

Vea discusiones, estadísticas y perfiles de autor para esta publicación en <https://www.researchgate.net/publication/339703377>

Interdependencias de la minería de litio y la sustentabilidad de las comunidades en el Salar de Atacama, Chile

Artículo en *Journal of Cleaner Production* · Marzo 2020

DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120838

CITACIÓN

1

LEE

139

2 autores:



wenjuan liu

Universidad del estado de Arizona

3 PUBLICACIONES 17 CITAS

VER EL PERFIL



Datu Buyung Agusdinata

Universidad del estado de Arizona

54 PUBLICACIONES 510 CITAS

VER EL PERFIL

Algunos de los autores de esta publicación también están trabajando en estos proyectos relacionados:



Reducción del consumo doméstico de alimentos, energía y agua: un análisis cuantitativo de las intervenciones y los impactos de la conservación [Ver Proyecto](#)

Listas de contenidos disponibles en [CienciaDirecta](#)

Revista de producción más limpia

revista Página de inicio: www.elsevier.com/locate/jclepro



Interdependencias de la minería de litio y la sustentabilidad de las comunidades en el Salar de Atacama, Chile

Wenjuan Liu, Datu B. Agusdinata*

Escuela de Sostenibilidad, Universidad Estatal de Arizona, EE. UU.

información del artículo

Historial del artículo:

Recibido el 27 de noviembre de 2019

Recibido en forma revisada el 28 de febrero de 2020

Aceptado el 29 de febrero de 2020 Disponible en

Internet el 4 de marzo de 2020

Editor de manejo: Weidong Li

Palabras clave:

minería de litio

Sistema natural y social acoplado

Responsabilidad social empresarial

Migración laboral

Activismo social

resumen

La demanda de tecnologías limpias ha aumentado la producción mundial de litio (Li). Sin embargo, los impactos potenciales de la extracción de litio, especialmente en las comunidades de primera línea, no se han estudiado de manera integral. Esta investigación evalúa la sustentabilidad comunitaria en el Salar de Atacama, Chile. Desarrollamos un marco de sistemas natural-social acoplado para analizar las interdependencias de la extracción de litio y sus impactos. Utilizando datos del censo chileno, informes de sostenibilidad de empresas, sensores remotos y archivos de medios, investigamos la dinámica temporal de la disponibilidad de agua, la afluencia laboral, el empleo, el activismo social y la responsabilidad social corporativa. Nuestro estudio encuentra que entre 2002 y 2017, el almacenamiento total de agua disminuyó a una tasa de 1,16 mm/año. En comparación con otros usos, el consumo de agua de la minería de litio fue superior en dos órdenes de magnitud. La minería jugó un papel crucial en la creación de mayores impactos migratorios, como lo indica un alto índice de efectividad migratoria de 85% y 90%, respectivamente. La afluencia de mano de obra aumentó 2,3 veces, mientras que el papel de la mano de obra local en la minería disminuyó del 52% al 18%. El activismo social local aumentó tanto en intensidad como en escala. Nuestro marco y análisis de interdependencia muestran que Li-mining y las comunidades locales están estrechamente vinculadas tanto a escala local como regional a través del intercambio de recursos hídricos, oportunidades económicas y gobernanza de los recursos.

©2020 Publicado por Elsevier Ltd.

1. Introducción

La extracción de minerales de litio (Li) para la producción de baterías ha aumentado rápidamente en la última década, como resultado del creciente interés mundial por los vehículos eléctricos y las tecnologías de almacenamiento de energía. Se espera que las baterías de iones de litio, conocidas por su alta intensidad energética, mitiguen la contaminación del aire por la quema de combustibles fósiles y hagan que la energía renovable sea más factible y asequible (Tran et al., 2012). Impulsada por esta tendencia, la producción mundial de litio ha aumentado aproximadamente un 20 % anual desde 2000 (Martín et al., 2017), y se prevé que siga creciendo a un ritmo más rápido en un futuro próximo (Deetman et al., 2018).

