionadas con la alta tecnología*. ¿Habría sido posible alcanzar los mismos términos que se negociaron con la firma ACI Systems para el proyecto industrial de no haber existido el proyecto piloto?

⁶¹ La forma de pago negociada y establecida para la ejecución del contrato de adquisición de tecnología y equipos era mediante carta de crédito, según el cual, diez días después de la protocolización del contrato, la GNRE depositaría el monto total del contrato en el Banco Central de Bolivia. La liberación del pago a la firma proveedora sería en función del cumplimiento de determinados hitos: i) anticipo, ii) embarque de equipos en China, iii) instalación y puesta en marcha de los equipos en Bolivia.

Bajo esta premisa, la negociación del contrato con la firma china culminó en fecha de 6 de junio de 2012. Las operaciones de protocolización y apertura de carta de crédito demoraron hasta el 3 de Septiembre de 2012, fecha en la que comienza formalmente el proyecto, según lo estipulado en el contrato CTTO.COMIBOL.GNRE.INT-011/2012.

Etapas III: Preparación de infraestructuras, instalación y sostenibilidad operacional.

Al mismo tiempo, a medida que se avanzaba en la definición de la firma de contrato, el problema de la localización del proyecto se acrecentaba. La planta había sido diseñada sin contar con ubicación física alguna, lo que implicaba que, tarde o temprano, habría que hacer numerosos ajustes teniendo en cuenta el emplazamiento final. Este problema se resolvió mediante una nueva traducción de intereses, pero esta vez de parte del ministro: *yo lo quiero, ¿por qué tu no?* Desde el MMM se propuso que el proyecto fuese instalado en una antigua operación de la COMIBOL, en la planta de volatilización de estaño que operó en la localidad de La Palca (Potosí) hasta 1985, año en que cayó el precio del estaño y la volatilizadora tuvo que clausurar sus operaciones. Si bien desde el inicio del proyecto siempre se consideró que la ciudad de La Paz o El Alto eran las mejores candidatas para instalar el proyecto piloto⁶², la propuesta del Ministerio comportaba una enorme ventaja: el predio era lo suficientemente extenso (80 hectáreas), como para poder instalar el complejo tecnológico-productivo para la industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia, habilitando inmediatamente la posibilidad de negociar proyectos a mayor escala y poder trabajar en la ingeniería de los proyectos industriales incorporando las variables relacionadas con la localización. De este modo, a sabiendas de que el motivo por el que el ministro proponía esa ubicación era su origen potosino y su peso político en el departamento, además de ser “comunario” de una comunidad aledaña a La Palca, desde la GNRE se aceptó la propuesta, también ponderando que si no se definía la localización del proyecto, no era posible firmar ningún contrato.

Fue así que el 6 de Junio de 2012, el mismo día de la firma del contrato con la empresa proveedora de la tecnología y los equipos, a través de Resolución Administrativa RES-DGAJ-076/2012 la COMIBOL cede parte de los predios de La Palca, Potosí a la GNRE para la instalación del proyecto “Planta piloto de baterías de litio en Bolivia”; así como para dar inicio a los trabajos iniciales relacionados con la ejecución de lo establecido en el documento “Estudio de pre factibilidad sales derivadas del carbonato de litio con alto valor agregado y baterías de litio”.

De este modo, a mediados de 2012, y en un solo día, tenía lugar el punto de inflexión en la trayectoria de la construcción del hecho ideado en 2009, y anunciado en octubre de 2010 por el presidente del Estado Plurinacional de Bolivia. Parecía que todo se encauzaba, y que dentro de poco la planta de baterías de litio sería una realidad. Pero no fue así, al menos de manera inmediata. El cierre del contrato con la empresa china supuso la ejecución completa del segundo desembolso (Bs. 21 millones), y con la confirmación del nuevo emplazamiento, se hacía apremiante la inyección de fondos para la refacción de infraestructuras⁶³ y la instalación de servicios de suministro (electricidad, telecomunicaciones, vías, etc).

Por otra parte, el remanente del contrato SANO 179/2011, de aproximadamente us\$ 1.5 millones, en ningún caso sería suficiente para cubrir el capital de operación de la planta de baterías. Es decir,

⁶² Los criterios establecidos para la localización del proyecto eran: a) clima seco (requisito intrínseco a la tecnología de baterías de litio), b) infraestructura de transporte (aeropuertos internacionales) y comunicaciones, c) recursos complementarios (acceso a suministros, talleres, empresas de ingeniería, proveedores de partes e insumos, etc).

⁶³ El plazo establecido por contrato para que la GNRE dotase de suministros la antigua operación de La Palca y llevase a cabo la refacción de las infraestructuras que albergarían la planta piloto era de un año. Para ello un antiguo galpón, utilizado en el tiempo en que operaba la volatilizadora de estaño como laboratorios, tenía que ser reconvertido cumpliendo los requisitos tecnológicos y de espacio impuestos por la empresa proveedora para poder operar la planta de baterías. Esto implicaba: i) la construcción de un segundo piso, ii) control de temperatura y humedad en los ambientes, iii) suministro de gases especiales para la producción, iv) suministros generales (agua, electricidad, comunicaciones, vías, etc)

los fondos alcanzaban exclusivamente para arrancar la planta piloto, por tanto, para poder operar la planta después del arranque y, en definitiva, para dar continuidad al proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos—para el que el gobierno había comprometido un monto de US\$ 400 millones—, una vez definida la ubicación geográfica de las futuras industrias relacionadas con la industrialización del litio, el equipo técnico de la GNRE a cargo del proyecto presentó el 27 de Agosto de 2012 al MMM un estudio a nivel de ingeniería básica: “Proyecto de implementación del Centro de Investigación, Desarrollo y Pilotaje – CIDYP, La Palca, Potosí”, como segunda etapa del estudio de pre-factibilidad económica “Sales derivadas del carbonato de litio con alto valor agregado y baterías de litio”, solicitando una nueva inversión estatal de Bs. 237.274.016 (us\$ 35 millones, aproximadamente), para culminar la etapa de infraestructura y equipamiento para investigación, desarrollo y pilotaje, e iniciar las etapas de industrialización (que implicarían comercialización).

La visión que tenía sobre el proyecto el MMM sumado a las rencillas políticas con la GNRE dio lugar a una nueva demora en los últimos desembolsos del contrato SANO 179/ 2011. Así, el tercer y cuarto desembolso fue efectuado en diciembre de 2012 por un monto de Bs.10.737.571 para su ejecución en 2013, no obstante, la solicitud hecha por el equipo técnico de la GNRE para disponer de capital de operación y dar continuidad al proyecto no sería atendida hasta tiempo más tarde.

Ahora el monto solicitado era mucho mayor, y con ello la responsabilidad de los funcionarios públicos que aprobasen el proyecto. A principios de 2013, en una reunión en el Banco Central de Bolivia, a propósito de la tramitación del nuevo contrato que debía ser firmado entre la GNRE y el BCB, previa emisión de una Resolución Ministerial del MMM respaldando el proyecto, el ministro afirmaba que “todos los ex ministros de minería acababan en la cárcel por la aprobación de proyectos...”, de lo que se destilaba la enorme susceptibilidad del ministro para dar el visto a bueno al avance del proyecto. Tuvo lugar entonces, una vez enrolados la jefatura del estado y la gerencia del proyecto, un trabajo de reorganización de objetos e intereses en paralelo a la búsqueda de nuevos grupos de aliados.

El equipo de ingenieros de la GNRE a cargo del proyecto identificó un nuevo grupo de aliados que podrían apoyar la construcción del hecho: *los usuarios de los sistemas fotovoltaicos* que trabajarían con las baterías de litio producidas en Bolivia. Dada la situación de una enorme población dispersa en el país, en condiciones de pobreza energética, la provisión de sistemas de generación a partir de fuentes renovables de energía —energía solar- acoplados a un dispositivo de almacenamiento —baterías de litio- emerge como una excelente alternativa tanto técnica como económica para solucionar el problema. Pero además, supone una *traducción múltiple de los intereses del gobierno*: el litio del Salar de Uyuni, transformado en productos de alto valor añadido (paradigma de industrialización), es trasladado a un producto tecnológico que permite solucionar el problema del abastecimiento energético (función social de la tecnología).

De igual manera, para que la yuxtaposición de intereses adquiriese un carácter duradero otros aliados no humanos fueron también incorporados. Fue este el caso del litio y otros metales existentes en Bolivia. Para ello, la creación de este aliado fue sustentada reforzando el *imaginario de la industrialización*, en el sentido de que las baterías de litio no sólo industrializan el litio, también abren la posibilidad de transformar otros metales como el cobalto, níquel, manganeso, cobre, entre otros, en productos tecnológicos, pues estos y otros elementos están contenidos en las baterías de litio. Al respecto, se entablaron convenios y acuerdos con diferentes universidades nacionales para la investigación y el desarrollo de estos insumos minerales, consiguiendo el doble efecto de enrolar nuevos grupos (la comunidad universitaria) y consolidar la posición de la GNRE como proyecto paradigmático de industrialización. Pero estos nuevos grupos enrolados no fueron restringidos al territorio nacional. También se firmaron convenios de colaboración y Memorándums de Entendimiento con Venezuela para el desarrollo conjunto de partes de baterías de litio en base al potencial mineralógico y tecnológico de cada país.

Se establecieron proyectos para el desarrollo de colectores de corriente de aluminio – teniendo en cuenta las enormes reservas de bauxita en Venezuela y su experiencia en el procesado del metal –, así como para el desarrollo de compuestos orgánicos para el electrolito de la batería – en base de la experiencia venezolana en petroquímica-, o también ánodos de grafito y sistemas electrónicos de control de baterías. Estos compromisos bilaterales, contraídos en la alta esfera política, sirvieron para reforzar la afirmación, al tiempo de liberar potentes imaginarios difícilmente cuestionables: ¿cómo negar un proyecto de integración regional?

Aquellos sistemas fotovoltaicos, entendidos ahora como aliados no humanos, permitieron además de enrolar a nuevos grupos, cimentar otro poderoso imaginario: *la soberanía energética*. En un contexto de crisis energética y ambiental global, con las limitaciones crecientes al uso de los combustibles fósiles y con una toma de conciencia ambiental cada vez mayor, apostar por la energía renovable – que liga indisolublemente la generación y el almacenamiento-, es apostar por el camino hacia la soberanía energética.

Contrariamente a esta fuerza de acción, desde el ministerio de minería se ejercía una fuerza de reacción en sentido opuesto que, sustentada en la burocracia, dificultaba la ejecución del proyecto. Las observaciones a temas “de forma” al estudio presentado por el equipo técnico de la GNRE para obtener financiación operaban ahora de manera contraria a lo ocurrido en octubre de 2010. De este modo atendiendo a la lógica dominante que prioriza lo administrativo sobre lo técnico, el ministerio empleó como aliado no humano el proyecto del “Centro de investigación, desarrollo y pilotaje (CIDYP), La Palca-Potosí” como herramienta capaz de bloquear el proyecto impidiendo el acceso a la financiación necesaria para cubrir algunos costos de puesta en marcha y los costos de operación de la planta. Esto dificultó las operaciones de desaduanización⁶⁴ de los equipos enviados desde china, limitó los trabajos de reacondicionamiento e instalación de infraestructuras de servicio, restringió fuertemente la contratación de personal⁶⁵ y, en última instancia, obligó a llevar a cabo la instalación de la planta en condiciones subóptimas.

A pesar de todo, 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, (CorreoDelSur, 2014) en la cual se producen actualmente, a escala piloto, baterías para celular de 0.8Ah y celdas de 10Ah que pueden ser ensambladas como baterías de 24V-10Ah para bicicletas eléctricas o para sistemas de almacenamiento de energía destinados a electrificación. Días después del inicio de operaciones de la planta piloto de baterías, el 26 de febrero, la GNRE firmó con el Banco Central de Bolivia el contrato SANO 33/2014 por una cantidad de Bs237.274.016 (US\$ 34 millones) para la ejecución del Estudio de Identificación

⁶⁴ La falta de coordinación entre la Aduana Nacional y otras instituciones del Estado, y a pesar de ser la planta piloto de baterías un “proyecto de prioridad nacional” a cargo de una Empresa Pública Nacional Estratégica (EPNE), obligó a la Dirección de Electroquímica y Baterías (DEB) de la GNRE, a cargo del proyecto, a moverse en los límites de la frontera administrativa para poder desaduanizar los equipos. En Febrero de 2013, cuando los equipos de la planta enviados desde China llegaron a la aduana de El Alto la DEB, aún a la espera de la firma de la Resolución Ministerial que permitiese la tramitación de un segundo contrato con el BCB, no tenía a disposición los fondos para desaduanizar los equipos en los términos que planteaba la Aduana. La Directora Nacional de esa institución no validaba ni el carácter de EPNE, ni de proyecto estratégico: “aquí todos pagan”, afirmaba en una ocasión. Y a pesar de la solicitud de la DEB de que la planta piloto de baterías de litio constituía una “Unidad Funcional”, según el código de comercio internacional, desde la aduana la interpretación era distinta, hasta el punto de afirmar que “la letra está viva”, es decir, las leyes y los reglamentos no son unívocos, al contrario, están sujetos a interpretación y, en definitiva, están sujetos al interés de quien los interpreta.

⁶⁵ Para el arranque de la planta piloto se contrataron veinte profesionales, entre ingenieros (químicos, eléctricos, electrónicos, metalurgistas, electromecánicos, industriales) y licenciados (químicas, física, medioambiente), sin embargo, a pesar de ser estos los profesionales que iban a ser formados en la planta, la duración de sus contratos ni tan siquiera alcanzaba al periodo de instalación (2 meses), pues el contrato SANO 179/2011 había sido ejecutado en su totalidad.

denominado “Implementación del Centro de Investigación, Desarrollo y Pilotaje (CIDYP) La Palca – Potosí”, como segunda etapa del proyecto marco “Sales derivadas del carbonato de litio con alto valor agregado y baterías de litio”. De esta manera, Bolivia da continuidad y profundiza su estrategia de industrialización de los recursos evaporíticos, a través de una segunda inversión destinada al fortalecimiento de las infraestructuras de I+D y de producción.

Uno de los mayores retos del proyecto estatal tiene que ver con la capacidad para controlar y predecir la resultante de la acción de fuerzas de acción y reacción que operan sobre el proyecto de manera espontánea. A posterior, parecería una condición necesaria, para afrontar la necesidad cotidiana de desviarse de lo planificado, contar con la hegemonía en el discurso. Para ello, la arquitectura de imaginarios colectivos se revela como una de las herramientas epistemológicas más contundente en la construcción de hechos. Y ello sólo es posible a través del establecimiento de diálogos y traducción de intereses de las diferentes culturas a las que se adscriben los grupos sociales relevantes. Además, la realización de aquellos imaginarios está mediada por la concurrencia de múltiples aliados (humanos y no humanos), de manera que el discurso generador de discursos puede resultar clave. En este caso particular, el discurso técnico generador de discurso político.

8.3 La construcción social de las BdL: Penetración de “lo social” en “lo técnico”.

La PPB de la COMIBOL cuenta con dos líneas de producto. Tal y como se ha mencionado, la primera son celdas de baja capacidad (0.8Ah) que se ensamblan en baterías para celular. La segunda, son celdas de alta capacidad (10Ah) que pueden ser ensambladas en paquetes de 240 Wh de energía en diferentes configuraciones. Estos paquetes fueron diseñados para ser usados en bicicletas eléctricas. A la hora de analizar el efecto que la adquisición de capacidades tecnológicas podría tener sobre la *resignificación* de la tecnología, atenderemos al elevado componente tácito de las tecnologías importadas y su relación con la *estrategia de transferencia de tecnología*. Pero, en forma biunívoca, la resignificación de la tecnología, abre nuevas e importantes oportunidades de aprendizaje que se exponen brevemente más adelante (en las Notas ex-post: La apertura de la caja negra). En este contexto, a diferencia de la distinción que hacen Bell y Pavitt, no pretende excluir la adaptación de la tecnología importada de la alternativa de una inversión orientada al cambio tecnológico (Bell y Pavitt, 1995). Más bien, la primera antecede a la segunda. Si, además, se tiene en cuenta la naturaleza pública del proyecto, nos encontramos que la capacidad que tiene este *actor-red* de entrelazar elementos heterogéneos de la red y de redefinir y transformar aquello de lo que está hecha (Callon, 1998) es diferente a la que hubiese existido si, por ejemplo, el responsable de la industrialización hubiese sido de otra naturaleza. Coincidiendo en la necesidad de abordar el desarrollo tecnológico “como un proceso social, no como un proceso autónomo” (Thomas, 2008), no obstante, puntualizaremos que la contribución de los dos extremos dicotómicos no son independientes de la estructura del actor-red, en tanto que de ésta dependen la *probabilidad y reverberaciones* (Collins, 1985) que se solapan y se transmiten a lo largo de toda la red de actores –humanos y no humanos-.

Diferentes modelos para el estudio de la tecnología coinciden en la necesidad de entender como los factores sociales, económicos y políticos dan forma al desarrollo tecnológico⁶⁶. Es decir, consideran lo social y lo técnico de manera equivalente. La dificultad en estos casos radica en demostrar “la manera en que los artefactos mismos contienen a la sociedad inmersa en ellos” (Pinch, 1997). En este sentido, los significados radicalmente diferentes de un artefacto, que

⁶⁶ En su análisis sobre la instalación de dispositivos solares en el norte de Mendoza, Garrido y Lalouf (2010) reflexionan “acerca de los procesos de diseño, implementación, gestión y evaluación de tecnologías orientadas a la resolución de problemas ambientales y sociales para el caso de la energía solar, que cuestionan las interpretaciones habituales sobre el fracaso relativo de tales procesos, en las que la “no-adopción” de un artefacto “técnicamente bien diseñado” se explica por motivos “sociales” (Garrido Y Lalouf, 2010).

podrían ser identificados por los distintos grupos sociales en el proyecto de BdL pueden resultar en controversias con relación a las decisiones sobre su elaboración (de *flexibilidad interpretativa*).. Recordemos que la PPB inicialmente fue diseñada para dos líneas de productos y para dos aplicaciones concretas –teléfonos celulares y bicis eléctricas-. No obstante, después de la puesta en marcha de la planta, diferentes aplicaciones y usos para las baterías comenzaron a emerger.

Por ejemplo, las celdas de baja capacidad diseñadas para baterías de celular servirán para satisfacer necesidades mínimas de energía en contextos de extrema pobreza. Es el caso de la comunidad Yuracaré de Ibarecito, un pueblo remoto en el Departamento de Beni que no está conectado a la Sistema Interconectado Nacional (SIN). La comunidad planteo *resignificar* las baterías de celular en una solución capaz de satisfacer sus necesidades básicas de iluminación. De aquí surgió el “focomovil”. Construido con una batería de litio de baja capacidad y conectada a un panel solar, permite iluminar y recargar computadoras o celulares. De modo similar, los mineros de COMIBOL usan en el interior de la mina lámparas antiguas, poco fiables y pesadas. A la luz de la nueva planta de baterías de litio se propuso diseñar un producto mejorado a partir de las celdas de 10Ah, que en lugar de packs de BdL para bicis eléctricas, sirvan para mejorar las condiciones de trabajo en la mina. En ambos casos, la tecnología original requiere de una *adaptación a las nuevas necesidades*, bien integrando pequeños paneles solares –con todo lo que eso conlleva en términos de micro-electrónica y rediseño del producto-, bien rediseñando la carcasa e incorporando nuevos componentes, e inclusive, el propio diseño de la celda. Asimismo, las baterías de bicicleta pueden ser adaptadas para aplicaciones de almacenamiento energético a mayor escala, en la línea de sistemas acoplados a parques eólicos y fotovoltáicos. En este sentido, la experiencia piloto de 3MWde generación eólica, inaugurada en Qollpana, Cochabamba, podría eventualmente aliarse con la PPB (Ver Capítulo 6.2), pues la optimización de su rendimiento depende del diseño de los acumuladores⁶⁷. En este caso, tanto las especificaciones técnicas, como las condiciones de operación implican un trabajo de reingeniería radical: pasar de los Wh de capacidad energética a los kWh. Pero también, una nueva forma de relación con los usuarios finales y de significantes – artefacto clave para la transición energética a hacia un modelo más descentralizado y sostenible-. Estos son sólo algunos ejemplos sobre los cuales existen avances concretos, en términos implicación de la PPB y la GNRE. No obstante, las posibilidades de *resignificación* son múltiples. En todos los casos, las baterías mutan con respecto a su diseño inicial y su utilidad es interpretada de modos diferentes por los diferentes elementos del *actor-red*. La GNRE traduce los intereses de los actores y los materializa en nuevos *artefactos resignificados*.

Ahora bien, no olvidemos que un aliado clave para poder acometer los desplazamientos y traducciones necesarias y alcanzar un cierre satisfactorio de las controversias asociadas a cada una de las *re aperturas* de la tecnología (Boczkowsky, 1996) son precisamente los actores no humanos: las baterías de litio y sus componentes, los equipos de manufactura y de medición, los insumos de los que se componen las baterías, etc. También son aliados los procesos y toda la tecnología incorporada en el paquete adquirido a la empresa que suministró la planta llave en mano. Por ello, es fundamental que exista un mecanismo eficaz de *interesamiento* de modo que estos aliados se mantengan –igual que el resto- enrolados en los intereses de los portavoces. De otro modo, ocurrirá lo mismo que le ocurrió a aquellos científicos que querían cultivar *vieiras en la bahía de St. Brieuc* (Callon, 1995): las baterías traicionarán a la GNRE. La única forma de que esto ocurra, y que las *baterías se mantengan fieles*, es a través de una negociación convincente con ellas o, dicho de otro modo, teniendo el control total sobre la tecnología. En los términos de la discusión, ¿qué habría ocurrido si se hubiese seleccionado a uno de los proveedores que ofrecía tecnología de última

⁶⁷ Cuando el aporte de las renovables al Sistema Interconectado Nacional (SIN) es relativamente pequeño, las fluctuaciones no afectan en gran medida al suministro. A medida que la contribución de las renovables (eólica y solar) al SIN aumenta, también lo hacen los requerimientos de almacenamiento, pues la velocidad a la que varía la producción –por variaciones de viento o radiación solar-, puede ser mayor que la velocidad a la que son capaces de cambiar su producción las plantas convencionales para compensar esta variación.

generación? Probablemente, en cualquier intento por enlazar a las BdL en un proceso de *re apertura* de la tecnología –producir una batería para una aplicación diferente de la que originalmente fue diseñada- la controversia se cerraría de modo catastrófico: los científicos e ingenieros bolivianos se verían en dificultades para desarrollar el nuevo producto a causa del encapsulamiento tecnológico que acompañaba a aquellas plantas de producción de última generación. Más aún. En el mejor de los casos, la empresa proveedora expondría argumentos legales apelando a una violación de sus derechos de propiedad intelectual.

