

El litio, un recurso de valor estratégico para la región. Análisis de las implicancias ambientales. Perspectivas y propuestas

Atilio Andrés Porta y Roberto Esteban Miguel

Resumen

La minería del litio constituye una oportunidad para los países del "triángulo del litio": Argentina, Bolivia y Chile. Sin embargo, esta oportunidad puede conllevar a externalidades negativas en detrimento del medio físico natural y los pobladores de las zonas andinas sino se considera el delicado equilibrio hidrológico e hidrogeológico, en una producción minera de reservas de agua salada (salmuera) y agua dulce. La condición de desarrollo y de alto valor agregado exige fortalecer los eslabonamientos productivos, pero también proteger el ambiente. El papel de los gobiernos resulta decisivo, y requiere de información de base e instancias institucionales para evaluar las implicancias de las distintas etapas de estos proyectos (prospección exploración, explotación y abandono de la producción). En este sentido, se propone el análisis del riesgo ambiental, que incorpora la vulnerabilidad (ecosistema y pobladores) y la peligrosidad de las acciones (impactos) en la totalidad del proyecto minero. La minería del litio será una actividad en expansión en la región, por lo que resulta fundamental el pensamiento crítico, la visión sistémica y holística reforzando el imaginario del Estado y el valor social de la minería para que contribuya no sólo al crecimiento sino al desarrollo regional.

Palabras clave: Litio en salares; Desarrollo equitativo; Impacto en reservas de agua dulce; Pueblos originarios; Análisis de vulnerabilidad; Evaluación de riesgo ambiental.

Abstract

Lithium mining is an opportunity for the "lithium triangle" countries: Argentina, Bolivia and Chile. However, this opportunity can lead to negative externalities of the physical-natural medium and the inhabitants of the Andean areas, if the delicate hydrological and hydrogeological balance is not taking into account, in a mining production of salt water (brine) and fresh water reserves. The condition of development and high added value requires strengthening productive linkages, but also protect the environment. The role of governments is decisive, and requires basic information and institutional agreements to assess the implications of the different stages of these projects (prospection exploration, exploitation and abandonment of production). In this sense, the analysis of environmental risk is proposed, which incorporates the vulnerability (ecosystem and inhabitants) and the dangerousness of the actions (impacts) throughout the mining project. Lithium mining will be an expanding activity in the region, so critical thinking, a systemic and holistic vision are essential, reinforcing the imaginary of the State and the social value of mining so that it contributes not only to growth but also to regional development.

Keywords: Lithium from salt flats; Equitable development; freshwater impact; Native peoples; Vulnerability analysis; Environmental risk assessment.

1. Introducción

El litio (Li) se utiliza desde hace décadas en diversas actividades productivas, incluyendo la fabricación de cerámicas, vidrios, caucho sintético y lubricantes, productos en base a aluminio, la elaboración de medicamentos, y más recientemente la electrónica de consumo masivo (celulares y computadoras). Sin embargo, la creciente demanda por sus derivados de alta pureza (carbonato de litio, cloruro de litio e hidróxido de litio) es un claro emergente de la explosión nano tecnológica, el desarrollo de vehículos eléctricos, y la necesidad de contar con sistemas eficientes y de alta capacidad para el almacenamiento de electricidad proveniente de fuentes de energía alternativa, en respuesta a las escasas reservas de combustibles fósiles (1-3).

Su elevada demanda reorganizó el mapa minero mundial, y en nuestra región se concentró en la zona denominada 'triángulo del litio', un área de unos 43.000 km² situada entre el Sur de Bolivia, Norte de Chile y la Puna Argentina, incluyendo los salares de Uyuni y Pastos Grandes (Bolivia), Atacama, La isla y Maricunga (Chile), y diversos salares distribuidos en el noroeste argentino, entre ellos salares del Rincón, Diablillos, Inchausti, Pocitos y Arizaro (Salta), Olaroz, Chaucarí y Salinas Grandes (Jujuy) y Hombre Muerto (Catamarca). Este triángulo reúne un 55% de las reservas mundiales totales y el 85% de los recursos explotables a partir de salmuera. La menor inversión inicial requerida por esta fuente de litio explica como la extracción de litio en salmueras se incrementó en un 50% en una década. Por otro lado, la mayor parte de las reservas mundiales de litio se concentran en salares de cuenca (58%), en la que la concentración del litio alcanza valores de cientos de miligramos por litro de las reservas de salmueras presentes en los complejos sistemas acuíferos localizados bajo los salares (2-4). No obstante, para el procesamiento de la salmuera y obtención del litio, debe captarse y utilizarse un importante volumen de agua dulce, desconociéndose abiertamente el ratio agua dulce/salmuera utilizado.

El "triángulo del litio" presenta una serie de ventajas comparativas de tipo geológico-climáticas que contribuyen a la elevada concentración del litio. La aridez y la altura de los ambientes de Puna han propiciado, junto con condiciones geológicas preferenciales, la acumulación de agua en cuencas endorreicas y su evaporación concentrando iones mayoritarios y otros elementos asociados como el litio. A lo antes mencionado, se suma la vasta superficie de los salares, la abundancia de potasio (su extracción complementaria aumenta el margen de ganancias) y la escasez de magnesio, catión que de estar presente incrementa los costos de producción al requerir pasos adicionales para la purificación del litio (2, 3, 5).

Justamente, el valor estratégico del litio para la región, y la oportunidad que significa para su desarrollo, abre el debate sobre todo un abanico de aspectos asociados, tales como los eslabonamientos productivos, la protección de los recursos naturales, los derechos de los actuales pobladores, el rol de los sectores productivos nacionales y del sector de ciencia y técnica, y del Estado, incluyendo la generación de políticas públicas activas y una legislación adecuada para la consolidación de políticas soberanas y ambientalmente sustentable (social, económica y físico natural) en torno a la explotación de los recursos y el desarrollo tecnológico.