Se estima que el llamado Triángulo Sudamericano del Litio, una región que limita con Chile, Bolivia y Argentina, posee el 57% de los recursos mundiales de litio (Gruber et al., 2011). El triángulo Li- se encuentra en salinas con clima extremadamente árido y escasez de agua. El triángulo se caracteriza por complejas interacciones socioecológicas (Agusdinata et al., 2018), y apoya la biodiversidad

puntos críticos, medios de subsistencia comunitarios y un rico patrimonio cultural indígena. Las preocupaciones de sostenibilidad de la minería de Li se centran principalmente en las amenazas a la hidrodinámica local (Marazuela et al., 2019), riqueza de flora y fauna (Liu et al., 2019), biodiversidad (Garajardo y Redo 2019) y bienestar social (Babidge, 2016, 2018; Egbue, 2012). El aumento de los permisos mineros otorgados por la autoridad de gobierno del litio están presionando el agua ya limitada, lo que está agravando las tensiones sociales entre las empresas mineras y las comunidades locales (Molina Camacho, 2016).

Para apoyar las tecnologías sostenibles bajas en carbono, debemos asegurarnos de que todos sus impactos en los sistemas socioecológicos locales sean plenamente reconocidos y abordados (Agusdinata et al., 2018). Solo unos pocos estudios han abordado los impactos de la extracción de litio y su alcance se limita solo a algunos aspectos del sistema. Por ejemplo, Babidge (2016), 2018) entrevistó y observó a indígenas para investigar los cambios en los valores sociales y éticos percibidos en el Salar de Atacama, Chile, donde se encuentra el Limining basado en salmuera más grande del mundo. El estudio documentó los impactos de la minería tal como los perciben las comunidades, como la pérdida de acceso a antiguas tierras de cultivo, la degradación de los ecosistemas y la disminución de las prácticas colectivas. Si bien estos estudios identificaron algunos impactos socioambientales potenciales, no proporcionaron una evaluación holística. Romero et al.

* Autor correspondiente. Escuela de Sostenibilidad, Universidad Estatal de Arizona, Wrigley Hall, 352, 800 Cady Mall, Tempe, AZ, 85287, EE. UU.

Dirección de correo electrónico: bagusdin@asu.edu (DB Agusdinata).

(2012) exploró la injusticia ambiental en el desierto de Atacama al examinar el balance hídrico en las cuencas hidrográficas donde se concentran las actividades mineras. El estudio cubre muchos tipos de minerales extraídos y, por lo tanto, no refleja suficientemente las características únicas de la minería de litio basada en salmuera. Por último, Egbú (2012) evaluó el impacto social de la extracción de litio y el procesamiento de carbonato utilizando un marco de evaluación del ciclo de vida social e investigó específicamente indicadores relacionados con los impactos en los trabajadores, las comunidades locales y la sociedad en general en Chile. Debido a la escasez de datos en ese momento, el estudio solo representa parcialmente los impactos sociales de la extracción de Li y no captura la interdependencia de la minería y el sistema socioecológico circundante.

Este trabajo proporciona una visión más holística del impacto de la expansión de Limining en los sistemas socioecológicos circundantes. Evaluamos los impactos de la minería de litio en la sostenibilidad de las comunidades locales con énfasis en los impactos que afectan principalmente a la población local, respondiendo las siguientes dos preguntas de investigación: (1) ¿Cuál es la dependencia mutua entre la industria minera del litio y el sustento de las comunidades locales en el norte de Chile? (2) ¿Cómo afecta la expansión de la minería de litio a la sostenibilidad de las comunidades locales en función de la interdependencia? Seleccionamos el área que rodea el Salar de Atacama en el norte de Chile, la ubicación actual de las minas de litio a base de salmuera más grandes del mundo. Debido a la lejanía del área y la falta de datos locales, utilizamos datos de diversas fuentes, incluido el censo nacional a nivel micro, el anuario estadístico nacional, informes de empresas, medios de comunicación y gravimetría satelital. Estos resultados brindan a las partes interesadas una comprensión más holística de la interdependencia a múltiples escalas de las actividades de extracción de litio.