En conclusión, los significados que a priori se dieron a la tecnología, en su etapa de diseño (Ver Sec 6.2), fueron traducidos por la GNRE y materializados a través del proceso de selección de la tecnología. Esto dio lugar al cierre de una primera controversia que condicionó las posibilidades de resignificación tecnológica. 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: a) la soberanía energética, en base a la acumulación de energía renovable, y b) la explotación de las BdL como artefacto capacitante, útil para satisfacer necesidades sociales propias. Sin embargo, esta flexibilización en la interpretación de los artefactos es posible gracias a las capacidades técnicas de los científicos e ingenieros bolivianos para modificar los diseños y procesos productivos (Hughes, 1987); 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 una mirada exclusivamente economicista.

Si bien no negamos que la tecnología per se puede ser interpretada de múltiples formas, en función del entorno, opinamos que la magnitud y dirección del vector causal que moldea la relación recíproca artefacto-sociedad depende de las capacidades que tienen los grupos que construyen los artefactos materiales para modificarlos. La desagregación y apropiación de la caja negra que es – o era- la PPB llave en mano, incide en la estructura del actor-red del proyecto estatal boliviano en varios sentidos: a) reforzando alianzas clave (entre científicos e ingenieros y las BdL, sus componentes, insumos y procesos), b) generando nuevas y diferentes reverberaciones en otros puntos de la red (que pueden dar lugar al enrolamiento de nuevos aliados –nuevos usuarios de

BdL, nuevos proveedores de materiales, equipos o servicios, etc-, c) estableciendo las condiciones materiales para que “lo social” pueda penetrar más fácilmente en “lo técnico”. En definitiva, frente a la operación de una tecnología encapsulada, la magnitud de la flexibilidad interpretativa es contingente a la apertura del paquete tecnológico.

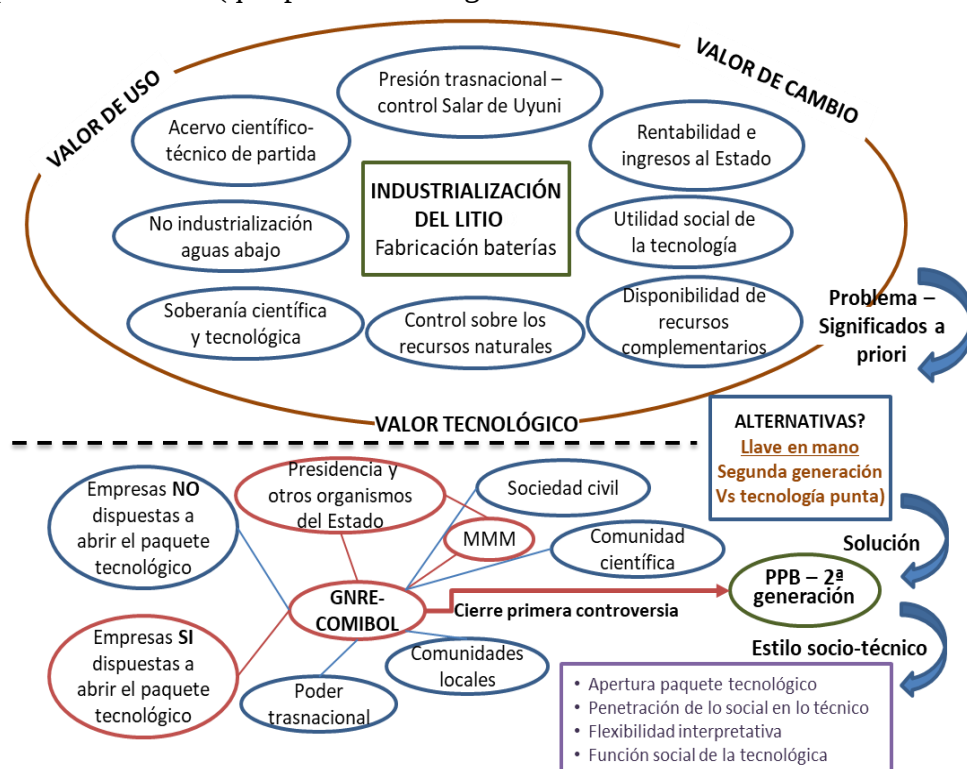


Ilustración 9: Problema de la industrialización y significados a priori (arriba). Grupos sociales relevantes para el cierre de la primera controversia (abajo). Fuente: Elaboración propia.

BLOQUE 5. Industria y mercados de baterías de litio (Contingencia tecno-económica)

Siendo que la contingencia de la PPB depende de la industria en la que está inserta, en este último bloque se retoma el análisis del contexto tecno-económico global de los acumuladores de litio. Aunque si el Bloque 3 era analítico-descriptivo, el Capítulo 9 es prospectivo. Esto es, las tendencias del mercado global de acumuladores de litio son analizadas para argumentar sobre posibles cambios estructurales – peso de las energías renovables en la futura matriz energética regional- y estimar necesidades futuras de acumulación de energía. Así, desde una perspectiva regional, y por ser litio-intensivos en su consumo, se analizan los sub sectores del almacenamiento para electrificación y para transporte. A partir de aquí, se lleva a cabo una estimación de la demanda futura de acumulación de energía en la región para varios escenarios. Uno de ellos – “Cobertura de la demanda global de almacenamiento en América Latina en 2030”- es seleccionado en el Capítulo 10 para, mediante retro-ingeniería, dimensionar una industria de litio capaz de satisfacer aquella demanda. Esto es, estimada la demanda futura de almacenamiento y asumiendo hipótesis y niveles de incertidumbre, en el Capítulo 10 se proporciona un orden de magnitud no sólo de esta industria de baterías de litio, sino también de las industrias complementarias –, derivados primarios de carbonato de litio, materiales de electrodo, aluminio y cobre para colectores de corriente, etc- más importantes que harían falta para sustentar esta escala industrial. Los cálculos de ingeniería se complementan con un análisis financiero y estimación de inversiones. Asimismo, en este capítulo se discuten las posibilidades del litio como objeto de integración regional.

Capítulo 9: Litio y necesidades globales de almacenamiento de energía.

9.1 El sector eléctrico: Buscando a contrarreloj la eficiencia y sostenibilidad energética.

En la actualidad es por todos reconocido que el abastecimiento energético por fuentes no renovables concluirá en algún momento del presente siglo⁶⁸, dando lugar un nuevo paradigma energético basado en las energías renovables. Es así, que la construcción de la futura matriz energética mundial, mediada por una gran transición tecno-económica donde las energías renovables coexisten y compiten con las tradicionales, y cuyo origen está teniendo lugar en nuestros días, suscita preocupaciones de carácter transversal entre múltiples actores sociales. El problema de la sostenibilidad ambiental, sumado a una visión estratégica que combina la prospectiva sobre escasez energética, con las oportunidades actuales que brindan las renovables, ha propiciado el establecimiento de ambiciosos objetivos y programas para impulsar el sector.

De esta forma, por citar solo algunas, la Unión Europea se ha propuesto que el mix de energías renovables para el año 2020 contribuya con un 20% del consumo total de la Unión. También en esta línea, el programa de Naciones Unidas *Sustainable Energy for All*, articulado a través de alianzas público-privadas, espera para el año 2030: a) provisión de energía para todo el mundo, b) duplicar el ratio de mejora de la eficiencia energética y c) duplicar la participación de las energías renovables en el mix global de producción energética. China no se queda atrás, y en 2010 fijó el objetivo de cubrir el 15% de su consumo de energía primaria con combustibles no fósiles para 2020.

⁶⁸ La US Energy Information Administration, reportaba para 2010 un consumo mundial por año de 31,8 miles de millones de barriles de petróleo. Ese mismo año las reservas de petróleo probadas contaban con 1.355 miles de millones de barriles, lo que supondría una vida de la reserva hasta 2052. Por otra parte, la producción mundial de gas natural fue 108 TPC, sobre una reserva mundial total de 6.534 TPD, lo cual corresponde con 60 años de vida de la reserva de gas. Si ahora consideramos una tasa de reposición de la reserva del 75% y las tasas de crecimiento de consumo para gas y petróleo, las reservas de petróleo se extinguirían en 2097 y las de gas en 2087 (en, <http://www.petrostrategies.org/>)

En lo que se refiere a las tecnologías para almacenamiento de energía, el gobierno de Estados Unidos reconoce que la consolidación de la estrategia de implementación de éstas pasa por alcanzar costos competitivos, al mismo tiempo de lograr la capacidad de integración con los sistemas y subsistemas existentes como condición para el despegue generalizado de estas tecnologías (DOE, 2013). Por otra parte, la Asociación Internacional de la Energía (IEA), estima que para mantener el calentamiento global por debajo de los 2 grados Celsius, el mundo necesita 266 GW de almacenamiento energético para 2030. Según las tendencias actuales, el mercado del almacenamiento alcanzará los 942GW acumulados para 2040, representando us\$ 650 mil millones de inversión en las próximas dos décadas (EESI, 2019)

En el año 2012, las tecnologías renovables –excluyendo hidroeléctrica de gran capacidad– supusieron el 42% de los 213GW de potencia de generación eléctrica instalados en el mundo, un 36% más que el año anterior. Con una inversión agregada de US\$ 260 miles de millones, de los cuales, el 46% tuvo lugar en las economías de la periferia, las renovables se situaron al nivel de inversión de las tecnologías tradicionales, en las que en este año se invirtieron US\$ 262 miles de millones. Esto se explica en gran medida por la fuerte reducción de costos que han experimentado las tecnologías renovables. Mientras que los costos de producción energética a base de combustibles fósiles han mostrado una tendencia creciente, en el periodo 2008-2012 los costos de generación eólica y solar han disminuido un 15% y un 50% respectivamente, alcanzándose en 2012 un hito histórico de comisionado de plantas: 48.4GW instalados de energía eólica y 30.5GW de fotovoltaica (Bloomberg, 2013). Esta tendencia no sólo se ha mantenido, sino que se ha intensificado en los últimos años, alcanzándose en 2017 un nuevo récord histórico (Ren21, 2018). En 2017 la capacidad total de generación creció un 9% respecto a 2016, suponiendo la instalación de renovables un 70% de la nueva capacidad de generación instalada. De esta nueva capacidad instalada el 55% correspondió a energía solar fotovoltaica, - el triple que en el año 2012, esto es 98.2GW- alcanzándose en 2017 una capacidad global acumulada de 400GW de generación solar.

En lo que respecta al sector eléctrico en su conjunto, del cual las renovables participaron con un 21% de la generación total en 2010, las previsiones de crecimiento, a una tasa media anual del 2.8% (EIA, 2013), indican que de los 20.2T kWh⁶⁹ generados en 2010 se pasará a 39T kWh para el año 2040, en el que las renovables contribuirán con un 25% del total. De los 5.4T kWh de generación eléctrica renovable que serán instalados entre 2010 y 2040, aproximadamente 1.5T kWh (27%) serán de eólica y 0.41T kWh (7.8%) de solar. Hay que destacar que las tasas de crecimiento y participación respectiva de las diferentes fuentes de generación que constituyen el mix de renovables varían significativamente por región⁷⁰. En América Latina, se estima que la capacidad total instalada pasará de ser 1.48T kWh en 2011 a 3.3T kWh para el año 2030 (OLADE, 2013), de las cuales el 50% será hidroeléctrica y el 6% otras renovables, incluyendo solar y eólica.

Estas perspectivas de crecimiento en la generación eléctrica van acompañadas de una apuesta internacional por la mejora en las redes de transmisión y distribución eléctrica, puesto que los sistemas actuales se ven en muchos casos limitados a flujos de suministro unidireccionales que además de impedir la cogeneración multiusuario, al mismo tiempo, disminuyen la eficiencia y estabilidad de la red. El problema surge debido a que el volcado a la red eléctrica de una energía fluctuante, que como ocurre en la eólica o la solar depende de condiciones climatológicas, no es debidamente conjugado con la demanda energética de ese momento y ello provoca fluctuaciones

⁶⁹ T kWh=1Tera kilowatt.hora.

⁷⁰ El mix de energías renovables considerado se compone de: Hidroeléctrica, eólica, geotérmica, solar y otras. En el periodo 2010-2040 la eólica crecerá en promedio anual un 5.8%, siendo esta tasa para países de la OCDE del 4.7%, aportando el 44.8% de la generación de renovables, y del 8.3% en países fuera de la OCDE, correspondiente al 19.4% de la generación. Igualmente, la energía solar crecerá en promedio anual el 9.1%, donde en países de la OCDE será de un 7.1% (12.7% de la generación) y del 18.6% (5.4% de la generación) en países no pertenecientes a la OCDE. La fuente de generación que más contribuye al mix de renovables es la hidroeléctrica con un 52% del total de la producción renovable, siendo este porcentaje del 28.7% en países de la OCDE y del 63% en países fuera de la OCDE.

intermitentes. En muchas ocasiones, la oferta energética que proviene de la generación eólica y solar supera la capacidad de transporte de la red, mientras que, en otras, el suministro es deficiente. Por tanto, para coordinar la generación con el consumo se requiere no sólo de tecnologías de transmisión de datos en tiempo real – algo que las modernas Tecnologías de Información y Comunicación (TICs) pueden satisfacer-, sino también de equipos capaces de convertir la energía fluctuante en constante, esto es, sistemas de almacenamiento de energía.

No es de extrañar entonces que en Alemania, que se propone para 2050 que el 80% del consumo eléctrico provenga de fuentes renovables (BDEW-ZVEI ,2012), la conversión de las redes tradicionales en “redes inteligentes” sea un eje principal de su política energética. En la búsqueda de la sostenibilidad ambiental y la racionalización energética, las redes inteligentes integran los diferentes patrones de generación –desde el doméstico, mediante pequeños sistemas fotovoltaicos o eólicos, hasta la producción a gran escala proveniente de plantas de generación, renovables o no renovables, pasando por la reutilización de las baterías de vehículos eléctricos que ya no cumplen los estándares-, con los patrones de consumo, asegurando: a) eficiencia económica, b) estabilidad del suministro, c) optimización de pérdidas y d) elevada disponibilidad (Etherden et Al, 2013).

9.2 Prospectiva sobre los sectores del almacenamiento litio-intensivos en América Latina.

En América Latina y el Caribe el suministro eléctrico ha alcanzado al 94% de la población total, con una cobertura urbana del 98.8% y rural del 74%, presentando la región la mayor tasa de electrificación de los países de la periferia, sin embargo, a día de hoy existen 30 millones de habitantes de la región sin acceso a electricidad (CAF-CEPAL el Al, 2013) y la gran mayoría de los 177 millones de personas que viven en condiciones de pobreza extrema se encuentran en condiciones de pobreza energética. Sólo en Bolivia, según el Ministerio de Energía, existen alrededor de 400.000 familias sin acceso a la electricidad. Una iniciativa para asegurar un acceso universal a la electricidad en la región, basada en la generación renovable y el almacenamiento en baterías de litio, puede ser razonable teniendo en cuenta que en el área rural, donde existen las mayores deficiencias en el acceso a la energía, esta alternativa de generación renovable-almacenamiento puede resultar en muchos casos superior –desde el punto de vista tanto técnico, como económico-, con respecto a aquella que opera mediante la conexión al sistema de red eléctrica convencional. En este caso, si se considera que los 30 millones de personas se distribuyen en familias de cuatro miembros que consumen de media 1kWh por día y familia⁷¹, la energía que se necesitaría almacenar en baterías de litio sería de 7.5GWh⁷².

Asimismo, en América Latina y el Caribe para el año 2030 un 6% de los 3.3T kWh instalados serán a base de fuentes renovables - excluyendo la hidroeléctrica y la biomasa- (OLADE, 2013), lo que supone aproximadamente 200 TWh⁷³ repartidos en *otras fuentes renovables*⁷⁴ . Si revisamos – a la baja- la participación de la energía solar y eólica como el 50% de la generación renovable -al margen de la hidroeléctrica y biomasa- y asumiendo un factor mínimo de riesgo de un 0.04% (Metz et Al, 2010), la capacidad de almacenamiento de energía necesaria para mantener la red estabilizada sería de 4TWh.

⁷¹ En el informe *World Energy Outlook* (EIA, 2013) se establece que los consumos mínimos son 250kWh/año en zona rural y 500kWh/año en zona urbana, en ambos casos 5 personas por hogar. Este dato, estimado excesivamente a la baja según otros autores, representa en el caso de zonas rurales un consumo de 140Wh por persona y día. Para efectos de cálculo, aquí se ha considerado un consumo de 250Wh por persona y día.

⁷² Esto podría corresponder a 7.5 millones de baterías de 1kWh -una por familia-, las cuales se descargan una vez por día, sin embargo, a efectos de cálculo, la configuración del sistema de almacenamiento es irrelevante.

⁷³ TWh= Tera Watt.hora. Nótese las distintas unidades usadas: 1T kWh=1000 TWh; 1TWh=1000GWh.

⁷⁴ Otras renovables incluyen: eólica, solar térmico, fotovoltaico, geotérmico, mareomotriz y unimotriz.

No es excesivo suponer que, teniendo en cuenta las opciones de almacenamiento disponibles en el mercado⁷⁵, tanto en términos económicos, como de desempeño tecnológico, las baterías de litio puedan participar con, al menos, un 10% de la demanda de acumulación. A pesar de que aún se trata de una tecnología de almacenamiento relativamente costosa – en comparación, por ejemplo, con las baterías de plomo-ácido-, tanto su versatilidad en cuanto a escalas de almacenamiento y rangos de operación, como las múltiples alternativas en los protocolos de carga-descarga, la convierten en uno de los principales candidatos. Es así, que en el marco del estado del arte actual, la alternativa de almacenamiento de energía a base de acumuladores de litio, para sistemas de *back up* y servicios de gestión energética, se ha confirmado como una opción rentable en redes de tamaño pequeño y medio⁷⁶ (Balaza, 2014) y de modo creciente se están instalando más sistemas para aplicaciones de alta energía y potencia conectados a la red –del orden inclusive de los 100MW de potencia nominal-. Por tanto, bajo estas premisas, la necesidad de acumulación energética en América Latina a base de baterías de litio alcanzaría 400 GWh en 2030.

A modo de simplificación, teniendo en cuenta la evolución de la capacidad de almacenamiento instalada para aplicaciones de alta potencia⁷⁷ (Ver también Ilustración 8), y suponiendo que las políticas energéticas evolucionasen de forma paralela y satisfactoriamente, junto con la reducción de costos y otras cuestiones de índole tecnológica⁷⁸, podría darse un escenario en el que existiese un requerimiento masivo de acumulación a partir del año 2020. Esta aproximación parece más que razonable, si la contrastamos con las proyecciones de la consultora *Pike Research* (Citada en DOE, 2013) que estima una potencia mundial instalada en almacenamiento para suministro eléctrico en 2022 de 14GW, lo cual representa, operando solamente 4h/día de media, una capacidad de almacenamiento energético instalado de 20.4TWh.

En lo que respecta al sector del transporte, en el año 2009 había registrados en el mundo 980 millones de unidades, de los cuales el 7.5% -aproximadamente 73 millones- se encontraban en América Latina. De los 5.3 millones de vehículos producidos en la región, México, Brasil y Argentina contribuían con el 98%. Ese mismo año se manufacturaron en el mundo 61.8 millones de unidades (OICA, 2009). En el año 2013, evidenciando el dinamismo del sector, la producción mundial fue de 87.3 millones de unidades. Si estimamos que la producción mundial en 2025 será de 95 millones de unidades, con una penetración de mercado para vehículos que funcionen con algún tipo de batería de litio del 17% (Signumbox, 2012), y una energía media por batería de

⁷⁵ En el informe del BID de Febrero de 2014, “*Potential for Energy Storage in Combination with Renewable Energy in Latin America and the Caribbean*” se puede encontrar un análisis en profundidad sobre las diferentes tecnologías de almacenamiento disponibles y sus perspectivas de aplicación en América Latina.

⁷⁶ En Chile están siendo actualmente operados por la eléctrica AES Genner dos sistemas de *back up* de alta potencia en combinación con plantas tradicionales de generación. El primero, con una potencia de 12 MW, operado en el desierto de Atacama, además de gestionar la demanda y estabilizar la frecuencia de la red, genera beneficios a través de la venta directa de electricidad. En Antofagasta, otra instalación de 20MW regula la frecuencia y proporciona la reserva energética –*spinning reserves*- de una planta termoeléctrica de 544 MW.

⁷⁷ En el año 2013, la capacidad de almacenamiento energético instalado a base de baterías en redes inteligentes fue de, a penas, 0.6 GW (NavigantResearch, 2014). La edición de 2013 del “*DOE/EPRI Electricity Storage Handbook*” describe 18 servicios y aplicaciones, divididos en cinco grupos, para los cuales son usadas las baterías de litio en la red eléctrica: 1) Servicios en masa, 2) Servicios secundarios, 3) Infraestructura de transmisión, 4) Infraestructura de distribución y 5) Gestión energética. Si en 2013 la capacidad global instalada en acumuladores superaba ligeramente el medio megawattio, tan sólo cinco años después casi se han alcanzado los dos gigawatts.