La política de extracción de minerales en nuestro país está regida por un conjunto de leyes comunes, y no se encuentra en vigencia ninguna específica referida a la extracción e industrialización del litio. La legislación vigente habilita que la exploración, extracción y comercialización se encuentre prácticamente en manos de privados transnacionales, sin tener el Estado Nacional participación en su cadena de valor. Incluso a partir de 2016 se dejaron sin efectos las retenciones que estas empresas debían pagar por la exportación de dichos recursos (Decreto 349/2016). Esta política de promoción minera, no ha tenido equivalente en el ámbito ambiental (protección de recursos naturales y las sociedades de la Puna Andina), en los cuales el Estado en toda América Latina se ha mantenido prácticamente ausente, dando lugar a tendencias poco equitativas. El beneficio de la minería, en términos de desarrollo prometido por las voces oficiales, no se ha visto reflejado en la reducción de los índices de

pobreza y/o el bienestar de los pueblos cercanos a la minería. Resulta fundamental, entonces, impulsar un serio debate sobre la explotación del litio, para que se desarrolle en un marco de racionalidad (7,8) ambiental, donde la viabilidad económica no prime sobre la funcionalidad de los sistemas naturales y la equidad social.

El papel de los gobiernos, en sus distintos niveles, resulta fundamental para lograr un desarrollo equitativo y de alto valor agregado, asegurando el afianzamiento del eslabonamiento productivo mediante herramientas y normativas propicias. Este proceso requiere alinear y articular los intereses y las acciones de las empresas que operan a lo largo de la cadena con los actores del sistema científico y tecnológico, quienes generan conocimiento y desarrollos tecnológicos que pueden ser aprovechados luego por el sector privado. Esta articulación es la base del sistema de innovación y el aprovechamiento de estos recursos es una tarea compleja y multidimensional que involucra aspectos económicos y tecnológicos, pero también políticos en cuanto a la explotación de los recursos naturales estratégicos y sus implicancias en el medio físico natural y las comunidades andinas. Todo esto cobra particular relieve considerando las características específicas de las industrias extractivas donde la explotación de los recursos se produce en lugares específicos y delimitados del espacio terrestre, a los que modifica de manera profunda y permanente; surgen numerosos conflictos en cuanto a la identificación, cuantificación y la asignación de responsabilidades en la reparación de las consecuencias en el medio físico natural y social a nivel local originadas en la explotación de los recursos (no renovables); y los aspectos económicos en cuanto a la recuperación de las inversiones realizadas, que requiere de períodos largos y está sujeta a una elevada incertidumbre, aunque generan rentas sustanciales y disputas en torno a su apropiación, incluyendo regalías y otro tipo de impuestos, o bien participación accionaria en el emprendimiento, entre otras (1, 6, 10, 11).

En tal sentido, se pueden destacar dos ejemplos. En primer lugar en Chile, donde se procuró una importante articulación entre los distintos sectores a través del lanzamiento del *Programa Nacional de Minería Alta Ley* en 2015, en el marco de una iniciativa público-privada impulsada por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) y el Ministerio de Minería. En el mismo, se definió una “hoja de ruta” tecnológica hasta el año 2035 que identifica las prioridades centrales del proyecto. Por otro lado, la provincia de Jujuy mejoró las condiciones de apropiación de la renta minera y del desarrollo de las capacidades tecnológicas y productivas en torno al litio, mediante la creación en 2011 de la empresa provincial Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado (JEMSE, <http://jemse.gob.ar/>), con competencias en toda la cadena del litio y una participación accionaria de 8,5% en las empresas que operan los salares; y posteriormente en asociación con el CONICET y la Universidad Nacional de Jujuy de un instituto con sede en Palpalá: el Centro de Investigación y Desarrollo en Materiales Avanzados y Almacenamiento de Energía de Jujuy (<http://cidmeju.unju.edu.ar/>), cuyos objetivos se orientan a la I+D, la formación de recursos humanos y las tareas de transferencia tecnológica en los ámbitos de extracción e industrialización de recursos bombeados desde los salares.

Asimismo, los primeros pasos para crear un sistema normativo atento a mejorar las condiciones de sustentabilidad de las explotaciones de litio en salares en la Argentina se dieron en 2017 mediante un amplio acuerdo minero a nivel nacional, donde se incluyó un compromiso entre las provincias litíferas y la Nación para crear la denominada “mesa de litio en salares”, integrada por equipos interdisciplinarios, cuya tarea es acordar protocolos de estudio, exploración y desarrollo del recurso. Entre sus objetivos se destaca establecer las pautas normativas, hidrogeológicas, ambientales, de proceso, etc. que se adoptarán para dar un marco común para la adecuada explotación de este recurso (1, 10).

Por otro lado, los principales impactos ambientales de la extracción de litio no difieren en gran medida de la de otros minerales: consumo de agua, modificaciones del paisaje, alteración de los flujos naturales de agua subterránea, alteración de zona de mezcla agua dulce-agua salada, contaminación de agua dulce, introducción de caminos de exploración en

ecosistemas sensibles, instalación de infraestructura, impacto en la flora y fauna de la actividad industrial, generación de residuos sólidos y químicos, etc.

En particular, el proceso de extracción del litio y la producción de sus derivados presenta un potencial peligro para las reservas de aguas subterráneas dulces (en cuanto a su cantidad y calidad), reservas de agua potable para la población aledaña, más aún cuando los salares de la Puna y el altiplano constituyen cuencas endorreicas (algunas de ellas sitios de conservación RAMSAR) y su dinámica depende de los sistemas de recarga (deshielo y precipitaciones) y de pérdida por evaporación en un contexto de escasas precipitaciones, todo ello en un contexto donde un tercio de los acuíferos del planeta se encuentran bajo un proceso de agotamiento (7-9,12, 13, 14). Incluso, una reciente publicación vinculada a la minería del Litio en el Salar de Atacama, da cuenta de algunas de las interdependencias entre esta actividad y las comunidades de frontera, donde el uso del agua supera en dos órdenes de magnitud los otros usos, se genera proceso de migración de 85 y 90 % de las comunidades, y si bien se produce un incremento del empleo, las poblaciones locales ven reducida su participación en actividad minera (15).