Los intereses académicos evalúan los impactos de la minería en los países en desarrollo desde diversas perspectivas. Algunas investigaciones se han centrado en los beneficios asociados a la minería: aumento de la actividad económica, creación de empleo, desarrollo de infraestructura y beneficios sociales (Peg, 2006; Kitula, 2006; Kotey y Rolfe, 2014), junto con estrategias de gobernanza (es decir, responsabilidad social corporativa, RSE) que contribuyen al desarrollo socioeconómico de las comunidades basadas en recursos (Morrison et al., 2012). Otras investigaciones se centraron en la degradación ambiental, el desplazamiento local, la agitación social y los problemas socioeconómicos creados por la afluencia laboral de larga distancia (es decir, Piso, 2001; Haslam y Hoath, 2014; Aragón y Rud, 2013). El marco de medios de vida sostenibles (SI) (DFID, 1999) vincula las preocupaciones socioeconómicas y ambientales, que se han aplicado ampliamente en la investigación sobre la gestión de los recursos naturales (Libra et al., 2003) y han revelado la interacción bajo el contexto de la minería (Horsley et al., 2015). Los impactos de la minería ejercen diversas presiones sobre las comunidades basadas en recursos debido a las diferencias en el tipo de producto, los contextos sociales y políticos locales, los antecedentes culturales y la trayectoria de desarrollo (Auty, 1997). Esta interconexión implica que el impacto para las comunidades en el remoto Sur Global de la industria del litio recientemente en auge puede ser complejo y variado. Los esfuerzos de investigación que abordan holísticamente este problema son raros; gran parte del trabajo actual es demasiado amplio o tiene un rango único o estrecho.

Los enfoques de sistemas se han aplicado a problemas complejos de sistemas socioecológicos, incluida la gestión sostenible de los recursos, el desarrollo comunitario y las transformaciones urbanas, al revelar retroalimentaciones estrechamente vinculadas que forman un sistema complejo (Seiffert y Iago, 2005). Los modelos de optimización y dinámica de sistemas, por ejemplo, son útiles para modelar y asesorar sobre el uso conjunto del agua en prácticas agrícolas a escala local (Sedghamiz et al., 2018; Hashemi et al., 2019). También se ha adoptado el pensamiento sistémico para desarrollar prácticas de gestión de recursos integradas y colaborativas para desarrollar la resiliencia y la sostenibilidad de la comunidad (es decir, Aryal et al., 2019; Musavegane, 2019). El tema de la minería de Li refleja esencialmente las características clave de los complejos

sistemas sociales y naturales en los que múltiples interacciones de los elementos del sistema conducen a comportamientos emergentes del sistema debido a la retroalimentación, el retraso en el tiempo y las relaciones no lineales (Agusdinata et al., 2018). Un estudio de sistemas tan complejos requiere un enfoque de sistema que considere completamente las interacciones a través de diferentes escalas temporales, espaciales e institucionales (Ostrom, 2009).

Las contribuciones de este estudio se centran en dos aspectos principales: (1) una evaluación cuantitativa y más holística sobre la sostenibilidad de las comunidades de primera línea cerca de las actividades mineras de Li en el Salar de Atacama, que ayuda a explicar las crecientes tensiones locales en la industria del litio; y (2) un marco de sistema natural y social acoplado para analizar la interdependencia de múltiples escalas de las actividades de Liming que proporciona información para informar las políticas hacia el abastecimiento sostenible de litio.