⁷⁸ Según el Departamento de Energía de Estados Unidos, las principales barreras de que depende la entrada masiva en el mercado de los sistemas de almacenamiento de energía a gran escala son: 1) Sistemas competitivos en costo (no subsidiados), 2) Validación del rendimiento y la seguridad, 3) marco regulatorio apropiado y 4) aceptación en el sector industrial (DOE, 2013). En este sentido, el DOE se ha propuesto una serie de objetivos a medio y largo plazo para propiciar el despegue del sector. En el medio plazo en EEUU se espera alcanzar: 1) Inversión de capital para el sistema: <US\$ 250/kWh, 2) costos de nivelación: < 20 cent US\$/kWh/ciclo, 3) eficiencia del sistema: > 75%, 4) ciclos de vida: >4.000 y además, que las tecnologías de generación reduzcan el costo de inversión hasta < US\$ 1750/ kW.

15kWh, se tiene que la demanda de almacenamiento de energía en baterías de litio para vehículos eléctricos será de 245GWh. Si la contribución del parque automotor latinoamericano es del orden del 8% -incluyendo también a los vehículos propulsados por algún tipo de batería de litio-, esto supondría aproximadamente 20 GWh de almacenamiento en baterías de vehículo.

9.3 Vehículos eléctricos y suministro: Los efectos tractores sobre la producción.

Para poder poner en perspectiva la dimensión de la industria del litio y sus tendencias es necesario revisar algunos datos relacionados con la estructura del mercado, que en nuestro caso reflejarán las proyecciones sobre el consumo y la producción de carbonato de litio. Siendo América Latina la región que cuenta con las mayores reservas mundiales de litio, el análisis de la evolución de este *commodity* es de especial trascendencia para sustentar cualquier plan de industrialización.

Por el lado de la demanda, una rápida revisión histórica mostrará el dinamismo del sector en los últimos años, durante los cuales, la demanda de baterías de litio mostró una tasa de crecimiento anual entre el 18-20% en el periodo 1990 – 2009, mientras que la de litio creció a un ritmo del orden del 10% durante este periodo. En el año 2009, debido a la crisis económica mundial, la demanda global de litio cayo aproximadamente un 20% respecto al año anterior. (SignumBox, 2010). Teniendo en cuenta los antecedentes de crecimiento de las diferentes aplicaciones asociadas al litio y las expectativas puestas sobre el sector de los transportes, se podrá tener una aproximación sobre los mercados futuros considerando que el mayor impacto en el mercado⁷⁹ se corresponderá con la medida en que se desarrolle la tecnología para vehículos eléctricos en sus diferentes formas (HEV, P-HEV, EV)⁸⁰, de la cual dependerá el grado de penetración en los mercados. Como suele ocurrir, existen diferencias notables entre diferentes estudios de mercado (Goonan, 2012; Pillot, 2011; Steinweg, 2011), sin embargo, más que entrar en sus divergencias, resulta más interesante recalcar que hay coincidencia de criterios en el hecho de que para el año 2025 una importante cuota del mercado mundial de vehículos vendrá dada por aquellos que emplean baterías de litio siendo, precisamente, esta cuota en lo que difieren los diversos estudios.

A mediados de 2012, la consultora chilena SignumBox proyectaba un escenario base correspondiente a una penetración en el mercado del orden del 17 % en 2025, lo que supone 16 millones de vehículos empleando algún tipo batería de litio. Por otro lado, la cantidad de litio empleada en una batería es función de la energía que esta es capaz de almacenar⁸¹, por tanto, bajo este supuesto, la demanda de litio sólo para vehículos eléctricos será de aproximadamente 181.000 Tn/año de carbonato de litio equivalente (LCE) al 2025. Para completar la proyección de la demanda se ha considerado la tasa de crecimiento para otras aplicaciones⁸² de litio, lo que supone 301.000 Tn/año para 2025⁸³; luego, la estimación de la demanda para 2025 es de 482.000Tn/ año, representando esto una tasa de crecimiento anual media consolidada del 9 % en los próximos quince años. (SignumBox, 2010, 2012).

⁷⁹ Desde la consultora SignumBox, se reconoce que el despegue de las baterías de litio para aplicaciones de suministro eléctrico puede verse retrasado por el hecho de que los fabricantes están orientando sus esfuerzos hacia el desarrollo de los sistemas para vehículos.

⁸⁰ HEV: Hybrid Electric Vehicle. Energía de BDL: 0.2-2 kWh; P-HEV: Plug-in Electric Vehicle. Energía BDL: 5-20 kWh
EV: Pure Electric Vehicle. Energía de la batería de litio: >25 kWh

⁸¹ El E-Bus E6 de la empresa BYD (EV) tiene una batería de litio de 324kWh, con un contenido de 242.4kg de LCE. El modelo Nissan Leaf (EV) cuenta con una batería de 24kWh y un contenido de 17.8kg de LCE. La batería del Toyota Prius (PHEV), es de 5.2kWh y contiene 3.87kg de LCE.

⁸² El crecimiento del consumo de litio en las diferentes aplicaciones no es homogéneo. De esta forma, las tasas de crecimiento entre 2011 y 2012 para algunas aplicaciones son: Baterías para dispositivos portables: 8.8%, baterías para celular: 5%, baterías para Tablet:100%, baterías para herramientas: 3%, litio para lubricantes y grasas: 2%.

⁸³ Es destacable que estas predicciones, a principio de década de los 2010, se quedan cortas a la vista de datos más actualizados. En 2017, la consultora NEMASKA Lithium situaba la demanda de carbonato de litio (grado batería) para 2026 en 315.00 Tn. Estos datos confirman la implantación del paradigma de la acumulación con baterías de litio.

Por el lado de la oferta, en los años 2009 y 2012 se comercializaron aproximadamente unas 93.000Tn y 143.000Tn de LCE⁸⁴ respectivamente. Es necesario tomar en cuenta que, parejo al crecimiento en la demanda, la capacidad de producción total de las industrias establecidas del sector (150.000 Tn en 2009 y 220.000 Tn en 2012) es significativamente mayor que la correspondiente a los volúmenes comercializados, pudiendo ésta ser aumentada a la vista de la proyección de la demanda. Por otra parte, existen más de cien proyectos de explotación de litio en todo el mundo los cuales aumentarán la capacidad de producción total. Se estima entonces, que la capacidad de producción instalada en 2025 por parte de las actuales empresas del sector alcanzará las 300.000Tn/año, sobre las que hay que sumar una capacidad adicional aportada por los nuevos emprendimientos de 200.000 Tn, resultando una capacidad de producción total mundial de unas 500.000Tn/año para el 2025.

Para completar el bosquejo de las proyecciones del mercado de litio, es importante mencionar que de ningún modo la oferta y la demanda crecen en paralelo y, si bien en 2025 el uso de capacidad instalada será superior al 90%, en los años anteriores se prevé que la oferta crezca mucho más rápido que la demanda, teniéndose en 2020 un uso de la capacidad instalada del orden del 60%. El motivo de este desfase entre oferta potencial y demanda responde en gran medida a cuestiones de tipo tecnológicas, puesto que, a pesar de que la industria de baterías de litio se puede considerar madura, esta afirmación es cierta para determinadas aplicaciones, cómo sistemas de almacenamiento estáticos y de baja potencia, sin embargo, en el caso de baterías para vehículos eléctricos, dónde la densidad de energía y la seguridad juegan un rol crítico, aún no se han

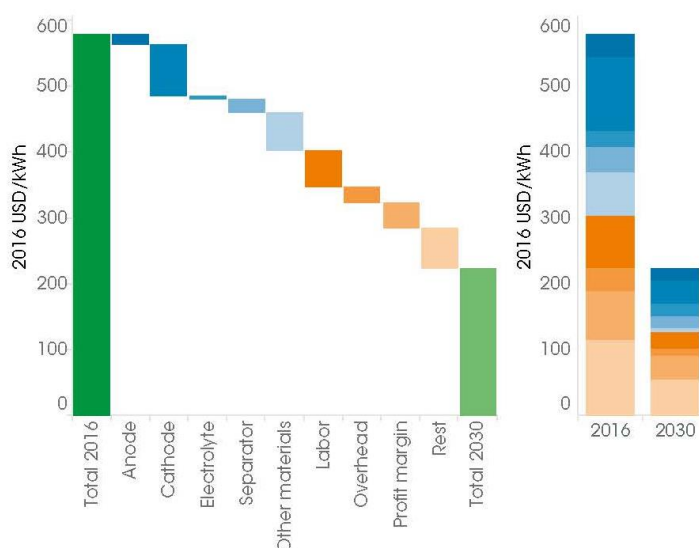


Ilustración 10: Perspectivas de reducción de costo de las Bdl (LFP).

Fuente: IRENA, 2017

alcanzado los puntos de inflexión tecnológico y de costos, operando éstos como factores limitantes para la entrada masiva de los vehículos eléctricos en el mercado. Sin embargo, esto puede estar muy próximo, lo que se infiere al observar que los precios de las baterías cayeron 73% entre 2010 y 2016 (IRENA, 2017).

Hay que destacar que las estimaciones anteriores no incluyen un estudio riguroso de las aplicaciones para almacenamiento con fines de electrificación que, por otro parte, corresponden a un sector litio-intensivo, teniendo en cuenta que los órdenes de magnitud, en cuanto capacidad de almacenamiento energético, pueden ser muy superiores con respecto a los de las baterías para vehículos. Al respecto, en el año 2012 se consumió algo menos de 1.000Tn de LCE para este tipo de aplicaciones⁸⁵. La capacidad instalada ese año en baterías para almacenamiento a gran escala fue de alrededor de 400 MWh, sin embargo, se estima una tasa de crecimiento del 71% hasta el año 2023, en el que habrá 51.200MWh (NavigantResearch, 2014) de capacidad energética instalados mediante baterías.

⁸⁴ La comercialización de las 93.000Tn de LCE comercializadas en 2009 atiende a la siguiente distribución por empresas: SQM, 23%; Chemetall, 21%; Talison, 20%; FMC, 16%; Empresas chinas, 12%; Otras, 8%. En el caso de las 143.000Tn de LCE en 2012, la distribución es: SQM, 26%; Chemetall, 21%; Talison, 30%; FMC, 10%; Empresas chinas, 9%; Otras, 4%. En el primer caso, cuatro empresas controlaban el 80% de las ventas, mientras que en el 2012 este porcentaje aumentó al 87%.

⁸⁵ Incluye todas las aplicaciones relacionadas con el suministro eléctrico: doméstico y a gran escala.

Estas proyecciones se fundamentan en acciones concretas por parte de gobiernos y empresas que evidencian el despegue de este sector. En esta línea, en agosto de 2013 Reino Unido anunció la instalación de la mayor proyecto piloto de la Unión Europea para almacenamiento a gran escala con baterías de litio, consistente en una baterías ión-litio que podrá desplegar hasta 10MWh. Este sistema supondrá un ahorro en actualizaciones de la red, transformadores y otros de US\$ 9Millones (Spectrum, 2013). De igual forma, después del desastre nuclear de Fukushima, Japón, en marzo de 2011, el gobierno planteo la necesidad de acelerar el cambio en la matriz energética, para lo cual anunció una programa de tres años (2012-2015), con una inversión de alrededor de US\$ 300 millones (20.000 millones de yen) para la instalación de sistemas estacionarios de baterías ión-litio (SeekingAlpha, 2014). También en esta línea, la hidroeléctrica Hydro - Quebec y Sony han firmado un contrato de riesgo compartido mediante el cual las baterías de litio de Sony comenzarán a ser usadas en la red eléctrica propiedad de la firma canadiense, con el propósito de desarrollar y testar aplicaciones de almacenamiento a gran escala (SmartGridNews, 2014). Este tipo de proyectos han sido superados con creces en escala a día de hoy, como demuestra el anuncio de Tesla a finales de 2017 de la conclusión de la instalación de la batería de litio más grande conectada a la red -un sistema de 129MWh- (Cleantechnia, 2017)

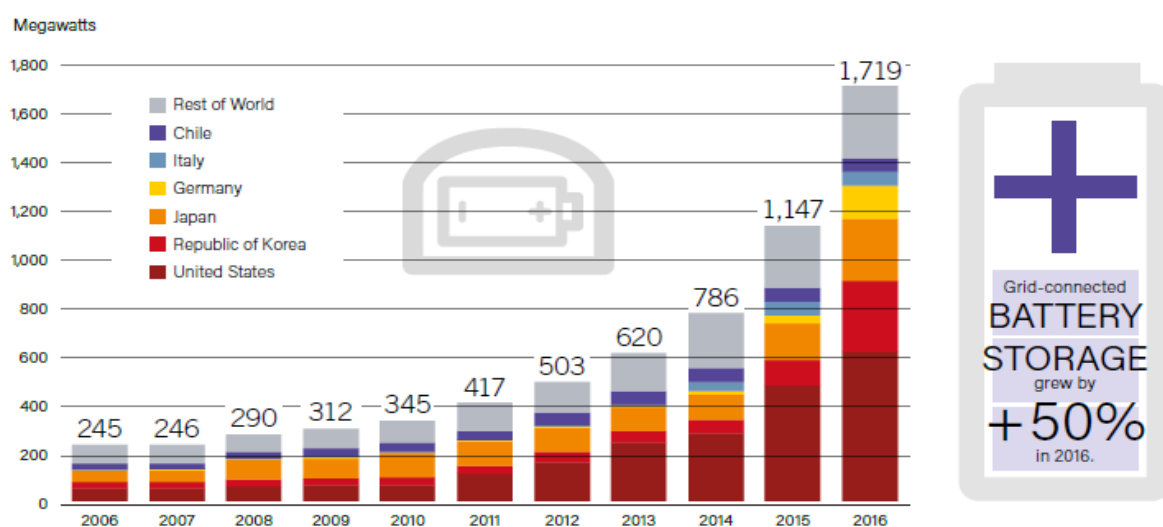


Ilustración 11: Baterías conectadas a la red eléctrica a nivel global 2006-2016 (principales países)

No obstante, fue a principios de la década de 2010 cuando los sistemas de almacenamiento a gran escala, especialmente en base a sistemas litio-intensivos, comenzaron a tomar relevancia en el escenario internacional: Fue a partir de 2012 que se superó el medio gigawatt de almacenamiento conectado a la red, alcanzando los casi 2 GW a finales de 2017.

Por lo tanto, tal vez la afirmación que hacía el CEO de Tesla Motors, de que en el futuro próximo “esencialmente habrá una demanda cuasi-infinita de sistemas para almacenamiento de energía”, (SFGate, 2014) pueda resultar un tanto excesiva, pero, si es de esperar que la transición de modelo energético comience a tomar cuerpo a partir de la próxima década, al tiempo que las proyecciones sobre la demanda de carbonato de litio deberán ser revisadas a la alza.

9.4 Las limitaciones del modelo energético actual.

Una vez revisados algunos de los aspectos a considerar a la hora de proyectar un dimensionado de la industrialización, es necesario enmarcar en el contexto latinoamericano, tanto las categorías políticas que se promocionan desde los gobiernos, como el escenario material sobre el que, en última instancia, se pueden plantear alternativas para la industrialización de litio.

Dentro del actual panorama de crisis energética global y acercándose el horizonte de agotamiento de los recursos fósiles, la necesidad de que los actores estatales definan pautas con respecto al

modelo energético y su rol en relación a los recursos naturales estratégicos es cada vez más apremiante. Al mismo tiempo, la preocupación por el deterioro medioambiental y el ejercicio de una praxis empresarial que busca perpetuar un escenario de consumismo global bajo control oligopólico, son causas que están propiciando la consolidación de un movimiento polifacético (organizaciones ecologistas, movimientos sociales, cooperativas de producción y comercialización de electricidad verde, plataformas sociales, etc) que promueve la soberanía energética y la democratización del mercado eléctrico. referencias

El concepto de *soberanía energética* es controvertido porque, en su dimensión política, apela a la propiedad y el control sobre recursos naturales, lo cual genera tensiones entre el significado del propio concepto y la actual dinámica de acumulación del capital, en tanto que la estricta aplicación del uno, contrapone los intereses del otro. Pero también, su aplicación en el ámbito civil, enfrenta dos modelos antagónicos: la producción centralizada frente a la autogeneración.

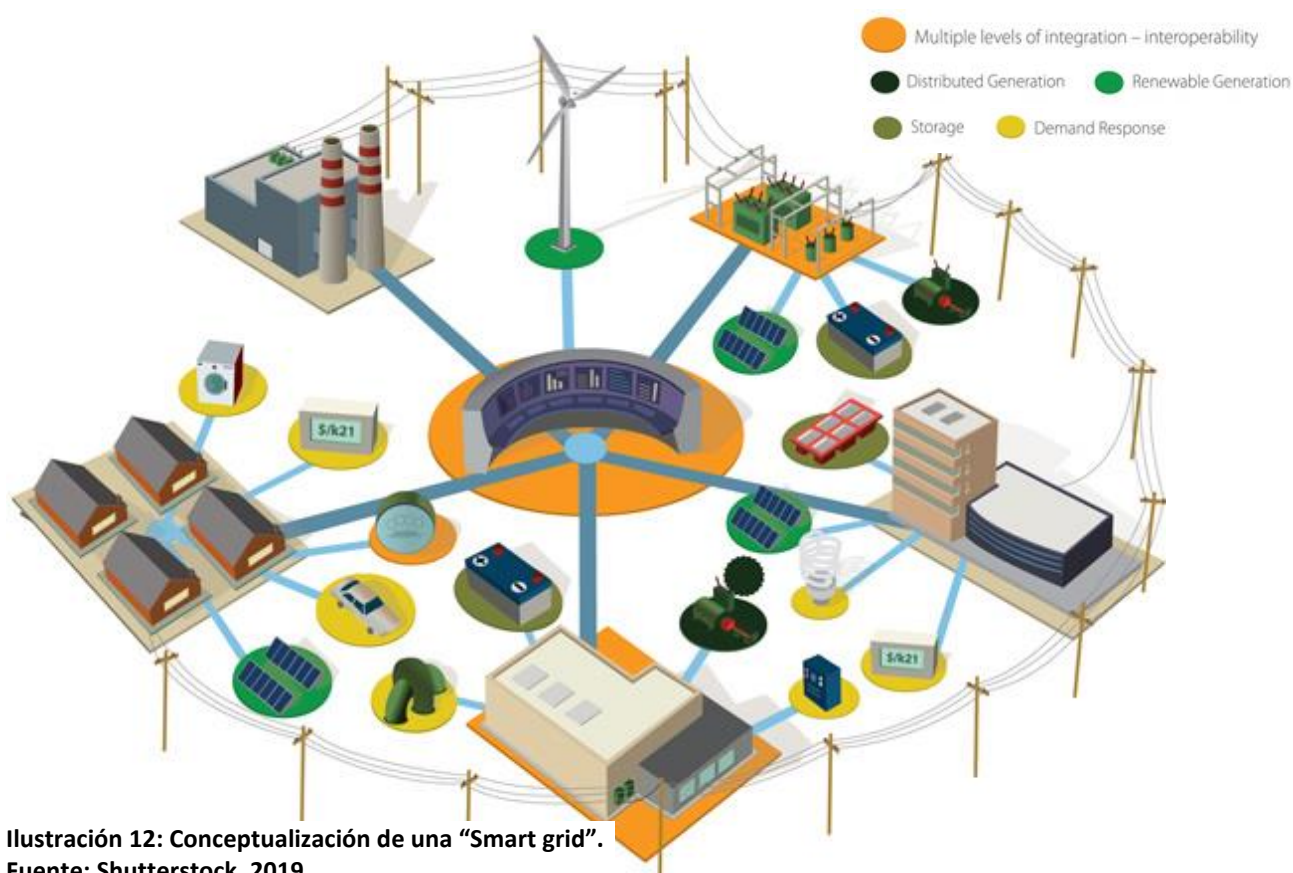
Si la soberanía es el derecho exclusivo de ejercer la autoridad política sobre un determinado territorio, la *soberanía energética* sería el derecho exclusivo de ejercer la autoridad del Estado sobre los recursos y fuentes energéticas existentes en el territorio sometido a tal soberanía. Bajo este concepto subyace la idea que un país que carece de autonomía para determinar su matriz o hacerlo dependientemente de otro para generar energía, no es totalmente soberano, de lo cual derivan varios significados interrelacionados: a) significa que todos los recursos energéticos deben permanecer bajo la propiedad nacional, el control y la gestión del Estado; b) que la matriz energética de cada territorio y cada comunidad debe sustentarse prioritariamente sobre las propias fuentes energéticas, de manera que disminuya al máximo la dependencia energética externa y, c), que cada territorio debe utilizar sus propios recursos de energía de un modo sustentable, procurando no contaminar otras zonas del país. (Rodríguez, 2011)

Por otra parte, frente al actual modelo energético caracterizado por: a) producción centralizada en grandes centrales (térmicas, nucleares, grandes hidroléctricas), mayoritariamente dependientes de combustibles contaminantes y no renovables b) poco eficiente, debido a grandes pérdidas (del orden del 20%) asociadas a la transmisión desde los grandes centros de producción hasta los de consumo, c) control oligopólico del mercado por parte de pocas empresas y en connivencia con el poder político, y d) insostenible en el largo plazo, desde diferentes lugares de la sociedad civil, y con diferentes grados de avance, se está planteando la transición hacia un modelo alternativo basado en: a) fuentes de producción de energía limpias, renovables y con una huella ecológica y una generación de CO₂ mucho más bajas que las fuentes convencionales de producción de energía, b) una generación distribuida, de forma que la producción eléctrica sea lo más próxima posible al lugar de consumo, para minimizar las pérdidas del transporte y c) una gestión de la producción y la demanda eléctrica que aproveche las modernas tecnologías de la información y la acumulación energética para optimizar el sistema ("*smart grids*"). (LaMarea, 2013)

Este análisis no sólo tiene eco en la sociedad civil; también, desde la esfera gubernamental en muchos países se está orientando las políticas públicas en esta dirección. Así por ejemplo, el objetivo de aumentar el mix de renovables en un 20% para el año 2020 en el conjunto de la Unión Europea y la meta que se ha propuesto Alemania para que en el año 2050 la generación renovable alcance el 80% (BDEW-ZVEI (2012), reflejan la preocupación de muchos gobiernos por la cuestión energética en el futuro.