El impacto ambiental de la extracción de litio no es de menor envergadura que otros metales, ni tampoco deja de ser un importante factor en la discusión sobre el uso del territorio, de hecho, existen reclamos realizados por comunidades originarias de los territorios argentinos afectados, que piden la suspensión de varios proyectos de explotación de litio que se ubican en sus legítimos territorios sin haber sido consultados y afectando sus genuinos derechos. Esta demanda fue realizada ante la Corte Suprema de Justicia Argentina y el Mecanismo de Expertos sobre los Derechos Pueblos Indígenas (MEDPI), ámbito especializado del Consejo de Derechos Humanos de la ONU, siendo acompañada por instituciones prestigiosas como el Equipo Nacional de Pastoral Aborígen (ENdePA), la Prelatura de Humahuaca, el Servicio de Paz y Justicia (SERPAJ), la Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN) y la Maestría de Derechos Humanos de la Universidad de Salta (7-9, 16).

Es justamente el análisis de las posibles repercusiones ambientales de una explotación minera del litio, en el contexto de los frágiles ecosistemas que componen la Puna Argentina, el núcleo fundamental que se discute en este capítulo. Estos impactos incluyen el elevado consumo de agua, las pérdidas de reservas de agua dulce la alteración del delicado equilibrio entre agua dulce y salada y consecuentemente, la potencial contaminación de agua. Todo ello, requiere la realización de estudios climáticos, hidrológicos e hidrogeológicos integrales así como se modelización para toda la cuenca (14); los cambios en el paisaje, la apertura de caminos de exploración en ecosistemas sensibles, la instalación de infraestructura, la modificación en la flora y fauna de la actividad industrial donde antes no la había, y la generación de residuos sólidos y químicos, entre los más destacados. El adecuado análisis de las acciones posiblemente impactantes requieren de estudios de base que permitan establecer las condiciones iniciales del medio físico-natural antes de la explotación, es decir establecer la línea de base respecto a los recursos naturales, incluyendo el relevamiento de la biota y de la composición de los recursos naturales (parámetros de calidad) tales como agua (superficial y subterránea) aire y suelos. En adición, es importante relevar las actividades humanas tradicionales de las comunidades de la Puna que pudieran verse parcial o totalmente afectadas por los emprendimientos. A partir de esta base elaborar un programa de gestión ambiental, que incluya el análisis de los impactos asociados a la modalidad de explotación escogida, programas de rehabilitación y recuperación progresiva (terreno, reforestación, restauración de la fauna y de la flora autóctona, etc.), y los componentes de una auditoría de cumplimiento durante las etapas de exploración, explotación y abandono. Y fundamentalmente, señalar que debe existir un contralor efectivo del cumplimiento del programa por parte de las autoridades de aplicación junto con equipos transdisciplinarios conformados por profesionales de instituciones estatales reconocidas por su desempeño profesional como las Universidades Nacionales, CONICET u otras instituciones de Ciencia y Tecnología del país junto a referentes reconocidos y avalados democráticamente por la comunidades locales potencialmente afectada por los proyectos.

En este sentido, un reciente estudio analiza tres posiciones coexistentes en el “Triángulo del Litio” respecto a su explotación: como *commodity*; como recurso estratégico; y como sujeto de una utopía sociotécnica. Tanto Chile, Argentina y Bolivia convergen en la última de ellas, como una reinención de la relación entre la minería y el desarrollo en donde el litio, a través de la innovación y la industria, redefinirá la relación entre las economías latinoamericanas y los mercados globales. Esta posición evidencia una crisis de confianza en el desarrollo que está abriendo espacio para un debate más dinámico sobre el valor social de la minería y el rol propio del Estado en el desarrollo. Esta convergencia también tendrá implicaciones sobre cuán sostenible, equitativa y confiable será la producción de litio (17).

2. El proceso de explotación.

Impactos ambientales asociados

Es de notar que los salares son cuencas endorreicas donde el agua se almacenó a lo largo de miles de años concentrando minerales y elementos químicos arrastrados por la lluvia desde las laderas montañosas. Un salar es un sistema complejo que tiene asociado un cuerpo subterráneo de salmuera que lo alimenta, y tiene diferentes ‘facies’ de sales en profundidad, como cloruro de sodio (halita), cloruros y sulfatos de potasio y magnesio, y otros sulfatos y carbonatos (1,4,7).

Los salares son ecosistemas naturales dinámicos y frágiles. Su equilibrio y su sustentabilidad pueden verse severamente afectados por un manejo inadecuado de las actividades de extracción. El bombeo de salmuera genera un proceso de minería del agua subterránea con pérdida de las reservas que afectan el volumen y su calidad y, por lo tanto, las condiciones de recuperación de recursos presentes en otros puntos, como lo son las vegas y lagunas, fuente de agua dulce para los ecosistemas y asentamientos humanos andinos, y para sus actividades agropecuarias de subsistencia, condicionadas por la rigurosidad climática de la Puna al pastoreo de ganado poco numeroso y resistente a estas condiciones (4, 7, 9, 14, 18, 19).

Asimismo, la explotación en forma inadecuada del salar tiene otros potenciales efectos sobre los asentamientos humanos que se encuentran en las inmediaciones del salar: acumulación y tratamiento inapropiado de los residuos, ya sea sobre la superficie del salar, en su entorno o aquellos que son reinyectados con efectos sobre los niveles de concentración que son poco conocidos por ahora. Muchos de esos residuos provienen de los sólidos descartados en el proceso de separación del litio, y contienen compuestos de calcio, magnesio, boro, hierro, aluminio y trazas de otros metales, que suelen acumularse en montículos, expuestos a los vientos, representando un impacto potencial para la salud de los pobladores y el ecosistema andino (1, 4, 7, 9).

La extracción de las salmueras es un proceso sencillo. Mediante una perforación se llega hasta la zona saturada de salmuera, penetrando luego a profundidades entre 50 y 200 metros del perfil saturado –dependiendo de las particularidades del sistema hidrogeológico–, para luego de la instalación del pozo (caños camisa, filtros), cañería de impulsión y bomba, extraer por bombeo el líquido.