En este trabajo, comenzamos describiendo las características sociodemográficas y geográficas del área de estudio. Luego presentamos el marco del sistema natural-social acoplado que aplicamos para mostrar la interdependencia de la minería de Li y las comunidades locales. Con base en el marco SI, ilustramos el proceso para la selección de temas de impacto y la diversa fuente de datos utilizada en este estudio. A continuación, evaluamos cada tema identificado y sintetizamos la dinámica de las trayectorias de impacto con base en las interdependencias entre la minería y la comunidad. Posteriormente, discutimos las implicaciones para otras áreas de minería de litio en el triángulo de litio y señalamos direcciones para futuras investigaciones.

2. Área de estudio

Nuestra zona de estudio es la comuna de San Pedro de Atacama (SPA) (Figura 1), ubicado en la región de Antofagasta del norte de Chile, sitio de la extracción de litio a base de salmuera más grande del mundo. Esta ubicación es el sitio de operaciones mineras intensivas y tiene una disponibilidad relativamente mayor de datos preexistentes. La comuna alberga dos importantes minas de litio, operadas por Sociedad Química y Minera (SQM), una empresa chilena que es la mayor productora de litio del mundo, y Albemarle, una empresa estadounidense que opera en todo el mundo. El encalado fue introducido en el área durante la década de 1980 por Rockwood, que fue comprado por Albemarle en 2015. SQM comenzó la extracción en 1995 y rápidamente dominó el mercado global. En la última década, la minería de litio se ha expandido rápidamente, cuadruplicando su área de 20,54 km² en 1997 a 80,53 km² en 2017 (Liu et al., 2019). Geográficamente, SPA se encuentra en el Desierto de Atacama con una altitud promedio de 2400m; las precipitaciones son extremadamente limitadas. Los recursos hídricos son preciosos y rara vez renovables. Los medios de subsistencia locales dependen principalmente del agua procedente del derretimiento del hielo de la Cordillera de los Andes que se canaliza a través de zanjas y captaciones construidas por la comunidad. Las operaciones mineras extraen agua subterránea para el proceso de evaporación de la producción de litio. Según el censo nacional de 2017, la comuna contiene 16 comunidades, con una población total de 10996; El 50% de los residentes pertenecen a grupos indígenas (INE, 2018). Los medios de subsistencia locales se basan principalmente en la economía agropastoral tradicional, aunque en los últimos años se han visto afectados por la economía del 'extractivismo como desarrollo' debido a la expansión minera (Babidge, 2016).

3. Metodología: sistema natural y social acoplado y marco de medios de vida sostenibles

3.1. Sistema natural y social acoplado

Razonamiento sistémico, que tiene éxito al abordar sistemas complejos en el ámbito de la gestión sostenible de los recursos (Williams et al., 2017), facilita nuestra comprensión de los sistemas complejos (Seiffert y Iago, 2005). Ante un sistema socioecológico complejo, desarrollamos un sistema natural-social acoplado