En América Latina, contando con más de dos tercios de la reserva mundial de litio, tendría sentido una acción regional coordinada que priorizase el establecimiento a medio-largo plazo de un modelo energético construido en torno al concepto de soberanía energética, y basado en la generación renovable, con preferencia a la autogeneración, el autoconsumo y la bidireccionalidad producción-consumo.

De esta forma, a diferencia del modelo actual centralizado que, además de toda la problemática que aglutina, apenas requiere de acumulación energética, tanto el autoconsumo aislado –no conectado a la red–, o el autoconsumo con balance neto –en el que el *prosumidor*⁸⁶ tiene derecho al consumo posterior de la misma cantidad de electricidad que no consumió en el momento de su producción y fue volcada a la red como excedentaria–, en ambos, se requiere de sistemas de almacenamiento de energía. En el primer caso, cada productor aislado requiere de un dispositivo de almacenamiento, mientras que en el segundo, éstos son empleados para estabilizar la red y gestionar los flujos de oferta y demanda eléctrica. La figura de abajo se muestran los elementos de una red inteligente, incluyendo generación distribuida, interoperabilidad de activos de red, almacenamiento energético (residencial y a escala de utility); así como equipos disponibles para ser controlados desde el lado de la demanda (respuesta a la demanda).



En cuanto a los recursos naturales, si hasta la década de los 2010s las miras estaban puestas en los derivados del petróleo, a partir de entonces, tanto el litio, como otros insumos clave para la producción de dispositivos para la generación y acumulación de energía empiezan a ser considerados como recursos energéticos, por lo que la soberanía *energética* dependerá de la capacidad de los estados para controlar estos recursos. Sin embargo, pensar que es el control de éstos lo que asegura la soberanía energética, es olvidar que la dependencia de los países periféricos para el aprovisionamiento de insumos críticos, bienes de capital y tecnología, desde los países del centro, es la base sobre la que se perpetúa el subdesarrollo (Cardoso y Faletto, 1969). Por tanto, el concepto de *soberanía energética* en su dimensión material incluye tanto al régimen de propiedad sobre los recursos naturales, como a las capacidades tecnológicas con que cuentan los estados para transformarlos, y de ello, el grado de soberanía energética que se podrá alcanzar en el futuro se vincula a la medida en que los estados se involucren en el desarrollo de la cadena de valor del litio y sus industrias complementarias.

⁸⁶ Acrónimo formado por la fusión original de las palabras en inglés *producer* (productor) y *consumer* (consumidor).

Capítulo 10: Contingencia regional

10.1 El litio como objeto estratégico para la integración regional.

Los objetos científicos y sistemas tecnológicos, constituidos a través de actividades localizadas y mediante la interacción de múltiples actores, intersectan las dimensiones económicas, política y social (Latour, 2005), determinando la formación de los estados, sus recursos, derechos y autoridad y, en última instancia, sus relaciones de dependencia. Por otra parte, en la definición de un pensamiento estratégico y a largo plazo, capaz de hacer frente a la reorganización de los proyectos hegemónicos de los países del centro, la gestión y la posesión de los recursos naturales emerge como eje central del debate (Arceo, 2011), para superar el modelo de patrón-primario exportador –el dominante, a pesar de todo, en la región (Mercado et Al, 2015)-. En este sentido, una política de asociación de productores orientada a recuperar la gestión de la producción, reservas, industrialización y comercio de estos recursos no sólo se corresponde con una política de recuperación de la soberanía y de afirmación de los objetivos regionales, además es contingente a la formación de los precios internacionales (Bruckmann, 2013; UNASUR, 2014).

En esta línea, por analogía con la OPEP, creada para “coordinar y unificar las políticas petroleras entre los países miembros, con el fin de garantizar unos precios justos y estables para los productores de petróleo, el abastecimiento eficiente, económico y regular de petróleo a los países consumidores y un rendimiento justo del capital de los inversores”, cuyos objetivos fundacionales comenzaron a cumplirse una década después de su creación⁸⁷, desde el Ministerio de Minería de Argentina del Gobierno de Cristina Kirchner (2007-2015) se llegó a proponer la creación de la Organización de los Países Productores de Litio (Opproli), junto con Chile y Bolivia, lo que “permitiría que los tres países proyecten una política común en producción, industrialización y comercialización, que satisfaga la demanda mundial de manera racional” (La Nación, 2014).

Al respecto, y en relación al concepto de soberanía energética, la privilegiada posición que en cuanto a riqueza mineralógica ostenta la región, abre un abanico de alternativas tanto en el ámbito geopolítico, como en lo social, económico y medioambiental (Bruckmann, 2015). Más allá de la exportación del carbonato de litio como *commodity* a los mercados internacionales de productores de insumos para BdL, lo cual, en el marco de una organización de productores, transformaría radicalmente el rol de la región en el sector energético y de transportes a nivel mundial, la culminación de una estrategia de industrialización orientada al desarrollo de la cadena de valor del litio, con la mira puesta en el abastecimiento energético, tendría como consecuencia directa la consolidación de la senda hacia la soberanía energética pero, además, indirectamente, desde el punto de vista de la ciencia y la tecnología, también repercutiría sobre la relación centro-periferia.

No es menor el enorme esfuerzo científico-tecnológico implícito en lo que aquí se plantea, sin embargo, tanto el nivel de disponibilidad de tecnologías en el mercado – baratas, y libres de licencias-, (Ver Bloque 3) como la actual consolidación tecnológica en estos campos, permite abordar el problema de la objetivación del litio desde un enfoque dual que, por una parte, potencie el desarrollo científico, tecnológico e innovativo a escala regional, en favor de una mirada a largo plazo que coloque el desarrollo de las capacidades científico - tecnológicas propias en un plano prioritario dentro del esquema global de desarrollo, pero que, al mismo tiempo, saque partido a las posibilidades de acceso a tecnologías con el fin de mejorar las capacidad de absorción (Gutti, 2008), a través de técnicas de retroingeniería y copia, buscando adaptar la tecnología a las condiciones locales, al tiempo de acortar la brecha tecnológica.

⁸⁷ La OPEP fue fundada en Bagdad el 14 de Septiembre de 1960, sin embargo, durante esta década el precio del petróleo era negociado por siete grandes compañías trasnacionales que controlaban el 80% de la producción mundial. A partir de 1971 la OPEP decidió nacionalizar las empresas que se encontraban en sus territorios: Argelia nacionalizó la industria petrolera en 1971, en septiembre de 1973 Libia hizo lo propio. El proceso de nacionalización que inició Venezuela en 1971 culminó en enero de 1976, e incluso Arabia Saudí nacionalizó su petróleo en 1979.

Tal vez, los primeros pasos en esta dirección podrían darse mediante la creación de un Sistema Supranacional de Innovación⁸⁸, en torno al desarrollo de la cadena del litio y sus industrias complementarias de insumos y bienes de capital, constituido a base de una agregado de sistemas tecnológicos, insertos en contextos competitivos, interactivos y organizacionales diferentes donde, en la búsqueda de sinergias y la mejora de la eficiencia colectiva, cada uno de estos sistemas se conformase por una red de agentes que interactúan en un área tecnológica específica, con el propósito de generar, difundir y utilizar la tecnología (Carlsson, 1995). A semejanza con las *tramas productivas*, en las que los agentes involucrados establecen relaciones económicas continuas a lo largo del tiempo y determinadas por instancias de coordinación, los diferentes sistemas tecnológicos relacionados con la industrialización del litio podrían operar procurando contribuir al desarrollo de procesos de generación y circulación de conocimiento tácito y codificado, a través de una articulación bidimensional entre el tejido productivo y el territorio a escala supranacional, con el objetivo común de democratizar el conocimiento y asegurar el abastecimiento energético universal y soberano.

En este sentido, desde el punto de vista de la integración regional en el marco de UNASUR, a pesar de que no llegaron a materializarse iniciativas conjuntas en términos de inversión e infraestructuras, si llegaron a firmarse convenios y memorándums de entendimiento en esta dirección. El 25 de mayo de 2013 se concretó el convenio entre el Centro Nacional de Tecnología Química (CNTQ) de Venezuela y el GNRE, para impulsar la industrialización del litio (GNRE, 2013) sobre la base del establecimiento de las industrias complementarias. Se definieron seis emprendimientos para llevar a cabo investigaciones y desarrollos conjuntos en materia de: a) separadores para baterías de litio, b) ánodos de grafito, c) sistemas de gestión (BMS) y d) colectores de corriente de aluminio, e) compuestos orgánicos para electrolitos, f) carcasas para baterías. Si bien es cierto que estos memorándums no llegaron a concretarse, no lo es menos el hecho de que el establecimiento de estos acuerdos constituye el primer paso hacia una mirada regional de industrialización alrededor de la cadena de valor del litio, donde cada país aporta desde aquellos rubros en los cuales presenta ventajas comparativas -en el caso de Venezuela, la industria del plástico y del aluminio-. En todo caso, el impulso de políticas capaces de romper las lógicas burocráticas que dificultan la consolidación de estas iniciativas, podría afianzar el avance en una trayectoria común hacia la soberanía energética y el control de los insumos y tecnologías que, de manera relevante, participarán en la futura matriz energética.

10.2 Escenarios para el desarrollo de la cadena de valor del litio

Si partimos de la base de que América Latina cuenta con las mayores reservas mundiales de litio y que en los próximos años habrá un importante crecimiento de la demanda de acumulación de energía, como consecuencia de la incursión de los vehículos eléctricos y del aumento en la capacidad de generación instalada mediante fuentes renovables, ¿cómo se podría aprovechar esta coyuntura? Por un lado, evitar la triste paradoja de los recursos naturales, que históricamente ha convertido a los países poseedores de éstos en importadores de los mismos bajo la forma de bienes intermedios y de consumo, supone priorizar una premisa fundamental: el litio de los salares latinoamericanos debe ser procesado mediante sucesivas transformaciones químicas hasta ser incorporado en materiales de alto valor agregado en los productos finales (baterías), de lo contrario, el carácter estratégico del litio se desvanecería si son los países del centro los que transforman la materia prima en productos litiados con tecnología incorporada -materiales catódicos, sales de electrolito, baterías de litio- para su posterior exportación a los países de la periferia.

⁸⁸ Quizás este sea un término muy amplio que retrotrae además al del propio Sistema Nacional de Innovación, fuertemente basado en la competitividad (90's) y la dotación de factores. Podríamos, en este sentido, pensar en esquemas de cooperación para desarrollar proyectos multidisciplinarios que impulsen la integración de la cadena productiva considerando las asimetrías existentes (Mercado y Vessuri, 2015)

Por otra parte, reconocer la necesidad del desarrollo completo de la cadena de valor del litio, pasa por aceptar la dualidad manifiesta entre la oportunidad económica y estratégica frente al reto tecnológico, innovativo y de gestión.

A continuación, a modo de orden de magnitud, partiendo de las necesidades presentes y proyecciones futuras para la demanda de almacenamiento de energía mediante acumuladores de litio (Ver Capítulo 9, donde se justifican las necesidades de almacenamiento que son usados en esta sección como base de cálculo para los estudios de caso), se presentan tres escenarios dónde la conceptualización de la cadena de valor –Figura 3 en Sección 6.2- es traducida en un dimensionado conceptual de las principales industrias involucradas.

Caso a): Cobertura energética universal en América Latina. La provisión de suministro eléctrico a 30 millones de personas, localizadas fundamentalmente en áreas rurales, en base a un modelo de generación de energías renovables (solar y/o eólica) y almacenamiento en baterías de litio implica una demanda inmediata de 7.5 GWh de capacidad de acumulación energética. En términos de necesidades de litio y sus derivados, esto representa una cantidad de 4.500 Tn de LCE, 18.000 Tn de material catódico y 1.000Tn de sal de electrolito⁸⁹.

Caso b): Cobertura de la demanda global de almacenamiento en América Latina en 2030. Un despegue masivo del sector de las renovables a partir de 2020, donde el 10% de las necesidades de almacenamiento sea cubierto con baterías de litio, supone una demanda de 400GWh en 2030. Un modelo incremental para la década 2020-2030, con una tasa de crecimiento del 5% anual, requeriría de la instalación de 28.2 GWh en 2020, para llegar a los 45.9 GWh en 2030.

Caso c): Cobertura de almacenamiento para vehículos con algún tipo de propulsión eléctrica en América Latina en 2030. Manteniéndose la participación del parque automotor latinoamericano en un 8% del total y para una penetración de mercado de los vehículos eléctricos en 2025 de un 17%, las necesidades de almacenamiento de energía en baterías de litio para vehículos alcanzará los 20GWh en 2025 y los 23.8GWh en 2030, estimando una energía media por batería de 15 kWh y suponiendo una tasa de crecimiento anual media del 3% y manteniéndose la misma tasa de penetración de mercado. En términos de necesidades de litio y sus derivados, esto representa una cantidad de 13.500 Tn/año de LCE, 53.000 Tn/año de material catódico y 3.000Tn/año de sal de electrolito.

De estos tres casos se ha seleccionado el Caso b) “Cobertura de la demanda global de almacenamiento en América Latina en 2030” para dar un orden de magnitud sobre la dimensión de estas necesidades. El motivo por el cual se ha seleccionado este escenario es porque de algún modo, el Caso a) está contenido en el Caso b). Es decir, la capacidad de dar cobertura a toda la demanda de almacenamiento en América Latina en 2030 implicaría, como primer paso, erradicar en primera instancia la pobreza energética que aún sufre la región. En cuanto al Caso c), la razón para no seleccionar este caso para un estudio a mayor profundidad tiene que ver con el argumento desplegado en la Sección 5.3 “Consecuencias de la selección del producto estrella”. Esto es, parece tener más sentido y alcance estratégico modernizar el sistema eléctrico para subirse al carro de la transición de modelo energético, frente a la alternativa de apostar por el almacenamiento para vehículos eléctricos. A modo de última consideración, hay que aclarar que la cuestión del reciclaje de baterías no ha sido incorporada como variable de cálculo. Si bien es cierto que hay un extenso trabajo sobre este tema -por ejemplo la reutilización para dar una “segunda vida”, a la fecha aún no hay tecnologías (o son muy costosas) para recuperar todos los elementos incorporados en la batería y volverlos a transformar en nuevas baterías.

⁸⁹ Para una aclaración de la metodología de cálculo, revisar la Ilustración 13 “Flujograma de industrialización del litio para una necesidad de acumulación energética de 50GWh/año.”

Caso b): Cobertura de la demanda global de almacenamiento en América Latina en 2030.

A partir de 2030 la demanda de almacenamiento energético para electrificación podría alcanzar los 50GWh/año. Esto corresponde con una producción anual de carbonato de litio de 28.000Tn/año.

A continuación se presenta una estimación de las necesidades de almacenamiento en la región para el año 2030, así como los requisitos de insumos e industrias complementarias sobre la base de la cadena de valor del litio

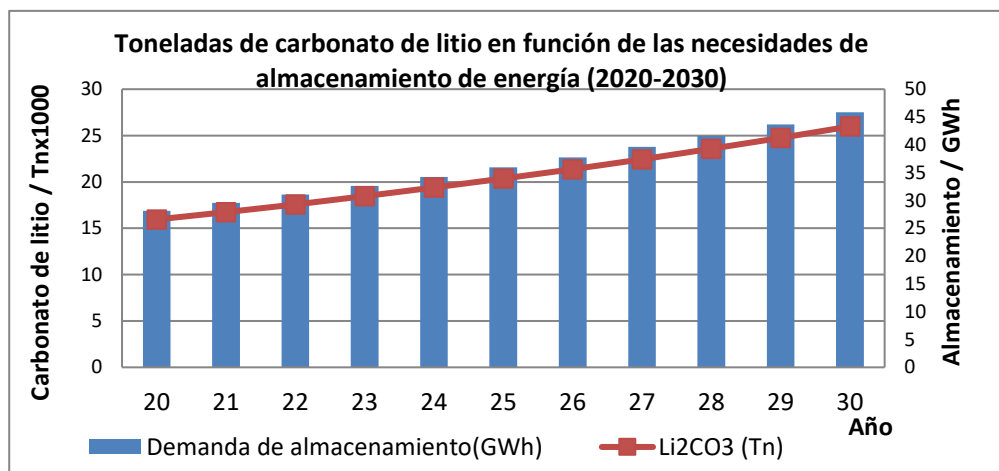


Ilustración 13: Carbonato de litio y necesidades de almacenamiento.

Fuente: Elaboración propia

La incorporación de todo el material catódico y de electrolito en celdas de ión-litio, daría para la fabricación de 372 millones de celdas – 42Ah-3.2V-, que a su vez podrían ser ensambladas en 4.7 millones de baterías de 10.7kWh -5(8s2p)-84Ah-128V, por ejemplo-, dando como resultado una capacidad de acumulación de energía de 50 GWh.

La incorporación del litio, producido como *commodity* (Li_2CO_3) en los salares latinoamericanos, en las baterías de litio, supone una serie de transformaciones químicas a través de la cadena de valor. De esta forma, 28.000Tn de carbonato de litio deberían, en primera instancia, ser transformadas en sales primarias derivadas⁹⁰ (Li_3PO_4 y LiF), para posteriormente convertirse en los insumos litiados propiamente contenidos en las baterías (LiFePO_4 y LiPF_6).

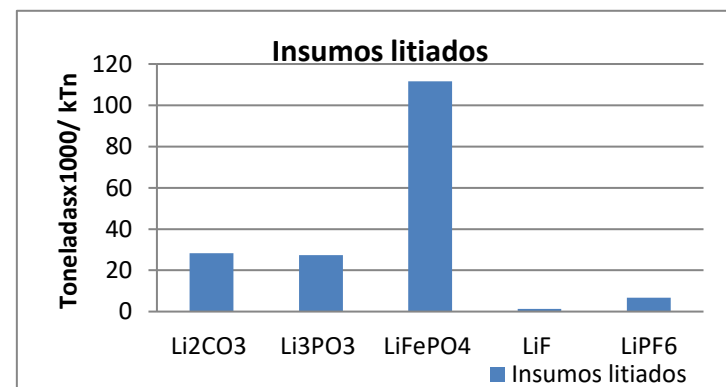
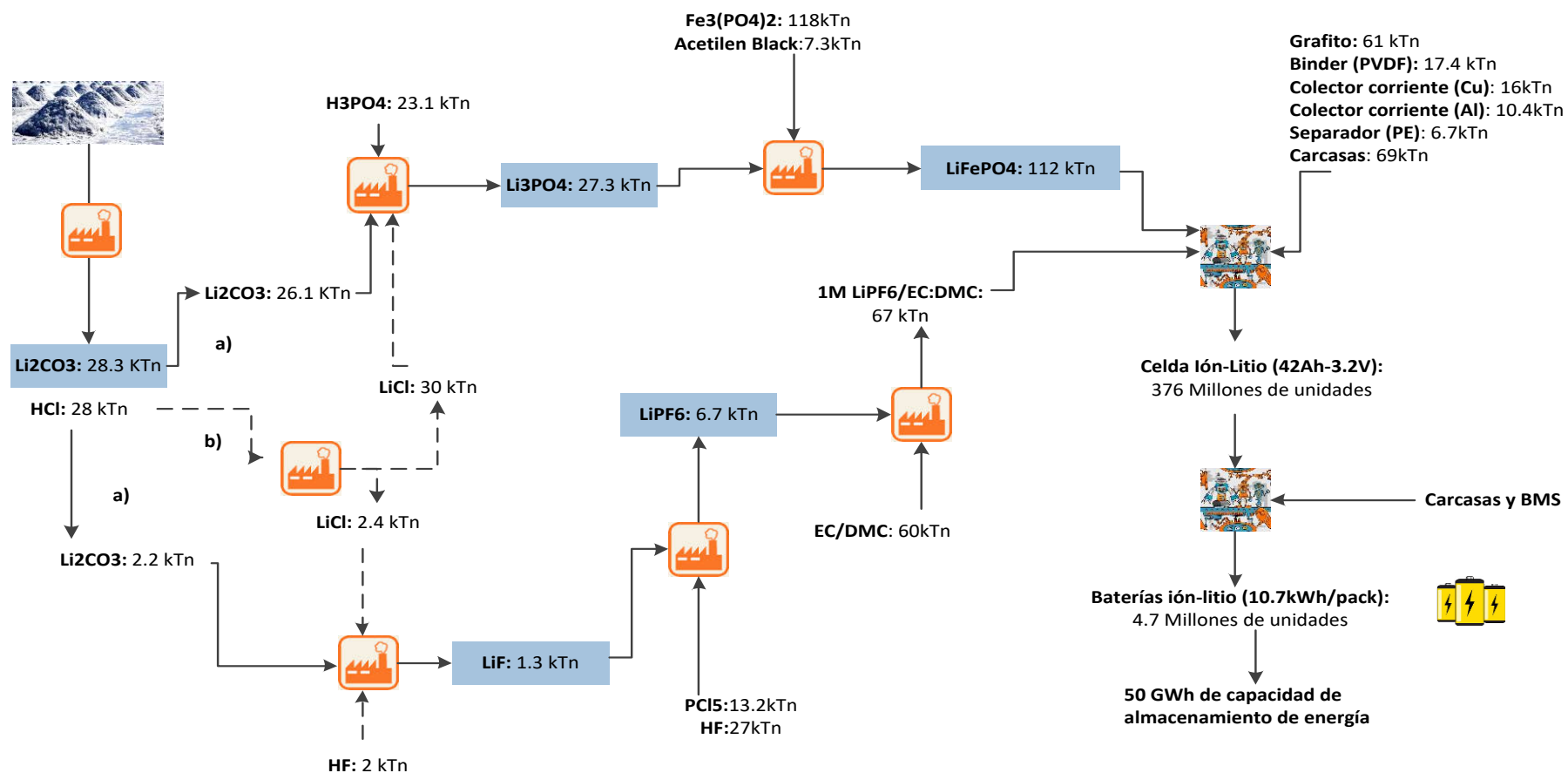


Ilustración 14: Insumos litiados para satisfacer 50GWh/año en baterías de litio. Fuente: Elaboración propia.