La salmuera luego se acumula en piletas de poca profundidad (pozas) y centenares de metros de lado, construidos al costado del salar y recubiertos por una lámina plástica, donde se evapora el líquido y se concentran las sales, aprovechando la alta radiación solar de la región de la Puna. Esta operación puede requerir entre 18-24 meses hasta lograr que la concentración de litio sea de un 6%, dependiendo de los contenidos originales, impurezas remanentes de boro y magnesio, y las condiciones meteorológicas. Luego, en plantas de procesamiento, mediante cristalización fraccionada por agregado de ciertos reactivos químicos, se separa el litio de los compuestos diluidos en la salmuera, entre ellos: calcio, magnesio, potasio y sodio. El pre-concentrado, rico en cloruro de litio, es purificado mediante el añadido de carbonato de sodio para generar carbonato de litio (Li_2CO_3), con una pureza mínima de 99,1% para que obtenga valor comercial. El carbonato de litio es la materia prima

para producir hidróxido de litio o cloruro de litio de alta pureza, que se emplea para obtener litio metálico por electrólisis de sales fundidas. En el transcurso de la separación y purificación se utiliza agua dulce para arrastrar la solución que contiene litio y que se encuentra entre las partículas sólidas. Este lavado consume entre 5 y 25 % del agua total, que se evapora. El proceso de purificación resulta entonces fundamental, pero requiere de un elevado consumo de agua dulce, la cual debe extraerse en inmediaciones del área de explotación o bien importarla de otra subcuenca cercana. Esta situación es clave de analizar, ya que es un agua dulce con potenciales otros usos y fundamental para el equilibrio del ecosistema y la vida de los asentamientos humanos de la Puna. Un agua dulce, que es un elemento escaso y limitado en la Puna (4, 6, 7, 10, 19, 20).

Por otro lado, si bien la principal técnica utilizada actualmente para extraer litio de salares es la evaporítica, el desarrollo de nuevas metodologías está en constante evolución, con el objetivo de optimizar tiempos, disminuir los costos de producción y los impactos ambientales asociados. Básicamente se pueden señalar cinco nuevas técnicas con distinto grado de desarrollo y aplicación: absorción selectiva, ósmosis inversa, extracción química, extracción con solventes, electrólisis de sales; en su desarrollo y optimización trabajan los equipos de JEMSE y CIDMEJU en cooperación con otros centros de investigaciones de la red de ciencia y técnica nacional, regional e internacional (1, 6, 9, 11, 21). Sin embargo, debe señalarse que estas opciones requieren resolver también diversas cuestiones asociadas, tales como el transporte y almacenamiento de solventes y combustibles, la adecuada disposición de los desechables (incluyendo la reposición de membranas) de la ósmosis inversa, o el elevado requerimiento de consumo energético de los procesos de bombeo de salmuera, de agua dulce y procesos electroquímicos (1, 6, 9, 11, 21).

Impactos ambientales de la explotación de salares

Como se expresara anteriormente, en un contexto de escasas precipitaciones -existiendo estrés hídrico a lo largo del año- los ecosistemas presentes en la Puna son considerados ecosistemas frágiles que además albergan valiosa biodiversidad. En tal sentido, expertos en el tema han recomendado analizar los impactos ambientales detenida y cuidadosamente. En particular, se debe atender al sistema hídrico de características particulares con una mirada integral de cuenca, ya que las actividades que se realizan y proyectan en cada uno de los salares pueden generar impactos en términos de disponibilidad de agua para otras actividades o usos de agua, además de alterar el equilibrio ecosistémico, razón por la cual resulta fundamental conocer el modelo conceptual de funcionamiento del sistema hídrico y generar modelos matemáticos validados. Por otro lado, se debe velar porque no se altere el balance entre agua dulce y salada, manteniéndose un equilibrio en la zona de mezcla (4, 6, 14, 18, 19).

En tal sentido, resulta fundamental contar con completos estudios de base ambiental para decidir respecto de la autorización de las actividades extractivas, en especial estudios hidrológicos e hidrogeológicos integrales de toda la cuenca, para determinar la significancia y el tipo de impacto que puede ocasionar cada proyecto en sinergia con otros proyectados y los usos de agua ya existentes por parte de las comunidades de la Puna. Esta posición se encuentra en línea con recientes fallos de la Suprema Corte de Justicia de la Argentina. Así, por ejemplo en 2017, se reafirmó la integralidad de la Cuenca Hídrica como unidad de análisis para las decisiones respecto a la gestión de los recursos hídricos en el conflicto entre Mendoza y La Pampa (conflicto del Río Atuel), afirmando que "la concepción misma de la cuenca hídrica es la de unidad, en la que se comprende al ciclo hidrológico en su conjunto, ligado a un territorio y a un ambiente en particular", resaltando además la interdependencia entre las diversas partes del curso de agua, en particular los usos y efectos de los recursos hídricos y demás recursos naturales, y por ello deben ser usados y conservados de forma integrada (7-9, 21). Cabe recordar aquí, que por ejemplo, en el Salar de Atacama, el volumen de agua utilizado en la Minería del Litio es 2,3 veces superior a otros usos (15).

Por otro lado, y retomando el caso de la explotación del litio, no alcanza con efectuar estudios de impacto ambiental aislados entre sí, en los que la zona de influencia o afectación es

determinada por el grupo que efectúa la EIA en acuerdo con el propio interesado, sino contar con información de base e instancias institucionales para el análisis de las implicancias de la explotación a nivel de subcuencas y cuencas afectadas por los distintos componentes del proceso productivo de extracción, concentración y procesamiento del litio. Y de este modo generar un proceso robusto para analizar los posibles impactos ambientales acumulativos y sinérgicos de los diversos proyectos, teniendo en cuenta además los usos que ya existen en el territorio, como las actividades de pequeña ganadería y agricultura de las comunidades locales, es decir el desarrollo de Evaluaciones de Impacto Ambiental de tipo estratégico (18, 20).

Para ello, es clave que las autoridades cuenten con información de base suficiente para evaluar los estudios ambientales y avalar, con las restricciones que correspondan, el desarrollo de las explotaciones de litio. Esto no suele ocurrir en varios proyectos megamineros, más bien se advierte una situación opuesta donde se aprueban proyectos sin contar con la información suficiente, ni estudios de base sobre el complejo funcionamiento de estos frágiles ecosistemas y las comunidades humanas que de ellos dependen. Además, la información es frecuentemente provista por la empresa interesada y en muchos casos reviste el carácter de confidencialidad. Por lo tanto, quien efectúa la explotación es en algunos casos también quien lo fiscaliza. [7-9, 19, 23, 24].