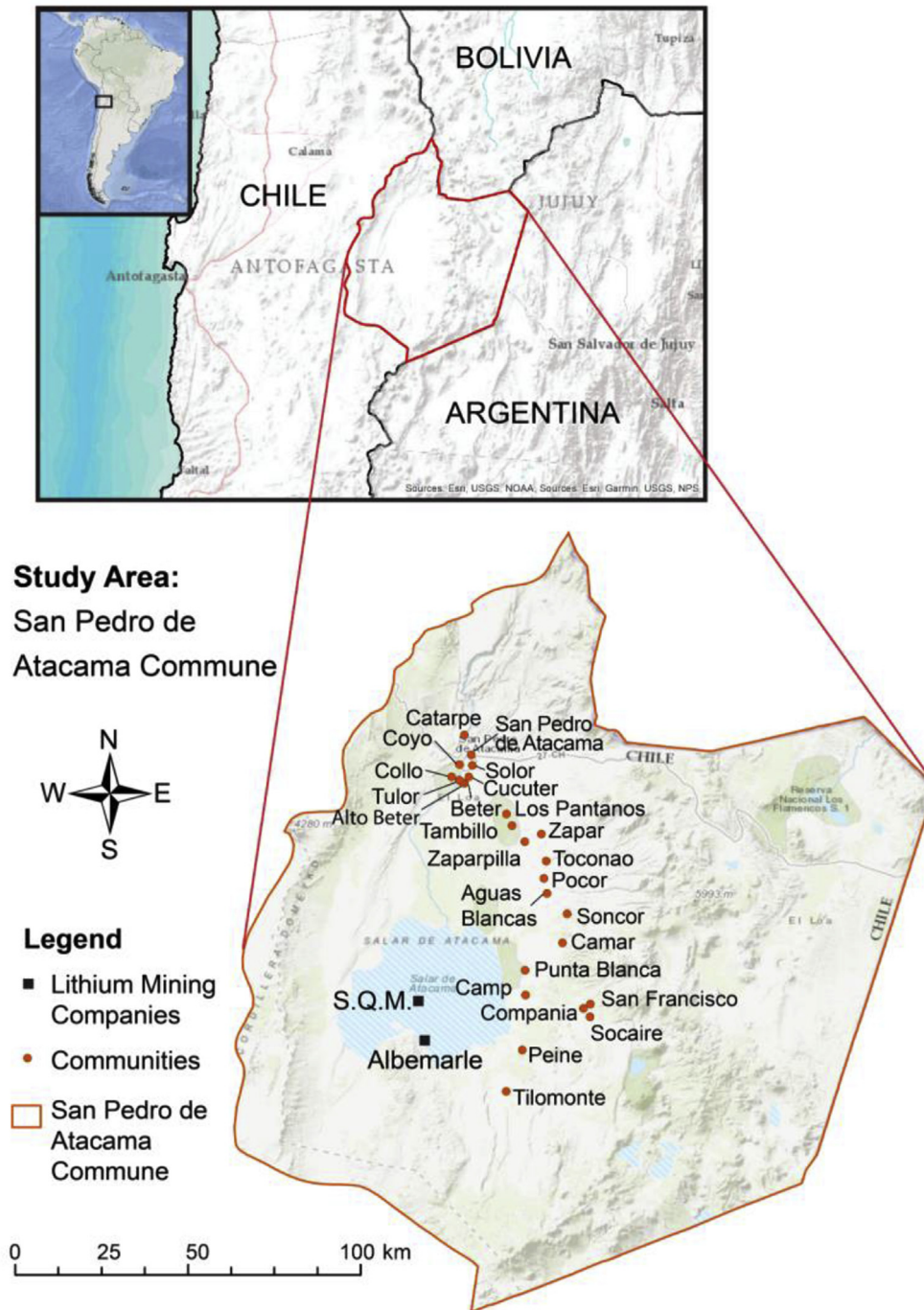


Figura 1. Área de estudio de caso: San Pedro de Atacama (SPA), Chile.

marco para integrar las categorías de impacto examinadas en una imagen más holística al descubrir las interdependencias entre la industria del litio en expansión y las comunidades locales (Figura 2).

El sistema natural y social acoplado se muestra en Figura 2. El sistema natural está compuesto por los grandes salares endorreicos (es decir, salinas y sistemas de humedales asociados); los sistemas sociales consisten en actividades socioeconómicas y gobernanza del litio. El agua provista por el sistema natural es el recurso limitado clave para los medios de vida y las actividades económicas en el área. Las actividades socioeconómicas incorporan los medios de vida locales y sus actividades económicas, que se clasifican en cuatro subgrupos: minería, minería-

inducido, ecoturismo y otras actividades económicas, ya que la estructura económica local depende en gran medida de la industria de minería de litio y ecoturismo. Las actividades inducidas por la minería que apoyan la producción minera incluyen la construcción, el transporte y las comunicaciones; el ecoturismo incluye hoteles, servicios de alimentación y comercio minorista; y otras actividades abarcan las restantes actividades locales. Los sistemas de gobernanza se refieren a los actores y mecanismos de toma de decisiones que rigen directa e indirectamente las actividades y los impactos relacionados con el litio a nivel local y regional a través de leyes, procedimientos y normas.