⁹⁰ La elección de las sales primarias derivadas del carbonato de litio no está prefijada. Dependerá del diseño de la batería, lo que condiciona tanto el material de electrodo, como el tipo de electrolito. En nuestro caso, se ha considerado que la sal que compone el electrolito es LiPF_6 , por ser actualmente la más relevante en cuanto a uso industrial. En el caso del material catódico, el LiFePO_4 , ha sido seleccionado por: a) elevada seguridad –parámetro de mucha relevancia en el caso de baterías que acumulan mucha energía, como es este caso-, b) tecnología madura, c) extensamente empleado en industria, d) relativamente barato. Sin embargo, esto es sólo una selección dentro de las múltiples opciones que se pueden encontrar en el estado del arte.



a) Ruta de síntesis directa a partir de carbonato de litio
b) Ruta de síntesis a partir de transformación intermedia en cloruro de litio.

1kTn: 1000 Tn

Los cálculos estequiométricos han sido realizados considerando las reacciones químicas, reactivos y rendimientos presentados en diferentes patentes y papers científicos:

- LiF y LiPF_6 : (Belt et Al, 2007)
- Li_3PO_4 : (Kores, 2010)
- LiFePO_4 : (Ming-Sang et Al, 2007),
- Configuración interna de las baterías: (Gaines y Cuenza, 2000)

Ilustración 15: Flujograma de industrialización del litio para una necesidad de acumulación energética de 50GWh/año. Fuente: Elaboración propia.

10.3 Estimación de los estados financieros futuros y efecto de la sustitución de importaciones.

Al margen de las implicaciones geopolíticas, la adopción de una estrategia para la industrialización del litio orientada hacia la búsqueda de la sostenibilidad energética, favoreciendo las energías renovables, no sólo ofrece la posibilidad de obtener elevadas utilidades, tal y como le sucede a los actuales productores de derivados del litio con tecnología incorporada –materiales catódicos o baterías de litio-, sino que además, frente a la alternativa tradicional en muchos países periféricos, que sustentan su competitividad en el modelo primario exportador y la devaluación del factor trabajo, en este caso, la posesión de los principales recursos naturales sobre los que tiene lugar el proceso de agregación de valor abre la puerta a un enfoque de desarrollo industrial en torno a la cadena de valor, el cual redundaría en una sustancial mejora de las tasas de ganancia a través de un mecanismo directo de reducción de costos de producción, pero no a costa del salario, sino vía sustitución de insumos.

Cómo base de cálculo para llevar a cabo una evaluación financiera referencial, se han tomado los datos de un estudio realizado en 2009 por el Argonne National Laboratory, conjuntamente con el Departamento de Estado de Energía de Estados Unidos, para la instalación de una industria de baterías de litio que produce 100.000 unidades/año de 10.7kWh/pack -1GWh/año- ensamblados a base de 80 celdas de 42Ah-3.2V, teniendo en cuenta un escenario futuro en la que las técnicas de producción han alcanzado un elevado grado de madurez, al mismo tiempo que los volúmenes producidos permiten la aplicación de economías de escalas. (Nelson et Al, 2009). Bajo estos supuestos, y extrapolando las estimaciones realizadas a la dimensión regional, se han construido los estados financieros sobre una aproximación dinámica que contempla la evolución de los precios por kWh de energía almacenada en baterías de litio y de los costos de producción para la década 2020-2030, incorporando el efecto que tiene sobre la rentabilidad la sustitución de importaciones de insumos litiados, por aquellos no gravados con las ganancias imputables a productores en terceros países.

En las Tablas 4-6 se muestra el desglose de inversiones y costos para el establecimiento de una industria de las características mencionadas. La adquisición de equipos, terrenos e infraestructuras, sumado al capital de operación y puesta en marcha alcanza los US\$ 378MM y, por el lado de los costos, una vez la planta entrase en operación, se gastarían US\$ 244MM para alcanzar los niveles de producción establecidos. En la Tabla 7, más allá de estimar los estados financieros proyectados para la década 2020-2030, se pretende mostrar los efectos que tiene la sustitución de importaciones de insumos litiados sobre la rentabilidad global del proyecto. Para ello se han estimado las Tasas Internas de Retorno (TIR) y Valores Actuales Netos (VNA) en dos escenarios: A) todos los insumos son importados y B) los insumos litiados provienen del desarrollo de la cadena de valor en América Latina⁹¹.

⁹¹ Nótese que sólo se ha realizado la estimación para los insumos litiados, es decir, el desarrollo de la Industrias e Insumos Complementarios (colectores de corriente, BMS, separadores, carcasas, disolventes orgánicos y otros compuestos involucrados en la cadena de valor – Ilustración 3 -, tendría efectos análogos.

Inversiones	Descripción	Método Cálculo	Valor (US\$ MM)
Equipos	Equipos + Instalación	Ajustado a costos de 2009, según Argonne National Laboratory.	191
Infraestructura	Terrenos + edificaciones + Infraestructuras especiales para producción y suministros.	Para una superficie de 12Ha de producción a un costo US\$ 338/m2 de infraestructura completa.	43
Puesta en marcha	Arranque de planta, entrenamiento, ajustes de productos fuera de especificaciones.	45% de la inversión en equipos	86
Capital de trabajo	Costos necesarios para operar hasta la generación de ingresos	30% costo variable	58

Tabla 4: Estimación de inversiones para instalar 1GWh de capacidad de producción de Bdl

Costos Variables	Descripción	Método Cálculo	Valor (US\$ MM)
Materiales	Insumos para la manufactura de celdas	Datos Argonne Lab, 2009	121.4
Integración	Carcasas y sistemas de gestión de baterías (BMS).	Datos Argonne Lab, 2009	44.6
Trabajo directo	Operación, supervisión y dirección.	Datos Argonne Lab, 2009	16.3
Overhead	Suministros, mantenimiento y materiales indirectos.	60% del trabajo directo	9.7

Tabla 5: Estimación de los costos variables

Costos Fijos	Descripción	Método Cálculo	Valor (US\$ MM)
Generales	Ventas, administración, comercialización	25% del trabajo directo y el overhead más 35% de la depreciación	13.2
I+D	Necesaria para mantener los productos actualizados y competitivos.	50% de la depreciación	13
Depreciación	Reemplazo de equipos y la planta por el uso.	12.5% de la inversión en equipos	26.1

Tabla 6: Estimación de costos fijos

Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ventas (US\$ MM)	0	408	379	353	328	305	568	528	491	457	425
Producción (Unidades)	0	100000	100000	100000	100000	100000	200000	200000	200000	200000	200000
Costo \$/kWh		400	372	346	322	299	278	259	241	224	208
Costo \$/pack		4080	3794	3529	3282	3052	2838	2640	2455	2283	2123
Inversión (US\$ MM)											
Equipos	191					95					
Infraestructura (US\$ MM)	43					43					
Arranque	86					43					
Cap trabajo	58					28					
Costo Variable (US\$ MM)											
A)Materiales (Importación)		121	114	107	101	95	178	168	157	148	139
B)Materiales (Prod AL)		<u>109</u>	<u>102</u>	<u>96</u>	<u>91</u>	<u>85</u>	<u>160</u>	<u>150</u>	<u>141</u>	<u>133</u>	<u>125</u>
Packs, BMS, integración.		45	38	32	27	23	40	34	29	24	21
Trabajo		16	17	17	18	18	38	39	40	41	43
Overhead		10	10	10	10	10	19	19	19	19	19
Costo fijo (US\$ MM)											
Ventas-Administración		13	13	13	13	13	17	17	17	17	17
I+D		13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Depreciación		26	26	26	26	26	39	39	39	39	39
A)Total Costo (Mat Imp)		244	231	219	208	198	344	329	315	302	291
B)Total Costo (Prod AL)		<u>232</u>	<u>219</u>	<u>208</u>	<u>198</u>	<u>189</u>	<u>326</u>	<u>312</u>	<u>299</u>	<u>287</u>	<u>277</u>
Utilidad Bruta		164	149	134	120	107	223	199	176	154	134
Impuestos (I.U.E, 25%)		41	37	34	30	27	56	50	44	39	33
A)Utilidad Neta (Importación) (US\$ MM)	-378	123	111	101	90	-129	168	149	132	116	100
B)Utilidad Neta (Prod AL) (US\$ MM)	-378	<u>132</u>	<u>120</u>	<u>109</u>	<u>98</u>	<u>-122</u>	<u>181</u>	<u>162</u>	<u>144</u>	<u>127</u>	<u>111</u>
TIR (Importación) 21% TIR (Prod AL) 25%											
VAN \$ 203.38 VAN \$ 263.85											

Tabla 7: Estimación de flujo de caja. A) Insumos litiados importados. B) Producción de insumos litiados en América Latina

En cuanto a las proyecciones para el precio de venta del kWh de almacenamiento en baterías de litio, teniendo en cuenta que a principios de los 90s éste era ligeramente superior a los US\$ 3000/kWh, para en el 2000 pasar a US\$ 2000/kWh, alcanzando los US\$ 900 en el 2010 y los US\$ 600 en 2013 (Pike Research, 2012), se ha tenido en cuenta que la tendencia histórica – modelizada como función exponencial decreciente – comienza a aproximarse a su valor asintótico. De este modo, asumiendo las limitaciones que implica el contexto de incertidumbre⁹², se ha considerado que el tramo correspondiente a la década 2020-2030 comienza con un valor de US\$ 400/kWh en 2020, para terminar descendiendo hasta los US\$ 208/kWh en 2030, aplicando una tasa anual de decrecimiento del 7% durante toda la década.

Por otra parte, los estados financieros de la Tabla 7 muestran el caso de una industria que comienza produciendo 100.000 baterías -10.7kWh/año- para, a mitad de la década, duplicar su producción. Esta inversión, conceptualmente supone una actualización tecnológica capaz de compensar la disminución en los precios de venta con el objetivo de mantener los niveles de ganancia. Para estimar estos montos, se ha tenido en cuenta no sólo la caída en los precios globales de la tecnología, sino también la valorización de las inversiones realizadas en I+D, lo que conduce a una inversión en equipos del orden de la mitad realizada inicialmente. De igual forma, tanto el capital de arranque, como el de trabajo serán necesariamente menores una vez consolidada la experiencia de producción.

La evolución de los precios de venta, no puede sino corresponderse con la de los costos de producción, por tanto, de una forma pareja a los primeros deben variar estos últimos. En el caso de estudio se ha fijado que el costo de materiales desciende en promedio anual del 6%. Y de un 15%⁹³ en el caso de los BMS, carcasas y otros dispositivos de integración. Por el contrario, la participación del trabajo en la estructura de costos aumenta a un ritmo del 3% anual, estimado este como un promedio del aumento del IPC. Con respecto a los costos fijos, a efectos de simplificación, se han mantenido constantes. A partir del año 2025, el efecto en el aumento de la capacidad de producción ha sido acompañado con una duplicación de los costos variables y una ponderación en el incremento de los costos fijos, de forma que los costos de administración y comercialización sólo aumentan en un 30%, los de depreciación en un 50% y los de I+D se mantienen constantes.

En el primer caso propuesto (A), dónde todos los insumos son importados, los cálculos de flujo de caja devuelven una media de venta de US\$ 425MM/año, una TIR del 21% y un VNA de US\$ 203MM, correspondiente a la producción de 1GWh/año, hasta 2025, y de 2GWh/año en el segundo lustro de la década.

Si se tiene en cuenta que los insumos litiados catódicos participan con un 40% del costo total de los insumos y los correspondientes al electrolito con un 10%, y asumiendo que el desarrollo de la cadena de valor reduce los costos de ambos insumos en un 20% - comparado con la alternativa de su importación-, la incorporación de estos a las baterías producidas y manteniendo constante el resto de variables, daría lugar a un aumento de la rentabilidad global en cuatro puntos porcentuales. Adicionalmente, para el año 2030, la industria descrita requeriría de una superficie construida de 20Ha, con un consumo de potencia de 16MW y un empleo directo de 7000 trabajadores.

⁹² La evolución de los precios de mercado del kWh de almacenamiento en baterías de litio dependerá de aspectos tales como: a) optimización de técnicas de producción y desarrollo de nuevos materiales. b) precios de las materias primas. c) estrategias empresariales d) políticas públicas.

⁹³ Es de esperar que los costos asociados a los dispositivos para aumentar el nivel de integración de las celdas – ensamblado de las baterías- se reduzcan en mayor grado que el de los insumos, puesto que mientras que los últimos dependen del mercado de *commodities*, en un contexto futuro de intensa demanda, los primeros son función del desempeño tecnológico.

Dimensionado para Cobertura de la demanda global de almacenamiento en América Latina en 2030

(Caso b)

Volviendo a las proyecciones sobre la demanda de almacenamiento energético, en un escenario en el que las energías renovables aumentan su participación en el mix de producción eléctrica y, por tanto, los sistemas de almacenamiento – que incluyen a las baterías de litio- éstos emergen como condición para la evolución del desarrollo de este modelo energético. La satisfacción del requerimiento de capacidad de almacenamiento, a base de baterías de litio, de 400 GWh acumulado en toda la década, con una capacidad de producción de 50GWh/año a partir de 2030, implicaría la instalación de 26 emprendimientos como el descrito anteriormente. Tomando un escalamiento directo, sin consideraciones adicionales de efectos de escala, todo este agregado industrial de producción de acumuladores de litio capaz de asegurar el abastecimiento al mercado regional latinoamericano de parte de los dispositivos esenciales necesarios para asegurar el suministro, la transmisión, distribución y estabilidad de las redes eléctricas, así como la integración entre productores y consumidores, implicaría una inversión total de aproximadamente US\$ 15.000 MM. Asimismo, la superficie requerida para infraestructuras sería de 500Ha, con un consumo de potencia de 400MW y un empleo directo de 180.000 trabajadores.

En lo que se refiere a la rentabilidad, tanto si los insumos son importados, como si son producidos en la región como consecuencia del desarrollo de la cadena de valor, se trata de proyectos rentables⁹⁴; sin embargo, esta rentabilidad se ve acrecentada gracias a la reducción en los costos de producción que opera cuando los insumos litiados incorporados en las baterías de litio son una forma química transformada del litio contenido en los salares latinoamericanos. En este caso, las utilidades netas acumuladas en el periodo 2020-2030 rondarían los US\$ 28.000 MM, frente a los US\$ 25.000 MM para el caso de insumos importados, revelando una ganancia adicional de US\$ 3.000 MM ligada directamente a la sustitución de los insumos litiados importados, por aquellos obtenidos a partir de la transformación de *commodities* y sales primarias de litio en derivados tecnológicamente avanzados. Por tanto, bajo este enfoque, se estaría desarrollando una industria capaz de incorporar tecnología y conocimiento, al tiempo de generar numerosas fuentes de empleo con el objetivo de cumplir con una necesidad social básica, como es el acceso a la energía. El desarrollo de una industria de estas características, desde el punto de vista del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación boliviano, supondría sentar las bases para una estrategia de innovación que apuntase no sólo a conseguir innovaciones de tipo incremental –algo que ya se ha conseguido a día de hoy⁹⁵-, sino que se constituiría en base material para el desarrollo de innovaciones, por qué no, radicales (Freeman y Soete, 1997). Pero además, el control de la cadena de valor supondría acrecentar las tasas de ganancia, a la vez de consolidar la soberanía sobre este recurso natural y, por ende, controlar geopolíticamente unos insumos claves para la estructura de la futura matriz energética mundial.

⁹⁴ Teniendo en cuenta criterios estrictamente económicos; es decir, sin considerar otros efectos que pueden afectar indirectamente a la rentabilidad; tales como la escasez de insumos, prácticas oligopólicas o acciones en la esfera política. El desarrollo de la cadena de valor completa no sólo tiene un efecto directo en la rentabilidad, sino que además, asegura una cierta capacidad de control sobre la producción.

⁹⁵ Numerosas innovaciones incrementales han sido alcanzadas por la GNRE a la fecha: desde la construcción de la planta de KCl sobre la costra salina del salar de Uyuni (única en el mundo), pasando por el desarrollo de procesos ad hoc para el procesamiento de la salmuera del Salar de Uyuni –de composición altamente compleja por la elevada relación Mg:Li y presencia de sulfatos-, procesos antes no utilizados para la purificación de carbonato de litio, hasta nuevas configuraciones de celdas para baterías de ión-litio (Ver Notas Ex Post). ¿Podría, tal vez, definirse como innovación radical el desarrollo integral de la cadena de valor del litio, bajo la modalidad y escala que se propone en este trabajo?

Notas ex-post: La apertura de la caja negra

El impacto de la transferencia de tecnología sobre el conocimiento

Durante el pilotaje en la PPB –desde Febrero de 2014 hasta Octubre de 2016⁹⁶- 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 acceder a pasos más complejos del aprendizaje como modificar la composición de los electrodos para mejorar la *performance* de las baterías y modificar los procesos productivos para producir diferentes tipos de celdas (*learning by adapting*). Pero la resignificación de la tecnología en procura de otros usos, que demandaba ensamblar paquetes de baterías con diferentes configuraciones permitió desarrollar incluso, *learning by desingning* (Lall, 1980)

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 370kg/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 estructurales informaron de que los materiales catódicos obtenidos (LMO, LFP) eran equivalentes al patrón comercial. Estos resultados se confirmaron al ser incorporado el LFP en una celda de ión-litio, y comprobar que ésta 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 (Ver Figura 11 con algunas de las charlas sobre baterías de litio y materiales catódicos)



Ilustración 16: Entrada al laboratorio de caracterización de materiales, La Palca.

Estos hechos ponen de manifiesto importantes avances: 1) la síntesis de carbonato de litio de alta pureza y de diferentes materiales catódicos por métodos propios implican la absorción efectiva del conocimiento –tácito y explícito- implicado en estos procesos, 2) el análisis químico y estructural de estos compuestos supone no sólo contar tanto con equipos de última generación, sino la capacidad de usarlos, y 3) 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 tanto que implica la demostración de la capacidad técnica al interior de la firma para implementar la estrategia de industrialización comprometida con el pueblo boliviano.

⁹⁶ Entre el 17 y 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 no sólo tuve la oportunidad de comentar los avances alcanzados en la PPB, y el proyecto CIDYP (Centro de Investigación Desarrollo y Pilotaje) -cuyo contrato de financiación con el Banco Central de Bolivia, por un monto de us\$ 35 MM fue firmado meses antes de mi marcha del país, en Febrero de 2014- Además, pude ver con mis propios ojos los logros que, en vivo y en directo, nos explicaba la Ing. Giovanna Díaz, Responsable de La Palca.

En cuanto a las celdas de litio, lejos de la lógica del “operario de planta”, que habría perpetuado la producción de la tecnología adquirida⁹⁷, la GNRE ha ampliado notablemente su cartera de productos. En el XIII Congreso Internacional de Metalurgia que tuvo lugar en la ciudad de La Paz en 17-19 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 inicialmente a la firma china proveedora de la tecnología, al contrario, ha sido 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 de la incorporación de nuevos equipos de producción –el proceso de enrollado (winding) de los electrodos sobre si mismos para su posterior introducción en la carcasa necesita de equipos y herramientas 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 baterías⁹⁸ y, a partir de aquí, nuevos productos. Desde un pack de 2kWh –incluyendo el sistema de control electrónico, (Battery Managment 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 (Nonaka, 1994) del conocimiento tuvieron 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 A.h, inicialmente diseñadas para ser ensambladas en baterías de 240 W.h⁹⁹ para alimentar el motor eléctrico de una bicicleta, la GNRE/YBL produce baterías capaces de satisfacer necesidades de almacenamiento de energía en comunidades aisladas.

	
09:00 - 09:30	DIMENSIONES Y ATRIBUTOS ESTRATÉGICOS DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DEL LITIO EN BOLIVIA – Iván Aranda Garóz - Universidad Nacional de Quilmes, Argentina
15:00 - 15:30	DESARROLLO DE MATERIALES Y NANOMATERIALES PARA EL CAMPO ENERGÉTICO – Saúl Cabrera, M. Vargas, F. Benavente y otros. - Instituto de Investigaciones Químicas, Universidad Mayor de San Andrés.
15:30 - 16:00	DISEÑO Y DESARROLLO DE BATERÍAS CILÍNDRICAS DE ION-LITIO EN PLANTA PILOTO DE BATERÍAS – José Tito Churqui Canaviri, Ramiro Erquicia, Giovana Diaz - Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos, COMIBOL.
16:00 - 16:30	SÍNTESIS DE MATERIALES CATÓDICOS A PARTIR DEL CARBONATO DE LITIO BOLIVIANO Y SU APLICACIÓN EN BATERÍAS DE ION-LITIO – Marcelo Gonzales - Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos, COMIBOL.
	