Otra práctica habitual consiste en la acumulación y tratamiento inadecuado de los residuos generados, formando montículos de unos 2 metros de altura, sólidos descartados que contienen compuestos de calcio, magnesio, boro, hierro, aluminio y trazas de otros metales. Estos montículos son fuentes de contaminación del aire que puede constituirse en una causa grave de enfermedad, generalmente de trastornos respiratorios y asfixia para las personas, siendo perjudicial también para la biota presente. Resulta primordial dar tratamiento adecuado a dichos residuos sólidos (1, 7, 8, 21).

Finalmente, una situación relevante, está asociada con los impactos de la extracción evaporítica sobre las actividades de los pobladores locales, ya que como se destacó anteriormente para las comunidades del Salar de Atacama, muchos pobladores abandonan las actividades tradicionales y otros migran hacia centros urbanos. En este sentido, se destacan los reclamos que realizaron y realizan las comunidades indígenas y locales de participar efectivamente en los procesos decisorios, contando con cabal conocimiento de las características del proyecto y los posibles impactos asociados, partiendo de información imparcial y completa, y que se respeten sus legítimos derechos sobre el territorio y sobre sus hábitos culturales. Es más, la participación especial para comunidades indígenas, que deberán ser consultadas para la obtención de su consentimiento libre, previo e informado, está dispuesto en el Convenio 169 de la OIT. Para garantizar el equilibrio entre las condiciones de explotación presentes y futuras, es necesario establecer reglas adecuadas, así como también los correspondientes mecanismos de fiscalización y control del cumplimiento de dichas normas. En esta instancia, el rol del estado resulta crucial (7, 9, 22, 23).

3. Estudios de Base - Evaluación del Riesgo Ambiental

En función de las condiciones y técnicas de extracción de litio se destaca la centralidad del concepto de cuenca hídrica para referir a los salares y la utilidad de la evaluación de impacto acumulativa necesaria para identificar los posibles impactos ambientales asociados desde una mirada estratégica, siguiendo una lógica preventiva y una racionalidad precautoria, que permite comprender los distintos tipos de riesgos sociales y en el medio físico-natural de los distintos salares (4, 7-9).

Resulta relevante, entonces, el análisis de los aspectos sociales, físico naturales y económicos vinculados a la extracción. La discusión de estos aspectos en el marco legal argentino se lleva

a cabo principalmente mediante la metodología de Estudio de Impacto Ambiental (EIA), que busca identificarlos anticipadamente, con el fin de evitarlos, minimizarlos, mitigarlos o remediarlos y en el último de los casos compensarlo. En su formato habitual, conforme a la legislación vigente, un estudio de EIA está compuesto por la descripción del proyecto (objetivos y alcances, organismos o profesionales intervinientes, análisis de alternativas, memoria descriptiva), la caracterización del ambiente (generación de datos primarios, área de influencia, medio físico, medio biológico, medio antrópico, descripción del sitio, análisis de todas las variables ambientales potencialmente afectadas por el desarrollo del proyecto), la identificación y valoración de impactos ambientales (potenciales impactos ambientales y metodología de valoración de estos impactos), la gestión de los impactos ambientales (medidas para la prevención, mitigación, corrección y compensación), el plan de gestión ambiental para cada etapa de proyecto (exploración, ejecución, finalización de obra, operación o funcionamiento, mantenimiento, cese, abandono), incluyendo los programas complementarios (monitoreo, contingencias ambientales, etc.), además de los anexos (protocolos de análisis y/o de medición, marco legal, estudios especiales, planos y/o croquis del proyecto, imágenes del proyecto). Este informe es habitualmente realizado por una consultora, y en aquellos casos controvertidos suelen participar grupos del complejo ciencia y técnica (universidades, CIC PBA, CONICET), y luego es presentado a las autoridades correspondientes para su evaluación y análisis, para la aprobación, modificación o rechazo del emprendimiento.

Este esquema suele brindar suficientes elementos para el adecuado análisis de las situaciones habituales, dado que se trata de un documento avalado por profesionales y especialistas que brinda una gran cantidad de información objetivamente valorada. Sin embargo, no es suficiente para el caso que nos ocupa, ecosistemas frágiles habitados por comunidades de pueblos originarios, con su propia cosmovisión y sus particulares modo de vida añaden complejidad al asunto. En efecto, el formato habitual de los EIA no logra dar cuenta de la diversidad de voces de los directamente afectados, ni de sistemas complejos como los salares. Es más, la cuestión relevante (y en ocasiones poco considerada) es la implicancia que tiene este tipo de intervención para las comunidades o asentamientos humanos andinos, ya que la potencialidad de la instalación de este tipo de proyectos y la posible mejora de ingresos económicos familiares conlleva a conflictos, con pobladores a favor y en contra. Por otro lado, resulta importante que, dentro de los estudios de impacto ambiental, se analice la afectación negativa de recursos críticos para la supervivencia de estos asentamientos, por ejemplo manantiales y vegas (entre otros), sea ponderada con la mayor magnitud e intensidad asumiendo un principio precautorio en el marco de la Ley General del Ambiente. Ello, además, debe conllevar a medidas para evitar los impactos o en todo caso, mitigarlos.

Como afirma Gustavo Romero (20), las lógicas de la metodología aplicada en las EIA sugieren que los potenciales impactos se pueden prevenir, mitigar, reducir y controlar a partir de la aplicación eficiente de un sistema de gestión ambiental, sin tener en cuenta otras lógicas de valoración, por ejemplo, de la relación de los pueblos con el territorio habitado. Tampoco se analiza completamente la situación de la explotación de los salares, toda vez que no se cuenta en la actualidad con una comprensión completa y detallada de su funcionamiento, ni de los sistemas hidrogeológicos que los conforman, las posibles consecuencias acarreadas por dicha explotación. Justamente, todos estos riesgos pueden ser evaluados en la medida en que pueden ser descriptos y explicados (7-9, 15, 16).