Los actores sociales que están involucrados incluyen empresas mineras nacionales y multinacionales, comunidades locales, turismo

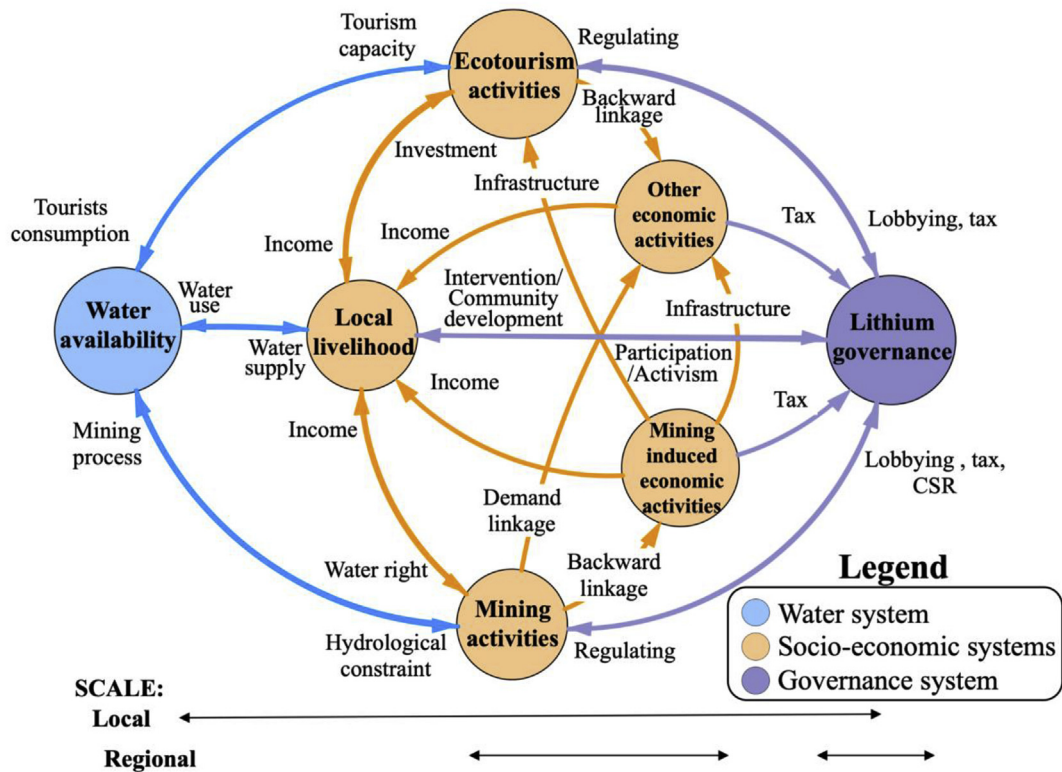


Figura 2. Sistema acoplado natural y social de interdependencia comunidad-minería de litio.

empresas y responsables políticos regionales y nacionales. Las empresas mineras y las comunidades locales son económicamente interdependientes y se proporcionan empleo y mano de obra, respectivamente. Los operadores turísticos ofrecen actividades de ecoturismo que aportan dólares externos a la economía local. Los flujos de información entre estos grupos culminan en la movilización social y acciones colectivas, lo que se convierte en uno de los principales mecanismos de retroalimentación que movilizan a los gobernantes de uso (agua) y extracción (litio) de los recursos.