09:30 - 10:00	EL ABC DEL LITIO SUDAMERICANO. UN ANÁLISIS SOCIO-TÉCNICO EN TORNO AL DESARROLLO DE LOS YACIMIENTOS EVAPORÍTICOS DE ARGENTINA, BOLIVIA Y CHILE – Federico Nacif - Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICET) - Universidad Nacional de Quilmes, Argentina.
17:00 - 17:30	SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DEL LiCoO_2 A PARTIR DEL CARBONATO DE LITIO BOLIVIANO - Benigno Mamani Cuenca; Marcelo Gonzales Saique; Fidel Usnayo Yúja - Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos, COMIBOL.
17:30 - 18:00	SÍNTESIS DE UN COMPOSITE $\text{Li}_x\text{Si}_{1-x}\text{B}_x\text{O}_2$ / $\text{LiTi}_2\text{P}_2\text{O}_{12}$ PARA SU EVALUACIÓN COMO CONDUCTOR DE IONES LITIO D E ESTRUCTURA TIPO NASICON – N. Leiva, Saúl Cabrera – Instituto de Investigaciones Químicas. Universidad Mayor de San Andrés.
18:00 - 18:30	DESARROLLO DE MATERIAL ANÓDICO BASADO EN ESTAÑO CON CARBONO PARA BATERÍAS ION-LITIO - Luz Zulema Quispe Quelca - Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos, COMIBOL.
18:30 - 19:00	DESARROLLO DE MATERIALES AVANZADOS HÍBRIDOS COMO MATERIALES CATÓDICOS EN BATERÍAS DE ION-LITIO - Cesario Aipi, Saúl Cabrera – Instituto de Investigaciones Químicas. Universidad Mayor de San Andrés.

Ilustración 17: Charlas sobre baterías de litio y materiales catódicos en el XIII Congreso Internacional de Metalurgia y Ciencia de los Materiales, La Paz, Oct 2016

⁹⁷ La GNRE contrató con la firma china Linyi Dake dos líneas de producción: celdas de 0.8 A.h y celdas de 10A.h.

⁹⁸ Notase 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, etc. Mientras que las segundas pueden estar compuestas por una sola celda (batería de un celular) o por varias (batería de un vehículo eléctrico). Esto es, en este caso, 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.

⁹⁹ La tecnología contratada con la empresa china Linyi Dake incluía el ensamblado de un pack de 8 celdas de 10A.h-3V dando lugar a una batería de 240W.h.

Tener la capacidad de modificar el diseño inicial contratado –baterías de 240kW.h- 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, en lugar de 8 celdas de 10 A.h, ahora unir 60 celdas (~1.8kWh). Técnicamente es mucho más complicado e implica una serie de ajustes y de 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 electro-mecánico. Una vez definida la configuración de la batería –que trabajará con un determinado voltaje nominal e intensidad de corriente de descarga-, se requiere de 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, de evitar descargas profundas, sobrecargas, etc. Es decir, se trata del “cerebro” de la batería. En realidad, el desarrollo de estos sistemas BMS es el negocio de muchas empresas en Europa y EEUU, 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 Palca quien lo desarrolló específicamente para el montacargas. Así mismo, la batería requiere de 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 conocimiento de carácter interdisciplinar. En este caso relacionado con la ingeniería de materiales, en tanto 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 resulta un salto cualitativo, en tanto 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.

Bolivia ya ensambla baterías de litio para celulares y bicicletas

Industrialización. Se inauguró la planta piloto que producirá 1.040 baterías diarias



Test. Morales maneja una bicicleta que funciona con una batería de litio (detalle) hecha en La Palca. ABL.

En la inauguración de la PPB el Presidente Morales manejó una bicicleta eléctrica energizada con una batería de 240W.h producida en La Palca. Esta batería se compone de 8 celdas ión-litio de 10 A.h-3V con electrodo de fosfato de hierro litio.



Este antiguo montacargas funcionaba con un motor eléctrico y baterías de plomo-ácido. El equipo de la PPB las sustituyó por una batería de 2kW.h de ión-litio ensamblada a base de celdas de 10 A.h producidas en La Palca. Tanto la carcasa como el sistema electrónico (Battery Management System) fue diseñado en La Palca.



Celdas de 10 A.h-3V

En base a las celdas de 10A.h el equipo de La Palca ha diseñado y producido más de 40 configuraciones diferentes de batería para diferentes aplicaciones

La Razón (Edición Impresa) / Gabriela Imaña / La Paz
03:12 / 18 de febrero de 2014

Ilustración 18: Tecnologías adquiridas inicialmente por Bolivia y tecnologías desarrolladas. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, los procesos de *retroingeniería* se han extendido a los bienes de capital, de manera que el mantenimiento y reparación de todos los equipos de planta lo 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 metal-mecánica potosinas, este equipo 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 sobre 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 de aquella decisión es que desde que se instaló la PPB la GNRE no ha necesitado contactar a los proveedores chinos 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, ésta fue llevada 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 YBL a la hora de llevar a cabo la reparación y 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.

Estos avances materializan en la escala piloto el concepto de la cadena de valor del litio: de la salmuera a la batería (Rodríguez y Aranda, 2014), al tiempo de mantener bajo el control de la GNRE la capacidad de decisión sobre las tecnologías esenciales, el proceso productivo y los bienes de capital. Además, de todo ello se desprenden dos hechos importantes. El primero es que la GNRE/YLB ha sido capaz de abrir la caja negra de la tecnología. Partiendo de lo que inicialmente era una tecnología encapsulada –la PPB en el momento de la instalación y puesta en marcha- , a través de una estrategia deliberada de reapertura del paquete, los técnicos e ingenieros bolivianos se han apropiado de la tecnología y la han resignificado para satisfacer necesidades sociales propias, constatando la vinculación entre las posibilidades de flexibilidad interpretativa y la capacidad en el manejo de la tecnología. Los elementos clave de esta estrategia se encuentran, por una parte, en la determinación a priori por parte de la GNRE, durante el proceso de selección y contratación de la tecnología, de priorizar la apropiación tecnológica como criterio de diseño. Y por otro lado, en la selección de una tecnología equilibrada con el nivel de desarrollo y conocimiento científico- tecnológico existente en la materia en el momento de la transferencia.

El segundo tiene que ver con el cumplimiento, aunque aún a pequeña escala, de un hito en materia de soberanía y desarrollo. Nos referimos a los cambios estructurales que hay implícitos en el hecho de que el litio proveniente del Salar de Uyuni haya sido transformado, con tecnología mayormente boliviana, en un sistema de almacenamiento de energía, que en la actualidad está sirviendo para erradicar la pobreza energética del país. No se trata sólo de la construcción de la base material para avanzar en la superación del tradicional modelo de patrón primario exportador, ni tampoco evidenciar que existen alternativas más allá de la lógica mercantil, que tan sólo produce para satisfacer las necesidades de reproducción ampliada del capital. De lo que se trata es de demostrar que si se puede. Qué no es sólo cosa de “gringos”, del primer mundo, eso de desarrollar tecnología. Bolivia también puede hacerlo y, además, puede hacerlo de una forma creativa y social: la tecnología puede servir tanto como herramienta para esclavizar al hombre, como para liberarlo (Feenberg, 2008).

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 en gran medida 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 sólo de manufacturar productos con valor comercial, sino también 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 diverso tipo en términos de precio, tecnología, modalidad de adquisición etc, supone una oportunidad para el desarrollo de políticas orientadas hacia la transferencia de conocimiento con fines *capcitantes*. Permite aprovechar la tecnología adquirida para acortar *brechas tecnológicas* a través de su absorción para, a partir de aquí, iniciar¹⁰⁰ la etapa de producción de conocimiento propio. Fue de este hecho de lo que se aprovechó Bolivia: los significados en cuanto 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 grupos sociales relevantes vinculados al proyecto (jefatura del estado, funcionarios públicos, sociedad civil, etc), 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 controversia que condicionó la *trayectoria socio-técnica* futura, así como la magnitud del vector causal tecnología-sociedad. Esto es, 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: a) la producción de nuevo conocimientos relacionados con la ciencia y técnica de los acumuladores de litio y b) que en su *flexibilidad interpretativa*, las BdL se constituyan como *artefactos construidos socialmente*: 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: a) la soberanía energética, en base a la acumulación de energía renovable, y b) la explotación de las BdL como *artefacto capacitante*, útil para satisfacer necesidades sociales propias.

¹⁰⁰ Cabe en este punto mencionar la estrategia alternativa: iniciar la producción de nuevo conocimiento partiendo desde cero. Sin negar su pertinencia y beneficios –tal y como ha ocurrido con el procesado de la salmuera del Salar de Uyuni, realizado íntegramente por el personal técnico de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos-, en el caso del desarrollo de productos con una elevada intensidad científico-técnica y un gran conocimiento incorporado, como son las BdL, esta aproximación puede no ser la más acertada. El actual estado del arte de las BdL proviene de un esfuerzo científico-tecnológico iniciado en los países del centro a partir de los años 70s y una ingente inversión acumulada tanto en recursos económicos como humanos. De este modo, el análisis de las alternativas de *acceso a la tecnología*, a saber, *desarrollo propio* o *adquisición de paquetes*, debería ponderar entre las inversiones necesarias en recursos –económicos, humanos, tiempo-, las capacidades de partida –científico-técnicas, organizativas, políticas- y los retornos esperados –económicos, sociales, de desarrollo de capacidades y utilidad del producto-.

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. De este modo, *una trayectoria socio-técnica* sustentada en un *estilo tecnológico* que prioriza la *desagregación* y apropiación de la caja negra que es –o era– la PPB incide en la estructura del *actor-red* del proyecto estatal boliviano en varios sentidos: a) reforzando alianzas clave (entre científicos e ingenieros y las BdL, sus componentes, insumos, equipos y procesos), b) generando nuevas y diferentes reverberaciones en otros puntos de la red (que pueden dar lugar al enrolamiento de nuevos aliados –nuevos usuarios de BdL, nuevos proveedores de materiales, equipos o servicios, etc-, c) estableciendo las condiciones materiales para que “lo social” pueda penetrar más fácilmente en “lo técnico”. En definitiva, frente a la operación de una *tecnología encapsulada*, la magnitud de la *flexibilidad interpretativa* es contingente a la *apertura del paquete* tecnológico.

Desde el punto de vista estratégico, frente al tradicional modelo de patrón primario-exportador dominante en la región –incluida Bolivia–, la industrialización de los recursos evaporíticos busca el desarrollo de la cadena de valor del litio. Bajo este enfoque, a través de una *trayectoria socio-técnica* que incorpora fases lógicas en el escalado –I+D y piloto como etapas previas a producción industrial–, y a través de un enfoque de pilotaje integral con socios diversificados, el Estado boliviano no sólo ha conseguido acumular enormes capacidades técnico-organizativas y el control sobre la producción del carbonato de litio y las baterías. Además, la apuesta por la gradualidad de inversiones podría activar mecanismos de apalancamiento de mercados internos y externos que permitirán una evolución paulatina y equilibrada entre la base científico-tecnología y las esferas de la producción y la comercialización. No obstante, la realización de los objetivos estratégicos del proyecto (realización de las BdL en cuanto valor) no depende en exclusiva del modo en el cual el proyecto fue conceptualizado. También el entorno mesosocial condiciona e imprime identidad tanto la forma teórica de la planta, como su contingencia tecno-económica. La presencia de múltiples culturas: científica, burocrática, económica, política, etc. en torno al proyecto se manifiesta en la complejidad para establecer diálogos inter e intra institucionales con objetivos corporativos comunes, dificultando el avance del proyecto y dando lugar a situaciones de bloqueo.

Por una parte, el marco legal e institucional no está concebido para promover políticas de industrialización desde el Estado en Bolivia. No es sólo que la maraña de leyes, decretos y reglamentos superpuestos da lugar a múltiples contradicciones legales y, en consecuencia, abre el abanico de posibles interpretaciones. El problema de fondo, sin embargo, es que el marco institucional trasciende el ámbito legal dando lugar a una cultura de funcionariado con mentalidad de *reyes chiquitos*, que hacen de cada escritorio un espacio propio de poder y bloqueo. Cultura que se refuerza por el miedo a sanciones administrativas y penales por irregularidades. Por otro lado, cada etapa en la agitada historia de la COMIBOL supuso cambios radicales en las funciones y rol de la empresa estatal dejando una impronta institucional en su estructura y cultura organizativas. Secuestrada por la cultura burocrática, la COMIBOL trasladó a la GNRE su *memoria organizacional*. En definitiva, una parte esencial del actor-red del proyecto boliviano opera más como barrera del proyecto que como fuerza motriz. En otros términos, la falta de visión compartida sobre cómo avanzar hacia la industrialización debilita la voluntad política necesaria para enfrentar todos los desafíos y desacopla las *políticas implícitas* de las explícitas.

Reconociendo que uno de los problemas de fondo que dificulta una interacción virtuosa, tanto del proyecto hacia afuera, entre los diferentes actores responsables del cambio técnico en Bolivia – Estado, tejido productivo, infraestructura de I+D–, como al interior de la propia GNRE, es la naturaleza multicultural del actor-red, existe la necesidad de armonizar los diferentes planos del lenguaje que despliegan las diferentes culturas y actores involucrados. La construcción de espacios de diálogos comunes, diseñados para que tenga lugar una *hibridación de lenguajes* (Vessuri,

2004), podría resultar una estrategia apropiada en la búsqueda del acercamiento de culturas. En todo caso, el devenir del proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia depende en gran medida de la capacidad para la construcción de *interfases múltiples*, tanto disciplinares, como culturales. Estas zonas de frontera cumplen, por una parte, el rol de coordinar acciones en la búsqueda del objetivo común manteniendo el equilibrio de intereses de los múltiples actores y, por otra, sirven como canales para la difusión y transferencia de información y conocimiento, tanto al interior de la institución, como hacia el exterior. Y para el establecimiento de *interfases activas*, que sirvan como verdaderos puentes tendidos capaces de conectar diferentes culturas y disciplinas, así como flujos de conocimiento, los agentes asignados deben conocer tanto aquellas, como los lenguajes propios de las mismas que se pretenden ensamblar socio-técnicamente a través de la interfase. Queda por ver si la nueva YLB es una mera continuación de la cultura COMIBOL o si por el contrario será capaz de articular a los actores, equilibrar planos del lenguaje y culturas y generar estas interfaces activas

De vuelta al plano estratégico, en lo que respecta a la contingencia tecno-económica, la crisis de identidad que sufre el sector energético mundial encierra grandes oportunidades. Aquejado de una problemática que abarca múltiples niveles, desde horizonte de escasez o la cuestión medioambiental, hasta una cultura empresarial cuestionada por la sociedad civil, el tránsito hacia un nuevo paradigma energético se está acelerando. En este esquema los sectores litio-intensivos están llamados a desempeñar un importante rol. Esto se manifiesta en numerosos programas gubernamentales respaldados por fuertes inversiones destinadas a la promoción de las energías renovables y la ya no tan incipiente penetración de los vehículos eléctricos en el mercado de transportes. Ante este panorama América Latina, que ostenta más de dos tercios de la reserva mundial de litio, tiene la oportunidad de encarar el reto de subirse al tren de la transición energética más allá del tradicional modelo primario-exportador: teniendo en cuenta las diferentes formas del valor –de uso, de cambio y tecnológico-. encerrado en las baterías. En tanto que valor de cambio, la distribución de la estructura de costos de las celdas de litio ($\approx 60\%$ corresponde a insumos litiados –material catódico y electrolito-), constituye una *ventaja comparativa dinámica* que podría compensar una suerte de defecto tecnológico en la región en materia de acumuladores de litio (comparado con un estado-del-arte en la frontera de conocimiento en los países del centro, consecuencia de un esfuerzo de inversión sostenido desde hace más de 50 años) a través de una significativa reducción de costos -del orden del 20%-Trasladado al precio, los sistemas de acumulación bolivianos serían, sin duda, altamente competitivos en ciertas aplicaciones (almacenamiento estático y movilidad de baja potencia, e.g. bicis eléctricas). No obstante, la elaboración de las BdL en cuanto valor de cambio con estructura de costos optimizada implica la aceptación de una premisa: el litio de los salares latinoamericanos debe ser procesado mediante sucesivas transformaciones químicas hasta ser incorporado en los productos finales, de lo contrario, el carácter estratégico del litio se desvanecería si son los países del centro los que transforman la materia prima en productos litiados con tecnología incorporada –materiales catódicos, sales de electrolito, baterías de litio- para su posterior exportación a los países de la periferia.

Avanzar en esta dirección, poniendo al mismo tiempo el acento en el concepto de *soberanía energética*, entendida como la capacidad de los estados para definir y controlar su matriz energética, vincula en su dimensión material tanto al régimen de propiedad sobre los recursos naturales, como a las capacidades científico-tecnológicas para transformarlos en aquellos dispositivos consustanciales a un modelo de generación a partir de fuentes renovables: las baterías de litio. La consecuencia de este enfoque alcanza múltiples dimensiones: a) social –acceso a la energía y soberanía energética-, b) económica –rentabilidad de proyectos vía sustitución de insumos-, c) ambiental –modelo sostenible a largo plazo- y d) estratégica –formación de precios internacionales e integración regional-. Pero para ello es necesario consensuar acciones y definir políticas energéticas e industriales que fomenten un modelo energético descentralizado basado en

la generación renovable, el autoconsumo y la bidireccionalidad producción-consumo: el grado de soberanía energética que se podrá alcanzar en el futuro se vincula a la medida en que los estados controlen sus recursos energéticos –como el litio- y se involucren en el desarrollo de la cadena de valor del litio y sus industrias complementarias.

No parece ser mera especulación el advenimiento de una nueva matriz energética en la que la generación sea más descentralizada y el almacenamiento a través de baterías sea una parte consustancial al sistema. Ni tampoco el hecho de que existen necesidades reales de acceso a la electricidad para superar la pobreza energética. A día de hoy en la región existen alrededor de 30 millones de personas con déficit de acceso a la electricidad, lo que se traduce en unas necesidades de almacenamiento de aproximadamente 7.5GWh –si la apuesta por solucionar el problema fuese a través de generación renovable (solar o eólica) y almacenamiento-. Por otro lado, más allá del dato concreto, todos los análisis de tendencias y mercados coinciden en que la matriz energética está cambiando y las necesidades de almacenamiento crecerán de modo acelerado en la próxima década. En base a los datos y estimaciones realizadas en esta tesis, la demanda agregada en la década 2020-2030 de baterías de litio en la región alcanzaría los 400GWh. A partir de este año, se requerirían aproximadamente 50GWh/año de capacidad adicional de almacenamiento en baterías de litio.

Traduciendo estos números en términos de oportunidad de negocio, en primer lugar, el efecto tractor sobre la producción de carbonato de litio que tendría esta industria sería gigantesco: sería necesario transformar aproximadamente 28.000Tn/año de LCE en material catódico y sales de electrolito (112.000Tn/año de LFP y 6.700 Tn/año de LiPF_6 para los insumos seleccionados en este estudio) para producir 4,7 millones de packs de baterías de ión-litio (10,7 kWh/pack). Pero, además, una industria de manufactura de acumuladores de litio de esta dimensión, generaría unas utilidades netas acumuladas para el periodo 2020-2030 de aproximadamente 28.000 millones de dólares, siendo aproximadamente 3.000 millones de dólares de éstas directamente imputables al efecto de la sustitución de insumos –es decir, uso de insumos integrados verticalmente en lugar de importados de terceros países, como China-. Este escenario devuelve unos indicadores de rentabilidad ciertamente importantes: Tasa Interna de Retorno (TIR) =25% y un Valor Actual Neto (VAN) = 6.800 millones de dólares.

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 socio-técnica* de la planta piloto de baterías de litio, resulta aleccionador. Pues, a pesar de no estar exenta de dificultades, esencialmente relacionadas con algunas limitaciones a los flujos de conocimiento al interior de la GNRE, y una burocracia estructural que en muchos casos obliga a anteponer lo administrativo a lo técnico, Bolivia se constituye como el único país del Cono Sur en prohibir las concesiones sobre sus reservas y fundar una empresa pública que busca su industrialización, en base a un proceso autónomo y soberano, en función de las propias necesidades sociales, e inspirado en la lógica de combinar el desarrollo autónomo de ciencia y tecnología, con la adquisición de ésta como paquetes desagregables. Todo ello en la búsqueda de un fin concreto: un desarrollo sistémico y articulado de sus recursos evaporíticos.

Bibliografía

Libros, informes y papers científicos.