Esta situación requiere ser evaluada desde una perspectiva integral, que considere su carácter sistémico y permita comprender los distintos tipos de riesgos ambientales de los distintos salares. En tal sentido, resulta de gran ayuda el concepto de riesgo ambiental, en el que se evalúan y entrecruzan tanto las amenazas o peligros (impactos potenciales, posibles efectos adversos), como las vulnerabilidades (magnitud individual o grupal del daño debido a características intrínsecas). Incorporar el análisis de riesgo a la evaluación de los posibles impactos, permite sumar a la definición de la peligrosidad de cada una de las variables (provista por la EIA) la definición de cada una de las dimensiones de la vulnerabilidad global y las particularidades del complejo sistema ambiental constituidos por los subsistemas social,

económico y físico-natural, y sus interacciones (9, 16).

Y por otro lado, considerar de manera central la participación de la población en sus distintas formas (consulta previa, audiencias públicas) y en sus distintos niveles para recibir comentarios, preguntas u objeciones, utilizando para tal fin un proceso de consulta libre, previa e informada dependiendo del caso. De este modo es posible contar con una base para consensuar las decisiones referidas a los desarrollos vinculados al litio (7, 9).

En tal sentido, resulta de suma utilidad las matrices de análisis propuestas por diversas organizaciones para la explotación minera.

Entre los aspectos más relevantes propuestos (23, 24):

- Establecer los mecanismos para garantizar el cumplimiento de las políticas corporativas y análisis costo-beneficio del proyecto versus la alternativa de no realizar el proyecto, análisis de sustentabilidad, principios de precaución y prevención, garantía financiera.
- Realizar una línea de base ambiental que incluya análisis de las zonas ambientalmente vulnerables, estudios desde la perspectiva de unidad de cuenca (hidrología e hidrogeología calidad del agua, modelación), estudios de reconocimiento del área, áreas ambientalmente sensibles, patrimonio cultural.
- Análisis de impactos ambientales y diseño de medidas de prevención y mitigación: evaluación de impactos por la pérdida y/o fragmentación del hábitat, desplazamientos humanos y re-ubicación, impactos de la migración de personas; impactos al patrimonio cultural (pueblos originarios, pobladores históricos) y los impactos acumulativos.
- Estudios de la base social y de los impactos asociados, incluyendo grupos campesinos y minorías étnicas (territorios, demografía, salud, educación, religiosidad, idiomas y dialectos, economía tradicional, organización sociocultural), pérdida de acceso al agua limpia, impactos en los medios de subsistencia,

impactos sobre la Salud Pública, impactos sobre los recursos culturales y estéticos. Procesos económicos, peligros y riesgos, zonas de conflicto. Impactos en los valores sociales, en la educación, en la seguridad y salud pública. Crear plan de participación ciudadana desde las etapas más tempranas del proyecto.

En este contexto, es de destacar que incluso a nivel nacional en la "Guía para la elaboración de estudios de impacto ambiental" se incorpora un capítulo dedicado al análisis de sensibilidad ambiental, en el cual se incorporan elementos y herramientas de análisis tales como mapeo de la sensibilidad ambiental y el análisis de resiliencia, e incluso en documento "Minería Estudio de Impacto Ambiental" de la Secretaría de Minería de Salta contiene alguno de los elementos propuestos (25, 26).

4. Conclusiones

La eclosión de la nano-tecnología y la necesidad de almacenar la electricidad generada desde fuentes sustentables, contribuyen a una demanda incrementada exponencialmente de sales de litio de alta pureza. La extracción de litio desde salares, como los presentes en el Sur de Bolivia, Norte de Chile y Noroeste argentino, que reúne un 55% de las reservas mundiales totales, presentan como ventaja una menor inversión inicial. Sin embargo, la técnica convencional utilizada consume un elevado volumen de agua salada, que evapora, y requiere en la etapa de purificación un importante volumen de agua dulce, recurso escaso en una zona árida donde sólo logran desarrollarse ecosistemas frágiles, de muy rica biodiversidad, y que son habitados por pueblos originarios.

El valor estratégico del litio constituye para la región una importante oportunidad de desarrollo, exigiendo un adecuado análisis de todos los aspectos asociados e interdependientes: eslabonamientos productivos, protección de los recursos naturales, derechos de los actuales pobladores, rol de la producción nacional y del sector de ciencia y técnica, y del Estado, incluyendo la generación de políticas públicas activas (y una legislación adecuada y funcional) para la consolidación de políticas soberanas y sustentables.

El papel de los gobiernos resulta decisivo para el desarrollo equitativo y de alto valor agregado. Por tal motivo, desde el estado, al momento de evaluar los proyectos de extracción, debe contar con información de base e instancias institucionales competentes para el análisis de las implicancias de la extracción y purificación del litio, desde el análisis del salar y las cuencas involucradas en el proyecto como la unidad de estudio y así generar un proceso robusto de análisis de los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos de los diversos proyectos, teniendo en cuenta además los usos que ya existen en el territorio, como las actividades de pequeña ganadería y agricultura de las comunidades locales.

Es importante comprender la complejidad del sistema referida. En primer lugar, el modo de extracción convencional requiere un elevado consumo de agua y presenta además un potencial peligro para las reservas de aguas subterráneas dulces (en cuanto a su cantidad y calidad), considerando además que los salares de la Puna constituyen cuencas endorreicas, en un contexto de escasas precipitaciones y un delicado equilibrio de la zona de mezcla de agua dulce-salada. Resulta entonces fundamental contar con completos estudios de base del sistema ambiental (social, físico-natural y económico) de las cuencas localizadas dentro del triángulo del litio en Argentina, con el objetivo de elaborar líneas de base del Estado Nacional, a fin de tener criterios propios más allá de los estudios de consultoras privadas que luego adopten las empresas mineras. Es en estos estudios de base, donde la cuestión social de los asentamientos humanos andinos debe ser considerada y revalorizada a partir de técnicas de evaluación de líneas de base ambiental participativa. Como constituyentes ineludibles, deben considerarse estudios hidrológicos e hidrogeológicos integrales de toda la cuenca, para determinar la significancia y el tipo de impacto que puede ocasionar cada proyecto, en particular en conjunción con otros proyectados y los usos de agua ya existentes por parte de las comunidades de la Puna, que reclaman por sus derechos territoriales, y que deben ser consultadas para la obtención de su consentimiento libre previo e informado según dispone incluso el Convenio 169 de la OIT.