- Agenda 2025 (2013) “*Agenda patriótica 2025. 13 Pilares de la Bolivia Digna y Soberana*”, Ministerio de Comunicación, Estado Plurinacional de Bolivia, La Paz.
- Aifantis, Katarina; Hackney, Stephen; Vasant, Kumar (2010) “*High Energy Density Lithium Batteries. Materials, Engineering, Applications*”, WILEY VCH
- Ajpi, Cesario y Cabrera, Saúl (2015) “*Materiales avanzados híbridos como materiales catódicos en baterías de ion-litio*”, XIII Congreso Internacional de Metalurgia y Ciencia de los Materiales, UMSA, La Paz
- Albornoz, Mario (2007) “*Los problemas de la ciencia y el poder*”, Revista CTS, n° 8, vol. 3, Abril de 2007 (pág. 47-65), Buenos Aires.
- Analuf, Axel (2015) “*¿Secar la tierra para sacar litio? Conflictos socio-ambientales en la minería del litio*”, ABC del litio sudamericano. Soberanía, ambiente, tecnología e industria. Universidad Nacional de Quilmes.
- Arceo, Enrique (2011) “*El largo camino a la crisis. Centro, periferia y transformaciones de la economía mundial*”, Buenos Aires, Cara o Ceca.
- Arias, Iván (2011) “*El estado de las empresas del Estado*”, Coloquios Económicos, N°23, Fundación Milenio.
- Augstburger, Horacio (2012) “*Future scenarios for the industrialization of evaporitic resources in Bolivia*”, NSSI Semester 2 Thesis 04/12, Institute for Environmental Decisions, Germany.
- Axen, Jonn; Burke Andrew; Kurani Ken (2008) “*Batteries for Plug in Hybrid Vehicles: Goals and the state of technology circa 2008*”, University of Davis, California.
- Balaza, Lenin; Gischler, Christiaan; Janson Nils; Miller, Sebastian; Servetti, Bianmarco (2014) “*Potential for energy storage in combination with renewable energy in Latin America and the Caribbean*”, Banco Interamericano de Desarrollo, División de Energía, en: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=38576266>
- BDEW-ZVEI (2012) “*Smart Grids in Germany. Fields of action for distribution system operators on the way to Smart Grids*”, German Association of Energy and Water Industries and German Electric and Electronic Manufacturers Association, Junio, en: [http://www.bdew.de/internet.nsf/id/816417E68269AECCEC1257A1E0045E51C/\\$file/BDEW-0008_S-G-Broschuere_eng_Web_DS.pdf](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/816417E68269AECCEC1257A1E0045E51C/$file/BDEW-0008_S-G-Broschuere_eng_Web_DS.pdf)
- Bell, Martin y Pavitt, Keith. (1995) “*The Development of Technological Capabilities*”. Capítulo 4 en “Trade, Technology and International Competitiveness”. The World Bank. Washington D.C.
- Belt, Heinz-Joachim; Seffer, Dirk; Rudolph, Werner (1999) “*Method of preparing LiPF₆*”, United States Patent, n° 5,866,093, USA.
- Ben-David, Joseph (1974) “*El papel de los científicos en la sociedad, un estudio comparativo*”, Editorial Trillas, México.
- BID (2014) “*Potential for Energy Storage in Combination with Renewable Energy in Latin America and the Caribbean*”, BID.
- Bijker, Wiebe. (2008) “*La construcción social de la baquelita: hacia una teoría de la invención*” en H. Thomas y A. Buch (coords.) A. Lalouf y M. Fressoli (colabs.), Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología, Bernal, Universidad Nacional de Quilmes, pp. 63-100
- Bijker, Wiebe; Hughes, Thomas. Pinch, Trevor (1987) “*The Social Construction of Technological Systems*”, The MIT Press, Cambridge.
- Bisang, Roberto (1995) “*Libremercado, intervenciones estatales e instituciones de ciencia y técnica en la Argentina: apuntes para una discusión*”, Redes 3, UNQ, Buenos Aires.
- Bloomberg, (2013) “*Global trends in renewable energy investment 2013*”, Frankfurt School-UNEP, en: <http://www.unep.org/pdf/GTR-UNEP-FS-BNEF2.pdf>
- BMI (2019) “*Market intelligence for lithium ion battery, electric vehicle & energy storage supply chains*”, Benchmark Market Intelligence, en: <https://www.benchmarkminerals.com/>

- Boczkowski, Pablo (1996) “*Acerca de las relaciones entre la(s) sociología(s) de la ciencia y de la tecnología: pasos hacia una dinámica de mutuo beneficio*”, REDES, Vol. III, Nro. 8.
- Bruckmann, Mónica (2013) “*Conferencia suramericana: Visiones hacia una estrategia suramericana para el aprovechamiento de los recursos naturales*”, Caracas, Venezuela, 29 de mayo de 2013
- Bruckmann, Mónica (2015) “*Litio y la geopolítica de la integración latinoamericana*”, ABC del litio sudamericano. Soberanía, ambiente, tecnología e industria. Universidad Nacional de Quilmes
- Buchmann, Isidor (2004) “*Battery Statistics*”, Freedonia Group
- Cabrera, Saúl (2017) “*Nano and micro materiales electroactivos para Celdas de Ión-Litio y orientados para su aplicación en sistemas LIB/PV*”. Laboratorio de Energías Alternativas, Instituto de Investigaciones Químicas, UMSA, La Paz, Bolivia
- CAF-CEPTAL et Al (2013) “*Energía: Una visión sobre los retos y oportunidades en América Latina y el Caribe*”, Corporación Andina de Fomento – Comisión Económica Para América Latina, Marzo, en: <http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/8/51428/Energiavisionsobrelosretos.PDF>
- Callon, Michel (1986) “*The Sociology of an Actor-Network: the case of the Electric Vehicle*”, en Callon, Michel; Law, John y Rip, Arie: Mapping the Dynamics of Science and Technology, MacMillan Press, London.
- Callon, Michel (1995) “*Algunos elementos para una sociología de la traducción: la domesticación de vieyras y los pescadores de la Bahía Saint Brieuc*”. En Iranzo et alii: Sociología de la ciencia y la tecnología. Madrid, CSIC. (24 págs)
- Callon, M., (1998) “*Actor-network theory: the market test*”. En: Law, J., Hassard, J., Actor Network Theory and After. Blackwell Publishers, Oxford, pp. 181–195.
- Carbonier, Gilles y Jiménez. Elizabeth (2013) “*Can Lithium Energize Sustainable Development in Bolivia? Institutional and Policy Challenges*”, Journal of Environmental Science and Engineering B2 (2013) 521-526, ISSN 1934-8932
- Cardoso, Fernando H. y Faletto, Enzo (1969) “*Dependencia y Desarrollo en América Latina: ensayo de interpretación sociológica*”, Siglo XXI, México, D.F
- Carlsson, B. (1995) “*Technological Systems and economic performance: The case of Factory automation*”, Kluwer, Dordrecht
- Carlsson, B. y Stankiewicz, R. (1991) “*On the nature, function and composition of technological systems*”. Journal of Evolutionary Economics, Vol. 1, N° 2, pp. 93-118.
- Carvajal, Rolando (2010) “*Litio: industrialización en manos del gobierno ¿qué sigue ahora?*” Bolpress, 28 April 2010
- Casas, Rosalba (Coord.) y Mercado, Alexis (Coord) (2015) “*Mirada iberoamericana a las políticas de ciencia, tecnología e innovación*”, Colección Grupos de Trabajo, CLACSO. CYTED-Madrid.
- Casas, Rosalba (2015) “*Retos analíticos de las políticas de ciencia, tecnología e innovación para enfrentar la pobreza en América Latina*”, en: “*Mirada iberoamericana a las políticas de ciencia, tecnología e innovación*”, Colección Grupos de Trabajo, CLACSO. CYTED-Madrid
- CDA, Inc (2012) “*Market evaluation for energy storage in the US*”, KEMA, Fairfax, Virginia, en: http://www.copper.org/about/pressreleases/pdfs/kema_report.pdf
- Chávez, Bernardo (1990) “*El litio, una perspectiva para Bolivia*”. Centro de Documentación del Ministerio de Minería y Metalurgia de Bolivia. La Paz.
- Choque, Rigoberto; Parra, Roberto; Cabrera, Saúl (2011) “*Identificación de necesidades de investigación y formación de recursos humanos para la industrialización de los recursos evaporíticos*”; Viceministerio de Ciencia y Tecnología, La Paz.
- Claros, Jaime (2012) “*El litio del salar de Uyuni innovación – tecnología – explotación*” Proyecto: Universidad Autónoma “Tomás Frías” Universidad Técnica “Academia de Minas de Freiberg” Potosí – Bolivia
- Claure, René (2010) “*El régimen jurídico del litio en Bolivia*”, Carta Informativa Legal, Año XII, VolXI-N°40, La Paz

- Cohen, Wesley. y Levinthal, Daniel. (1989) "*Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation.*" Administrative Science Quarterly 99 (No. 397 1989): 569-96.
- Collins, Harry (1985) "*Changing order: replication and induction in scientific practice*". Londres, Sage.
- Cotec (2003) "*Informe COTEC para la innovación tecnológica*", Fundación COTEC, España.
- Curi, Cesin (2011) "*Hacia una explotación integral de los recursos del Salar de Uyuni*", Energy Press (Informe Especial).
- Dagnino, Renato, Thomas, Hernán y Davyt, Amílcar (1996) "*El pensamiento en ciencia, tecnología y sociedad en Latinoamérica*", en: REDES, N° 7, Editorial de la UNQ, Buenos Aires.
- Dagnino, Renato y Thomas, Hernan (2000) "*Elementos para una renovación explicativa-normativa de las políticas de innovación latinoamericanas*". Revista Espacios. Vol. 21 (2).
- Dahlin, Greger; Strom, Kalle (2010) "*Lithium batteries. Research, Technology and Applications*", Nova Science Publishers.
- Daza-Caicedo, Sandra; Arboleda, Tania; Lozano-Borda, Marcela; Parra, Michel y Pallone, Simona (2015) "*Políticas de popularización y apropiación de la ciencia y la tecnología en América Latina entre déficit y democracia. El caso de la semana nacional de la ciencia y la tecnología en Brasil, Chile y Colombia*", en: "Mirada iberoamericana a las políticas de ciencia, tecnología e innovación", Colección Grupos de Trabajo, CLACSO. CYTED-Madrid
- Di Flippo, Armando (2009) "*Estructuralismo latinoamericano y teoría económica*", Revista CEPAL, N° 98
- Dinger, Andreas; Martin Ripley; Mosquet, Xavier, (2009) "*Batteries for Electric Cars. Challenges, Opportunities and outlook to 2020*", The Boston Consulting Group.
- DOE, 2013 "*Grid Energy Storage*", US Government, U.S Department of Energy, Diciembre, en: <http://energy.gov/sites/prod/files/2013/12/f5/Grid%20Energy%20Storage%20December%202013.pdf>
- Echazú, Luis Alberto (2015) "*Un proyecto 100% estatal. Industrializando Carbonato de Litio y Cloruro de Potasio con dignidad y soberanía*" ABC del litio sudamericano. Soberanía, ambiente, tecnología e industria. Universidad Nacional de Quilmes
- EESI (2019) "*Fact Sheet: Energy Storage (2019)*", Environmental and Energy Study Institute, en: <https://www.eesi.org/papers/view/energy-storage-2019>
- EIA (2013) "*International Energy Outlook 2013*", US Energy Information Administration, en: [http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2013\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2013).pdf)
- Elizaga y Jameson (1996) "*El cambio de las agendas políticas en ciencia y tecnología*", Revista Zona Abierta 75/76, Madrid, 1996.
- Edquist, C. (1997) "*Systems of innovation approaches. Their emergence and characteristics*". En: Edquist (ed). Systems of innovation: technologies, institutions and organizations. London: Pinter.
- Escalera, Saúl (2012) "*Ciencia, Tecnología y Litio en Bolivia*", Academia.org.edu
- Etherden, Nicholas; Ackeby, Susanne; Bollen Math; Ohlsson, H.J. Lars (2013) "*Technical Dimensioning of an energy storage for a Swedish distribution company*", CIRED, 22nd International Conference on Electricity Distribution Stockholm, 10-13 June 2013, Paper N° 315, en: http://pure.ltu.se/portal/files/92404538/Nicholas_Etherden_Ny.pdf
- Etzkowitz, Henry y Webster, Andrew (1998) "*Capitalizing Knowledge. New intersections of industry and academia*", State University of New York Press, suny Series Frontiers in Education, Albany, pp. 21- 46.
- Fagerberg, Jan (2003) "*Innovation: A guide to the literatura*". Centre for Technology, Innovation and Culture, Universidad de Oslo.
- Feenberg, Andrew (2008) "*Transformar la tecnología. Una nueva vista la teoría crítica*", Universidad Nacional de Quilmes, Buenos Aires.
- Freeman, Christopher. (1995) "*The national system of innovation in historical perspective*". Cambridge Journal of Economics, Vol. 19, N° 1, pp. 5-24
- Freeman, Christopher y Soete, L., (1997) "*The economics of industrial innovación*", Tercera Edición, Pinter, Londres.

- Freiburger, Nathaniel (2015) *“Modalidades del litio: Pensando el subsuelo político de un recurso natural”*. ABC del litio sudamericano. Soberanía, ambiente, tecnología e industria. Universidad Nacional de Quilmes
- Freiburger, Nathaniel (2014) *“LITHIUM. Entity, Concept, Event”*, Doctor of Philosophy. Office of Graduate Studies of the University of California, Davis
- Gaines, L.; Cuenza, R. (2000) *“Costs of Lithium-Ion-Batteries for Vehicles”* (Report ANL/ESD-42) (Argonne, IL: Argonne National Laboratory, 2000).
- García Linera, Álvaro (2012) *“Las empresas del Estado”*, Vicepresidencia del Estado Plurinacional de Bolivia.
- Garrido, Santiago y Lalouf, Alberto (2010) *“La instalación de dispositivos solares en el secano de Lavalle (Mendoza). Un abordaje socio-técnico de la dimensión tecnológica en la producción de conocimiento para la inclusión social”*, Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (Proyecto PICT 2008 N°2115).
- Gauntlett, Dexter (2017) *“Energy Storage Trends and Opportunities in Emerging Markets”*, International Finance Corporation, World Bank Group.
- Gholam-Abbas, Nazari; Gianfranco, Pistoia (2009) *“Lithium batteries. Science and Technology”*, Italy, Springer Science and Business Media
- Gibbons, Michael; Limoges, Camille; Nowtony, Helga; Schwartzman, Simon; Scott, Peter; Trow, Martin (1997) *“La nueva producción del conocimiento. La dinámica de la ciencia y la investigación en las sociedades contemporáneas”*, Ediciones Pomares – Corredor S.A, España.
- Global Sources (2009) *“Lithium batteries & packs”*, Global Sources
- GNRE (2010, 2011, 2013 2014, 2015, 2016) *“Memoria Institucional”*, Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos, La Paz, Bolivia.
- Gonzales, M.; Quispe, Marysabel (2017) *“Síntesis y Producción Electroquímica de $\text{LiNi}_x\text{Mn}_{2-x}\text{O}_4$ obtenido a partir de Li_2CO_3 de la Planta de Llipi para fabricar baterías de Ión-Li”*, Yacimientos de Litio Bolivianos, CICY MAT-REB, La Palca, Potosí, Bolivia.
- González, Lizardo (2015) *“Universidad Nacional de Jujuy: litio y desarrollo sustentable”*, ABC del litio sudamericano. Soberanía, ambiente, tecnología e industria. Universidad Nacional de Quilmes
- Goonan, Thomas (2012) *“Lithium use in batteries”* (Virginia: USGS, en: www.pubs.usgs.gov/circ/1371/)
- Grágeda, Mario; Vargas, Pedro; Ushak, Svetlana (2015) *“Modelo productivo del litio en Chile: antecedentes, procesos productivos, marco legal, avances y proyecciones y evaluación crítica”* ABC del litio sudamericano. Soberanía, ambiente, tecnología e industria. Universidad Nacional de Quilmes
- Gutti, Patricia (2008) *“Características del proceso de absorción tecnológica de las empresas con baja inversión en I+D: un análisis de la industria manufacturera argentina”*, Universidad Nacional General Sarmiento, Argentina.
- Halty Carrere, Máximo (1986) *“Estrategias de desarrollo tecnológico para países en desarrollo”*, El Colegio de México.
- Halty Carrere, Máximo (2009) *“Producción, transferencia y adaptación de tecnología industrial”*, en (Sábato 2009) *“El pensamiento latinoamericano en la problemática ciencia-tecnología-desarrollo- dependencia”*, Colección Placted, Argentina
- Herrera, Amílcar (1995) *“Los determinantes sociales de la política científica en América Latina. Política científica explícita y política científica implícita”*. REDES, nº5, Argentina
- Hollender, Rebecca y Shultz, Jim (2010) *“Bolivia y su litio ¿Puede el “oro del siglo XXI” ayudar una nación a salir de la pobreza?”*, Centro Para la Democracia, Cochabamba.
- Hughes, Trevor.P. (1983) *“Networks of Power, Electrification in Western Society 1880-1930”*, Baltimore: The John Hopkins University Press
- Hughes, Trevor.P., (1987) *“The evolution of large technological systems”*. In: Bijker, W.E., Hughes, T.P., Pinch, T. (Eds.), *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 51–82.

- IEA (2019) "Tracking energy storage integration", Tracking Report, International Energy Agency, en: <https://www.iea.org/reports/tracking-energy-integration/energy-storage>
- IRENA (2017) "Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030", International Renewable Energy Agency, Oct 2017
- Jimenez, Georgina y Campanini, Gorge (2013) "Mallku K". Informe minería, tierra y territorio. Petropress, n° 29, Cochabamba.
- Katz, Jorge (1990) "La teoría del cambio tecnológico y su adecuación al caso de los países de industrialización tardía", EUDEBA, Buenos Aires
- Kornblitz, Ana Lidia (2007) "Metodologías cualitativas en ciencias sociales. Modelos y procedimientos de análisis", Editorial Biblos, Buenos Aires
- Lall, S. (1992) "Technological capabilities and industrialization", World Development Report N° 20(2).
- Lalouf, Alaberto (2013) "Cuando las transferencias tecnológicas fracasan: aprendizajes y limitaciones en la construcción de Tecnologías para la Inclusión Social", Revista Universitas Humanistica, Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias Sociales.
- Latour, Bruno (1987) "Science in action: how to follow scientists and engineers through society" Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press. ISBN 9780674792913
- Latour, Bruno (2005) "From Realpolitik to Dingpolitik: Or, How to Make Things Public." Pp. 1-31 in Making Things Public: Atmospheres of Democracy, edited by Bruno Latour and P. Weibel. Cambridge, MA: MIT Press
- Leiva, Naviana y Cabrera, Saúl (2015) "Síntesis de un composite $\text{Li}_x\text{Si}_{1-x}\text{B}_x\text{O}_2 / \text{LiTi}_2\text{P}_3\text{O}_{12}$ para su evaluación como un conductor de iones litio de estructura tipo NASICON", XIII Congreso Internacional de Metalurgia y Ciencia de los Materiales, UMSA, La Paz
- Lundvall, Bengt-Ake (2009) "Sistemas Nacionales de Innovación. Hacia una teoría de la innovación y el aprendizaje por interacción". Caps. 1 y 15. UNSAM EDITA de Universidad Nacional de General San Martín.
- Lundvall, Bengt-Ake y Johnson, Bjorn. (1994) "The learning economy", Journal of Industry Studies, Vol. 1 (2), pp. 23- 42.
- Matsuki, Kenso y Ozawa, Kazunori (2009) "General Concepts" en Lithium Ion Rechargeable Batteries (Weinheim: Wiley-VCH).
- Mercado, Alexis y Córdova, Karenía (2015) "Transformaciones disruptivas de los sistemas tecnológicos de baterías e impulsión automotriz: desafíos tecnoproductivos para Suramérica" ABC del litio sudamericano. Soberanía, ambiente, tecnología e industria. Universidad Nacional de Quilmes
- Mercado, Alexis; Vessuri, Hebe; Córdova, Karenía (2015) "La política científica y tecnológica en Latinoamérica. Convergencias y divergencias frente a apremiantes problemas socioambientales", en Casas, R. y Mercado, A (Coord) "Mirada iberoamericana a las políticas de ciencia, tecnología e innovación", Colección Grupos de Trabajo, CLACSO. CYTED-Madrid.
- Mercado, Alexis (2004) "Aprendizaje tecnológico y desarrollo socioinstitucional: la industria química y petroquímica en Brasil y Venezuela", Editorial CENDES, 2004
- Mercado, Alexis (2003) "¿Innovaciones incrementales o desarrollo tecnológico nuevo?: la planta del alquilbenceno de química Venoco", CHAP.
- Metz, Dieter; Fiedler, Thorsten; Mircea, Ion; Mircea, Paul-Mihai (2010), "Integration of distributed battery storages in modern power grids", Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering series, N°34, 2010, pp:137-141, en: <http://elth.ucv.ro/fisiere/anale/2010/26.pdf>
- Ministerio de Minería y Metalurgia de Bolivia (1992) "Algunos aspectos relevantes del contrato de riesgo compartido firmado entre el complejo industrial de los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni y la LITHCO Corporation". MMM, La Paz
- Montenegro, J. Carlos (2014) "El proyecto estatal de industrialización del litio y potasio en Bolivia. Impactos previstos". El proyecto de industrialización del litio en Bolivia. Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA).