En tal sentido, es necesario complementar al clásico estudio de impacto ambiental (EIA), con nuevos elementos que la completen y potencien para que dé cuenta de las complejidades presentes, desde una mirada sistémica, estratégica, una lógica preventiva y una racionalidad precautoria; ya que como todo instrumento de gestión ambiental, tiene sus limitaciones. En tal sentido, resulta fundamental considerar los distintos tipos de riesgos sociales y físico-naturales de los distintos salares para las etapas de prospección-exploración, explotación y abandono. El análisis de la vulnerabilidad de los pobladores y del ecosistema, aporta herramientas en ese sentido. Y es mediante la evaluación del riesgo ambiental que se logra el entrecruzamiento de los elementos aportados desde la EIA (peligrosidad de cada una de las variables) con cada una de las dimensiones de la vulnerabilidad global y las particularidades del complejo sistema ambiental y los elementos que lo constituyen, junto a las interacciones con otros sistemas que superan el ámbito natural o físico. Muchos de estos aspectos se encuentran presentes en varias matrices de análisis propuestas recientemente por diversas organizaciones para el análisis de la explotación minera, incluso a nivel nacional en la "Guía para la elaboración de estudios de impacto ambiental" se incorpora un capítulo dedicado al análisis de sensibilidad ambiental, mediante el mapeo de la sensibilidad ambiental y el análisis de resiliencia.

La minería del litio será muy probablemente una actividad en expansión en la región, razón por la cual es fundamental el pensamiento crítico, la visión sistémica y holística reforzando el imaginario del Estado y el valor social de la minería de manera tal de hacerla sostenible, acordes con las capacidades de recuperación a escala humana del medio físico-natural,

equitativa socialmente, viable económicamente y confiable desde lo financiero.

Agradecimientos

Los autores agradecen los aportes y comentarios de la Dra. Maria Cecilia Gareis, Investigadora CONICET del Instituto de Ambiente de Montaña y Regiones Áridas de la Universidad Nacional de Chilecito El Dr. Andrés Porta miembro de la carrera de investigador científico y de la Comisión de investigaciones científicas de la provincia de Buenos Aires, y director del Centro de Investigaciones Ambientales (UNLP-CONICET). El Dr. Roberto Esteban Miguel es Investigador de INTA EEA Chilecito, Coord (int.) Proyecto Estructural 041 "Aportes a la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas del Sistema Agroalimentario Argentino" en el Marco del Programa Nacional de Recursos Naturales y Gestión Ambiental del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria que coordina Dr. José Norberto Volante.

Referencias

- [1] Lopez A., M. Obaya, P. Pascuini, A. Ramos, "Litio en la Argentina. Oportunidades y desafíos para el desarrollo de la cadena de valor", Informe técnico, Secretaría de Ciencia y Técnica, Ministerio de Educación – BID, 2019. Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/litio-en-la-argentina-oportunidades-y-desafios-para-el-desarrollo-de-la-cadena-de-valor>
- [2] Munk L.A., S.A. Hynek, D.C. Bradley, D. Boutt, K. Labay, H. Joche, "Lithium Brines: A Global Perspective", *Reviews in Economic Geology*, 18: 339–365, 2016.
- [3] López Steinmetz R.L., "Lithium- and boron-bearing brines in the Central Andes: exploring hydrofacies on the eastern Puna plateau between 23° and 23°30'S", *Miner Deposita*, 52:35–50, 2017.
- [4] Aranda Álvarez, M. (2018). Una minería del agua: Análisis espacio-temporal de la región del Salar de Olaroz: Implicancias ambientales, estrategias de sustentabilidad y crecimiento económico local ante la minería del litio. Tesis de grado. Fac. Humanidades y Ciencias de la Educación, UNLP. En Memoria Académica. Disponible en: <http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/tesis/te.1731/te.1731.pdf>
- [5] Godfrey L.V., L.-H. Chan, R.N. Alonso, T.K. Lowenstein, W.F. McDonough, J. Houston, J. Li, A. Bobst, T.E. Jordan, "The role of climate in the accumulation of lithium-rich brine in the Central Andes", *Applied Geochemistry*, 38, 92–102, 2013.
- [6] Flexer V., C.F. Baspineiro, C.I. Galli, "Lithium recovery from brines: A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing", *Science of the Total Environment*, 639: 1188–1204, 2018.
- [7] Aguilar F., L. Zeller,, "Litio. El nuevo horizonte minero. Dimensiones sociales, económicas y ambientales", Centro de Derechos Humanos y Ambiente (CEDHA), Córdoba, Argentina, 2012. Disponible en: <http://wp.cedha.net/wp-content/uploads/2011/11/Informe-de-Litio-cedha.doc>
- [8] Delgado Ramos G.C., "Ecología política de la minería en América Latina. Aspectos socioeconómicos, legales y ambientales de la mega minería", Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, Universidad Nacional Autónoma De México - Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO), México, 2010. Disponible en: http://biblioteca.clacso.edu.ar/Mexico/ceiich-unam/20170502045538/pdf_1467.pdf
- [9] Marchegiani P. La imprescindible mirada ambiental en la toma de decisiones sobre el litio. En: Informe ambiental anual 2018, FARN, 269-293. Disponible en: https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2020/06/2018_IAF.pdf
- [10] Manrique A., "Explotación del litio, producción y comercialización de baterías de litio en Argentina", Tesis aprobada en la Especialización en Gestión de la Tecnología y la Innovación, Universidad de Mar del Plata, 2014. Disponible en: <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/handle/123456789/63>
- [11] Andrés Castello A., M. Kloster. 2015 "Industrialización del litio y agregado de valor local", Centro interdisciplinario de estudios en ciencia, tecnología e innovación, Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2015. Disponible en: <http://www.ciecti.org.ar/wp-content/uploads/2017/07/DT1-Indsutrializaci%C3%B3n-del-litio-y-agregado-de-valor-local.pdf>
- [12] RAMSAR, Servicio de información de sitios Ramsar RSS 2.0. Disponible en <https://rsis.ramsar.org/es?language=es>
- [13] Entrevista a Dr. John Cherry, The Groundwater Project- 47th Congreso de la Asociación Internacional de Hidrogeología. Asociación Brasileña de Aguas Subterráneas, 2020. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=ZvFMKaGe4uM&feature=youtu.be>
- [14] Acosta, O. y Custodio, E. et al., 2008. Impactos ambientales de las extracciones de agua subterránea en el Salar del Huasco (norte de Chile). *Boletín Geológico y Minero*, 119 (1): 33-50 ISSN: 0366-0176
- [15] W. Liu, D.B. Agusdinata. Interdependencies of lithium mining and communities sustainability in Salar de Atacama, Chile. *Journal of Cleaner Production*, 260: 120838. 2020.
- [16] Marchegiani P., Agustina Roca. Litio, el oro blanco del siglo XXI: ¿Qué fin justifica qué medios?. En: Informe ambiental anual 2013, FARN, 457-470. Disponible en: https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2020/06/2013_IAF.pdf
- [17] Barandiarán, J. Lithium and development imaginaries in Chile, Argentina and Bolivia. *World Development* 113: 381–391, 2019,
- [18] Custodio E., JM. Andreu-Rodes, R. Aragón, T. Estrella, J. Ferrer, JL. García-Aróstegui, M. Manzano, L. Rodríguez-Hernández, A. Sahuquillo, A. del Villar. *Groundwa-*