- Montenegro, J. Carlos (2015) *“Especulaciones en torno a la industrialización del litio en Bolivia”*, ABC del litio sudamericano. Soberanía, ambiente, tecnología e industria. Universidad Nacional de Quilmes
- Moreno, Ramirez (2010) *“Perspectiva del régimen minero en la Constitución”*, Carta Informativa Legal, Año XII, VolXI-Nº40, La Paz
- Nacif, Federico (2012) *“Bolivia y el Plan de Industrialización del Litio. Un reclamo histórico”* en Revista del CCC (Buenos Aires: Centro Cultural de la Cooperación Floreal Gorini) Nº 14/15, enero/agosto, en: www.centrocultural.coop/revista/articulo/322/
- Nacif, Federico (2013) *“Industrialización del litio en Bolivia: propiedad pública, desarrollo autónomo y soberanía energética”*. Revista Pueblos, Revista de Información y Debate, número 56, abril.
- Nacif, Federico (2015) *“Un Estado a la medida del extractivismo. Las políticas de la «Minería Sustentable» impulsadas en América Latina desde 1990”*, Integra Educativa Vol. VIII, Nº
- Nelson, Richard. (ed.) (1993) *“National Innovation Systems: A comparative Study”*. Oxford, Oxford University Press.
- Nelson, Richard y Winter, S. (1974) *“Neoclassical vs evolutionary theories of economic growth: critique and prospectus”*, Economic Journal, Vol 84.
- Nelson, Paul A.; Santini, Danilo J; Barnes, James (2009) *“Factors Determining the Manufacturing Costs of Lithium-Ion Batteries for PHEVs”*, Argonne National Laboratory – US Department of Energy, EVS24, Stavanger, Norway, May 13-16, 2009
- Nonaka, I. and H. Takeuchi (1994) *“The Knowledge Creating Company”*, Oxford: Oxford University Press
- OECD-IEA (2011) *“Technology Road Map. Smart Grid”*, International Energy Agency, en: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/smartgrids_roadmap.pdf
- OICA (2009) *“2009 Production Statistics”*, Organisation Internationale des Constructeurs d’Automobiles, París, Francia.
- OLADE (2013) *“Energía sostenible-Perspectiva regional: Centroamérica - América Latina y el Caribe”*, Organización Latinoamericana de energía, Seminario de capacitación para américa central (SICA), Costa Rica 10-14 de Junio, en: http://www.iea.org/media/training/presentations/Day_1_Session_2c_OLADE_Overview.pdf
- Olivera, Manuel (2017) *“La industrialización del litio en Bolivia Un proyecto estatal y los retos de la gobernanza, el extractivismo histórico y el capital internacional”*, Tesis de posgrado, CIDES-UMSA, La Paz.
- Orellana, Walter (1995) *“El litio: Una perspectiva fallida para Bolivia”*, Estudio de Caso Nº3, Magister en Gestión y políticas públicas, Fac. Ingeniería Industrial, Universidad de Chile.
- Oszlak y O’Donell (1995) *“Estado y políticas estatales en América Latina: hacia una estrategia de investigación”*, Centro de Estudios e Investigación Universidad Nacional de Quilmes, Año II, Nº 4, Buenos Aires,
- Pavitt, Keith. (1984) *“Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory”*, Research Policy, 13, 343–74.
- Pavlovic, Pedro (2015) *“Comisión Nacional del Litio en Chile. Principales Conclusiones y Propuestas para una Política Pública”*, ABC del litio sudamericano. Soberanía, ambiente, tecnología e industria. Universidad Nacional de Quilmes
- Pérez, Carlota (2010) *“Technological revolutions and techno-economic paradigms”*, Working Papers in Technology Governance and Economic Dynamics The Other Canon Foundation, Norway and Tallinn University of Technology, Tallinn
- Picabea, Facundo; Thomas, Hernan (2011) *“Política económica y producción de tecnología en la segunda presidencia peronista. Análisis de la trayectoria socio-técnica de la motocicleta Puma (1952-1955)”*, REDES, Nº32
- Pike Research (2012) *“Forecasts automotive Li-ion battery prices”*, Green Car Congress
- Pillot, Chritophe (2011) *“HEV, H-HEV& EV Market 2010-2020 impact on battery business”*, 4th International Congress on Automotive Battery Technology.
- Pinch, T. y Bijker, W. (2008 [1990]) *“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 H. Thomas y A. Buch (coords.) A. Lalouf y M. Fressoli (colabs.), Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología, Bernal, Universidad Nacional de Quilmes, pp. 19-62
- Pinch, Trevor (1997) “*La construcción social de la tecnología: una revisión*”, en Santos, M. J. y Díaz Cruz, R. (comp.): Innovación tecnológica y procesos culturales. Nuevas perspectivas teóricas, Fondo de Cultura Económica, México D. F.
 - Plan Nacional de Desarrollo (2006) “*Contenidos del Plan Nacional de Desarrollo*” (La Paz: Ministerio de Planificación de Desarrollo), en: www.ine.gob.bo/pdf/PND/00.pdf
 - Poveda, Pablo (2014) “*Impacto económico de la industrialización del litio del salar de Uyuni en la región*”, Un presente sin futuro. El proyecto de industrialización del litio en Bolivia. Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA).
 - Prebisch, Raúl (1949) “*The economic development of Latin America and its principal problems*”, CEPAL, Lake Success.
 - Radhuber, Isabella, y Vega, Oscar (2012) “*El litio en Bolivia: reflexiones preliminares acerca de las disputas en curso*”, Seminario “Transformación socio-ecológica y política energética en América Latina y Europa”, Julio, 2012, Fundación Rosa Luxemburgo - Universidad de Viena
 - Ren21 (2017) “*Renewables 2018 global status report*”, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century.
 - Rodríguez-Carmona, Antonio; Aranda, Iván (2014) “*De la Salmuera a la batería. Soberanía y cadenas de valor*”. Centro de Investigaciones Sociales – Vicepresidencia del Estado Plurinacional de Bolivia, La Paz.
 - Rodríguez, Manuel Luis (2011) “*Aproximación al concepto de soberanía energética*”, Geopolítica XXI, 24 de abril.
 - Sábato, Jorge A. y Botana, Natalio (1968) “*La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina*”, Revista de la Integración, INTAL, Buenos Aires
 - Sábato, Jorge (1972) “*¿Laboratorios de investigación o fábricas de tecnología?*, Ciencia Nueva, Buenos Aires, pp.9-45
 - Sábato, Jorge y McKenzie, Michael (1981), “*La tecnología en los países subdesarrollados*”, en: *La producción de tecnología: Autónoma o Transnacional*, Ed. Nueva Imagen
 - Sábato, Jorge A. (Compilador) (2011) “*El pensamiento latinoamericano en la problemática ciencia-tecnología-desarrollo-dependencia*”, Colección PLACTED - Ediciones Biblioteca Nacional, Argentina.
 - Schmidt, Nadja (2010) “*Hydrogeological and hydrochemical investigations at the Salar de Uyuni (Bolivia) with regard to the extraction of lithium*”, Freiberg Online Geology, Vol. 26, Freiberg University
 - Schumpeter, J. ([1911/1934] 2011) “*The theory of economic development*”. Library of Congress Catalog Number: 79-67059. Originally published: Cambridge, Mass: Harvard University, USA.
 - Signumbox (2010) “*Lithium batteries and vehicles/ Perspectives and trends*”, Issue 01, Mayo 2010, en: www.signumbox.com
 - Signumbox (2012) “*Lithium batteries and vehicles/ Perspectives and trends*”, Issue 06, Julio 2012, en: www.signumbox.com
 - Steinweg, Tim (2011) “*The electric car battery. Sustainability in the supply chain*”, Centre for research on multinational corporation.
 - Stiglitz, Joseph E. (2014) “*Creating a Learning Society: A new approach to growth, development and social progress*”, Columbia University Press, New York.
 - Ströbele-Gregor, Juliana (2012) “*Litio en Bolivia. El plan gubernamental de producción e industrialización del litio, escenarios de conflictos sociales y ecológicos, y dimensiones de desigualdad social*”, Working Paper Series, Desigualdades.net
 - Ströbele-Gregor, Juliana (2013) “*El proyecto estatal del litio en Bolivia. Expectativas, desafíos y dilemas*” Nueva Sociedad No 244, marzo-abril de 2013, ISSN: 0251-3552
 - Thelma, Eliana (2008) “*Reactivación económica del departamento de Potosí en base al aprovechamiento de los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni*”, Tesis de grado, UMSA.
 - Teece, D., Pisano, G. y Shuen, A. (1997). “*Dynamic capabilities and strategic management*”. Strategic Management Journal, Vol. 18:7, 509-533

- Thomas, Hernán (2008) “*La producción de tecnología nuclear en Argentina: el caso de la empresa INVAP*”, Desarrollo económico, ISSN 0046-001X, Vol. 47, N°. 188, 2008, págs. 543-575.
- Thomas, Hernán. (2008) “*Estructuras cerradas vs. Procesos dinámicos: trayectorias y estilos de innovación y cambio tecnológico*”, en Thomas, H. y Buch, A. (Coords.). Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología, Universidad de Quilmes, Bernal, 217-262.
- Thomas, Hernán (2010) “*Los estudios sociales de la tecnología en América Latina*”, Íconos: Revista de Ciencias Sociales, ISSN-e 1390-1249, N°. 37, 2010, págs. 35-53
- Torres, Jorge (1990) “*En la dramática huella del litio*”. Honorable Cámara de Diputados, La Paz (editado en 1991)
- UASUR (2014) “*Ciencia, tecnología, innovación e industrialización en américa del sur: hacia una estrategia regional*”, Secretaría General de UNASUR.
- Urquidí, Víctor (1962) “*El desarrollo latinoamericano, el capital extranjero y la transmisión de tecnología*”, El trimestre económico, N°11
- US Geological Survey (2010) “*Lithium statistics*” en Kelly, TD y Matos, GR (comps.) Historical statistics for mineral and material commodities in the United States (Virginia: USGS) N° 140, en: www.minerals.usgs.gov/ds/2005/140/lithium.xls
- Varsavsky, Oscar (1974) “*Estilos tecnológicos. Propuestas para la selección de tecnologías bajo racionalidad socialista*”, Periferia, Buenos Aires.
- Vessuri, H. (2004) “*La Hibridización del Conocimiento. La Tecnociencia y los Conocimientos Locales a la Búsqueda del Desarrollo Sustentable*”, Convergencia. Revista de Ciencias Sociales, 11, 35, pp. 171-191.
- Westphal, Larry; Kim, Linsu y Dahlman, Carl (1985) “*Reflections on the Republic of Korea's acquisition of technological capability*” en Rosemberg, N. y Frischtak, C. (eds.) International Transfer of technology: Concepts, Measures, and Comparisons (Nueva York: Praeger Press).
- Woods, Alan y Grant, Ted (2002) “*Razón y revolución. Filosofía marxista y ciencia moderna*”, Fundación Federico Engels, Madrid. ISBN: 84-932118-0-x
- Zavaleta, René (1986) “*Lo nacional-popular en Bolivia*”. Editorial Plural, La Paz.

Notas de prensa

- AméricaEconómica (2013) “Bolivia alista acuerdo con coreana Kores Posco para planta piloto de cátodos de litio”, 16 de mayo, en: <http://www.americaeconomia.com/politica-sociedad/politica/bolivia-alista-acuerdo-con-coreana-kores-posco-para-planta-piloto-de-cato>
- CorreoDelSur (2014) “Salen primeras baterías de litio "made in Bolivia", 18 de febrero, en: <http://correodelsur.com/2014/02/18/22.php>
- CleanTechnica (2017) “Tesla Completes World's Largest Li-ion Battery (129 MWh) In South Australia”, en <https://cleantechnica.com/2017/11/23/tesla-completes-worlds-largest-li-ion-battery-129-mwh-energy-storage-facility-south-australia-notfree/>
- CNNChile (2019) “Frente Amplio reitera su propuesta de nacionalizar agua, litio y cobre”, en: https://www.cnnchile.com/pais/frente-amplio-propone-nacionalizar-agua-litio-cobre_20191008/
- Europa Press (2014), “La cuota de renovables de España se sitúa en el 14%”, 27 de mayo, en: <http://www.europapress.es/economia/energia-00341/noticia-economia-energia-cuota-renovables-espana-situa-linea-media-ue-14-20140310114819.html>
- El Potosí (2017) “Construcción de Planta de Cloruro de Potasio tiene avance del 92,3 %”, Diario El Potosí, en: http://elpotosi.net/nacional/20171111_construccion-de-planta-de-cloruro-de-potasio-tiene-avance-del-923-.html
- Greentech Media (2012) “Southern California Edison's 8MW Li-Ion Battery for Wind Power Storage”, 21 de febrero, en: <http://www.greentechmedia.com/articles/read/Southern-California-Edisons-8MW-Li-ion-Battery-for-Wind-Power-Storage>
- Greentech Media (2014) “Tesla Giga Factory: \$4B to \$5B Price Tag, With Battery Production Slated for 2017”, 27 de febrero, en: <http://www.greentechmedia.com/articles/read/Tesla-Giga-Factory-Update-4-to-5-Billion-Price-Tag-With-Production-Slate>

- HidrocarburosBolivia (2014) “JOGMEC coadyuva en investigación y tecnología en Bolivia”, 22 de Marzo, en: <http://www.hidrocarburosbolivia.com/bolivia-mainmenu-117/mineria-siderurgia/67514-jogmec-coadyuva-en-investigacion-y-tecnologia-en-bolivia.html>
- LaMarea (2013) “Autoproducción y reforma eléctrica: propuestas sobre soberanía energética”, 10 de Diciembre, en: <http://www.lamarea.com/2013/12/10/autoproduccion-electrica-reforma-electrica-ii/>
- LaNación (2014) “El Gobierno quiere crear una OPEP del litio”, 15 de mayo en: <http://www.lanacion.com.ar/1690657-el-gobierno-quiere-crear-una-opec-del-litio>
- LaNuevaEspaña (2014) “Isastur formaliza el contrato para hacer la primera planta de energía solar de Bolivia”, 22 de mayo, en: www.lne.es/economia/2014/05/22/isastur-formaliza-contrato-primera-planta/1588575.html
- LaRazón (2013) “Bolivia y Holanda acuerdan diseñar "plan maestro" para producir baterías de litio”, 24 de Abril, en: http://www.la-razon.com/economia/Bolivia-Holanda-acuerdan-producir-baterias_0_1820818022.html
- LaRazón (2013) “Austria se interesa en compartir tecnología para baterías de litio”, 19 de marzo, en: http://www.la-razon.com/economia/Austria-interesa-compartir-tecnologia-baterias_0_1799220086.html
- LosTiempos (2014) “Luz en Ibarecito”, 30 de Mayo, en: www.lostiempos.com/diario/opiniones/columnistas/20140522/luz-en-ibarecito_255743_559797.html
- LaRazón (2014) “Gobierno apunta a vender baterías de litio a \$us 170”, 20 de Febrero, en: http://www.la-razon.com/economia/Gobierno-apunta-vender-baterias-litio_0_2001999817.html
- LaRazón (2014) “Computadoras de Quipus, 30% más baratas que las del mercado”, 15 de Mayo, en: http://www.la-razon.com/economia/Ensamblaje-computadoras-Quipus-baratas-mercado_0_2052394790.html
- NavigantResearch (2014) “Energy Capacity of Advanced Batteries for Utility-Scale Energy Storage Applications Will Grow 71 Percent per Year through 2023, Forecasts Navigant Research”, 29 de Mayo, en: www.sys-con.com/node/3096311
- PaginaSiete (2014) “Evo inaugura la primera planta de energía eólica en Bolivia”, 2 de Enero, en: <http://www.paginasiete.bo/nacional/2014/1/2/inaugura-primera-planta-energia-eolica-bolivia-10227.html>
- Pagina7 (2017) “Morales inaugura Planta Piloto de Materiales Catódicos”, Diario Página7, en: <http://www.paginasiete.bo/economia/2017/8/23/morales-inaugura-planta-piloto-materiales-catodicos-149393.html>
- SmartGridNews (2014) “Hydro-Quebec teams with Sony on energy storage (could you do something similar?)”, 29 de abril, en: http://www.smartgridnews.com/artman/publish/Technologies_Storage/Hydro-Quebec-teams-with-Sony-on-energy-storage-could-you-do-something-similar-6496.html/?fpt#.U2DhRvltA
- SeekingAlpha (2014) “Japan's 30 Billion Yen Bet On Energy Storage”, 29 de abril en: <http://seekingalpha.com/article/2171493-japans-30-billion-yen-bet-on-energy-storage>
- Spectrum (2013) “UK Launches Europe's Largest Energy Storage Trial”, 1 de Agosto, en: <http://spectrum.ieee.org/energywise/energy/the-smarter-grid/uk-launches-europes-largest-energy-storage-trial>
- SFGate (2014) “Elon Musk sees nearly unlimited demand for energy storage”, 15 de mayo, en: <http://www.sfgate.com/business/article/Elon-Musk-sees-nearly-unlimited-demand-for-energy-5478926.php>
- Technology Review (2013) “Baterías impresas. Nuevas tintas y herramientas permiten la impresión en 3D de tecnología de ión-litio”, 26 de Noviembre, en: http://www.technologyreview.es/read_article.aspx?id=44278
- Zuleta, Juan Carlos (2015) “¿Ya perdimos el tren del litio? Un par de comentarios”, en El Diario, [Opinión](#)

Anexo 1: Reseña metodológica: Operacionalización de variables.

Variable de valor de uso de las baterías de litio.

Esta variable hace referencia a la componente social que tienen las BdL como artefacto tecnológico capaz de satisfacer una necesidad social de acumulación de energía. En un contexto de agotamiento de los recursos no renovables y frente a la problemática medioambiental, existe una necesidad creciente de suministro eléctrico a través de sistemas ambientalmente respetuosos y sostenibles en el aprovechamiento de recursos. Por tanto, un modelo energético basado en la generación renovable y el uso de acumuladores representa una alternativa cada vez más realista.

Con el fin de estimar las necesidades futuras de almacenamiento de energía se adoptará un enfoque de demanda para la evaluación de esta variable separándola en dos dimensiones relacionadas con las necesidades de suministro eléctrico, mediado por sistemas de almacenamiento, para aplicaciones litio intensivas.

Dimensión 1: Uso de las BdL en electrificación.

El estudio de esta dimensión servirá para indagar sobre las perspectivas futuras en términos de demanda de sistemas de generación-almacenamiento, mediante fuentes renovables y con baterías de litio acopladas, para suministrar electricidad en aplicaciones tanto civiles, como industriales. Desde la electrificación rural en comunidades remotas, o la mejora de la eficiencia energética en parques solares y eólicos, hasta dispositivos de *back up* en hospitales o sistemas de emergencia en centrales térmicas, son algunas de las aplicaciones litio-intensivas que podrían ser desarrolladas en la PPP. Sin embargo, teniendo en cuenta el grado de cuestionamiento del modelo energético vigente, los elevados niveles de pobreza energética, no sólo en Bolivia, sino en toda la región latinoamericana y considerando la complejidad tecnológica de las BdL, diferente dependiendo del tipo de aplicación, se propone centrar el análisis de esta dimensión sobre aquellos usos que pueden contribuir en mayor medida a la instauración de una nueva matriz energéticamente sostenible.

Para ello, esta dimensión se separará en varios indicadores que darán cuenta de las proyecciones de demanda para este tipo de aplicaciones. Entre ellos, partiendo de la situación actual en términos de cobertura energética y distribución del mix energético, se elaborarán series temporales que prospectarán hasta el año 2025: a) nivel de cobertura energética, b) estructura del mix energético renovable en Bolivia y en la región latinoamericana. Una vez determinados estos indicadores, se traducirán estas demandas energéticas en términos de requerimientos de almacenamiento de energía¹⁰¹ y, en último lugar, de carbonato de litio equivalente (LCE), la sal de litio que produce la GNRE-COMIBOL en el Salar de Uyuni.

Dimensión 2: Uso de las BdL en transporte.

En este caso, se indagará sobre las perspectivas del almacenamiento de energía para el transporte. No sólo las BdL para vehículos eléctricos son dispositivos litio-intensivos, también lo son las baterías de alguna maquinaria industrial o de las motocicletas eléctricas. Estas últimas pueden ser especialmente relevantes en un país como Bolivia, donde el precio de los vehículos es en muchos casos prohibitivo, lo que genera serias dificultades para la movilidad de las personas. No obstante, en este caso, se realizará un análisis de escenarios general del sector del transporte incluyendo indagando sobre cuestiones tales como la cuota de penetración de vehículos eléctricos en el mercado regional o las expectativas de crecimiento del parque automovilístico.

¹⁰¹ A.h = Amperios. hora; W.h= Watt.hora. Estas son las unidades que representan la capacidad de almacenamiento de una batería en términos de corriente eléctrica y de energía.

Desde el punto de vista metodológico, el estudio prospectivo de esta variable se realizará a partir del análisis documental (estudios de mercado, análisis sectoriales, *global trends*, *papers* científicos, etc).

Variable de valor de cambio de las baterías de litio

Esta variable hace referencia a la potencialidad económica que representan las BdL como artefacto tecnológico demandado por el mercado y, por tanto, susceptible de ser comercializado generando rentabilidad para las firmas productoras. Una vez proyectadas las necesidades futuras de acumulación mediante BdL en América Latina, será posible cuantificar el potencial económico asociado a esta estimación de demanda, así como la dimensión en términos de producción de una industria del litio capaz de responder a estas necesidades. Es decir, el análisis de las BdL en cuanto potencial valor de cambio requiere, en primer lugar, de una estimación de la cantidad de mercancía a ser comercializada y, en segundo, de un análisis económico que incorpore diferentes proyecciones sobre los diferentes escenarios micro y macroeconómicos que podrían influir en la industria del litio. Así, este análisis incorporará, aunque de manera implícita, cuestiones relacionadas con la competencia, perspectivas tecnológicas, posibilidades de alianzas estratégicas, entre otros.

Dimensión 1: Orden de magnitud de la industria de BdL

Para evaluar esta dimensión será necesario incorporar a la metodología de cálculo la lógica de la cadena de valor propuesta por la GNRE, es decir: la incorporación del litio, producido como carbonato de litio en el Salar de Uyuni, en las baterías de litio, supone un tránsito de su forma química a través de la cadena de valor. El carbonato de litio deberá, en primera instancia, ser transformado en sales primarias derivadas (fosfato de litio, fluoruro de litio, etc) para, posteriormente, convertirse en los insumos litiados (catódicos y de electrolito) contenidos como tal en las BdL. La cantidad de material catódico y de electrolito empleado para la manufactura de las baterías de litio puede ser relacionado con la capacidad de almacenamiento de corriente y energía de la batería, y por ende, con el número de unidades físicas de BdL que deben ser producidas como mercancía comercializable para satisfacer una determinada demanda. Es decir, con el análisis de esta dimensión se correlacionará para una demanda dada –cuyos datos provendrán de la variable anterior-, el número de acumuladores de litio con los volúmenes de producción de todos los insumos químicos litiados comprendidos en la cadena de valor. Así, los indicadores o datos cuantitativos que se calcularán serán a) volúmenes de producción de insumos litiados y b) número de unidades físicas de mercancía (BdL) necesarias para satisfacer unas expectativas de demanda energética.

Dimensión 2: Rentabilidad económica potencial de las BdL

En cuanto a la otra dimensión comprendida en la variable valor de cambio de las BdL, nuevamente se buscará acercarse a la realidad de los escenarios futuros para determinar los órdenes de magnitud plausibles en términos de rentabilidad económica, asociados a la instalación de una industria de baterías de litio capaz de satisfacer las necesidades energéticas anteriormente mencionadas. Para ello, haciendo uso de los datos generados en la *Dimensión 1* de esta variable, se estimarán los valores para dos indicadores básicos de rentabilidad económica: a) Tasa Interna de Retorno (TIR) y b) Valor Actual Neto (VAN). El cálculo de estos indicadores requerirá adicionalmente de diferentes entradas numéricas para una serie temporal que concluirá en 2025: i) valores de inversión (infraestructuras, equipos, tecnología, etc), ii) valores de costos (materias primas, personal, depreciaciones, suministros, etc), iii) precios futuros, que en todos los casos serán extraídas de la literatura, recalculados y extrapolados al caso concreto. Este marco de análisis está estrechamente vinculado a determinantes tecnológicos, por tanto, el análisis de rentabilidad incluirá necesariamente análisis complementarios de prospectiva tecnológica.