ter intensive use and mining in south-eastern peninsular Spain: Hydrogeological, economic and social aspects. *Sci. Total Environment*, 559 (15): 302-316, 2016.

[19] Paoli, H. "Recursos Hídricos de la Puna, valles y bolsones áridos del Noroeste argentino". INTA, EAA Salta, 2002, 274 pp. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-rh>

[20] Romero G., "Riesgo ambiental e incertidumbre en la producción de litio en salares de Argentina, Bolivia y Chile". En: *Litio en Sudamérica. Geopolítica, energía y territorios*. B. Fornillo Ed., Editorial el colectivo, pp. 223-260, Buenos Aires, 2019. ISBN: 978-987-47280-0-5.

[21] Fornillo B., M. Gamba, "Tecnología y extracción del litio: organicidad, insularidad y privatización". En: *Litio en Sudamérica. Geopolítica, energía y territorios*. B. Fornillo Ed., Editorial el colectivo, pp. 141-146, Buenos Aires, 2019. ISBN: 978-987-47280-0-5.

[22] Corte Suprema de Justicia de la Nación. Secretaría de Jurisprudencia. Fallo "Provincia de La Pampa c/ Provincia de Mendoza" (Río Atuel). 1º de diciembre de 2017. Antecedentes – Síntesis de la Sentencia – Estándares Aplicados – Precedentes Vinculados. Texto Completo. Disponible en <https://sj.csjn.gov.ar/sj/suplementos.do?Method=ver&data=LPCM>

[23] Sticco M., A. Damiani, P. Scravaglieri. "Estudio de los recursos hídricos y el impacto por explotación minera de litio. Cuenca Salinas Grandes y Laguna Guayatayoc – provincia de Jujuy". Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN), 2018, 39. Disponible en https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2020/06/FARN-Estudio-de-los-recursos-hidricos-y-el-impacto-por-explotacion-minera-de-litio_compressed.pdf.

[24] Calle, Isabel y Ryan, Daniel (coords.). *La participación ciudadana en los procesos de evaluación de impacto ambiental: análisis de casos en 6 países de Latinoamérica*. Lima: SPDA. 2016.

[25] Argento M., F. Puente. *Entre el boom del litio y la defensa de la vida. Salares, agua, territorios y comunidades en la región atacameña*. En: *Litio en Sudamérica. Geopolítica, energía y territorios*. B. Fornillo Ed., Editorial el colectivo, pp. 173-211, Buenos Aires, 2019. ISBN: 978-987-47280-0-5.

[26] Dietrich S., A. Cederstav, M. Lu. "Lineamientos Básicos para la Evaluación de Impactos Ambientales de Proyectos Mineros. Términos de referencia recomendados". Asociación Interamericana para la Defensa del

Ambiente, 2014. Disponible en https://aida.americas.org/sites/default/files/publication/tdr_mining_14-12_0.pdf

[27] Alianza Mundial de Derecho Ambiental. *Guía Para Evaluar EIAs de Proyectos Mineros*. 2010. Disponible en <https://www.elaw.org/files/mining-eia-guidebook/-Guia%20para%20Evaluar%20EIAs%20de%20Proyectos%20Mineros.pdf>

[28] A. Frassetto. "Guía para la elaboración de estudios de impacto ambiental". Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 2019. Disponible en https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_elaboracion_eia-2.pdf

[29] "Minería Estudio de Impacto Ambiental" de la Secretaría de Minería (Ministerio de Ambiente y Producción Sustentable), de Salta. 2010. Disponible en <http://www.economiasalta.gob.ar/dgrem/wp-content/uploads/2017/11/Normativa-para-los-estudio-de-impacto->

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

+++++

Andrés Porta

CIM. 47 y 115.
Facultad de Ciencias exactas - UNLP
La Plata, Buenos Aires - Argentina
[email@email.com: aporta@quimica.unlp.edu.ar](mailto:aporta@quimica.unlp.edu.ar)
[http://www.sitioweb.com:](http://www.sitioweb.com)

Dr. Cs. Bioquímicas, Cs. Exactas, UNLP. Profesor Titular, Química Analítica Aplicada, Cs. Exactas, UNLP. Investigador Principal, CIC PBA; Director del Centro de Investigaciones del Medio Ambiente (UNLP-CONICET).

Roberto Esteban Miguel

Ruta de la Producción Km 7,5.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
Centro Regional Catamarca-La Rioja.
Estación Experimental Agropecuaria Chilecito.
Chilecito, La Rioja - Argentina
[email@email.com: miguel.roberto@inta.gob.ar](mailto:miguel.roberto@inta.gob.ar)
<https://inta.gob.ar/personas/miguel.roberto>

Dr. en Cs. Exactas de la F. Cs. Exactas, UNLP. Master en Ing. Ambiental UTN-FRLP y Lic. en Diag. y Gestión Ambiental FCH UNICEN. Investigador INTA en Rec. Hídricos, Coord. de Proyecto PE-041-Cuencas INTA.