En el área de estudio, el acoplamiento de los sistemas naturales y sociales se manifiesta a través de las interrelaciones. El sistema natural proporciona servicios ecosistémicos y regula la disponibilidad de agua, tanto superficial como subterránea, que es compartida por los subsistemas del sistema socioeconómico. Los recursos hídricos son consumidos principalmente por el uso doméstico, los procesos mineros y los turistas. El consumo excesivo de cualquiera de los subsistemas podría limitar el agua disponible para otros. El sistema de gobernanza regula el uso del agua de cada subsistema socioeconómico a través de la expedición de permisos e inspecciones ambientales, rigiendo así la disponibilidad total de agua en el sistema natural. El sistema de gobernanza también recibe ingresos fiscales e inversiones sociales de la industria local, que luego pueden utilizarse para el desarrollo de la comunidad. Algunas veces,

Los subsistemas socioeconómicos también están estrechamente relacionados con la minería y el turismo. La industria minera atrae una mano de obra distante que podría fomentar la economía local mediante la vinculación de la demanda y también estimular la prosperidad económica en las industrias pertinentes (por ejemplo, la construcción y los servicios) mediante la vinculación hacia atrás. Similar a la minería, otros subsistemas también interactúan a través de vínculos económicos. Por ejemplo, las actividades inducidas por la minería proporcionan infraestructura compartida por todas las industrias. Cada subsistema proporciona ingresos para apoyar los medios de vida locales. A cambio, los lugareños invierten en negocios turísticos y

a veces comercian ilegalmente una parte de sus derechos de agua con empresas mineras a cambio de ganancias monetarias u oportunidades laborales.

3.2. El marco de medios de vida sostenibles (SI) para identificar categorías de impacto

El marco SI ha sido ampliamente adoptado como base teórica para medir el desarrollo sostenible. Recientemente, se ha desarrollado como un medio sólido para comprender la interacción entre la minería y el desarrollo (Horsley et al., 2015). Detrás del marco SI se encuentran los cinco capitales que respaldan los objetivos de medios de vida: financiero (FC), humano (HC), natural (NC), social (SC) y físico (PC) (FAO, 2002). La composición de cada uno de los cinco capitales varía según los diferentes tipos de minería, contextos locales y definiciones de desarrollo.

Con base en el marco SI, llevamos a cabo reuniones con las partes interesadas para seleccionar las categorías de impacto percibidas como las más relevantes para las actividades de Limining. Llevamos a cabo tres conjuntos de reuniones con las partes interesadas locales para discutir sus preocupaciones sobre la expansión de la industria de Mining. Los participantes invitados incluyeron líderes comunitarios, líderes de grupos étnicos, representantes de ONG locales y funcionarios gubernamentales. Las comunicaciones fueron facilitadas por un colega de habla hispana de la Universidad de Chile. Las reuniones se grabaron en audio y luego se transcribieron y resumieron para resaltar los temas más discutidos.

Agrupamos los temas destacados en cinco categorías de impacto, cada una de las cuales refleja uno o más activos de capital (tabla 1): (1) disponibilidad de agua, en referencia a las preocupaciones locales sobre la escasez de agua, la pérdida de agua por la minería, la falta de agua en la agricultura y los hogares; (2) la afluencia de mano de obra, incluidos los patrones de los movimientos laborales, la composición de la afluencia de mano de obra y sus posibles contribuciones económicas; (3) empleo y desplazamiento, para incorporar las condiciones de empleo de la mano de obra local y la población desplazada; (4) activismo social,

tabla 1

Categorías de impacto más preocupadas por las comunidades en SPA

Categorías de impacto	Capital activos	contexto SPA
Disponibilidad de agua	CAROLINA DEL NORTE	Disponibilidad total de agua Consumo de agua por minería, uso doméstico y turistas Patrón
Afluencia de mano de obra a larga distancia	FC	geográfico de entrada de mano de obra Eficacia de la migración Composición de la afluencia de mano de obra (desplazamientos frente a migración)
Empleo y desplazamiento	SC	Empleo sectorial de mano de obra local Población desplazada
Activismo social	CAROLINA DEL SUR	Eventos de activismo social relacionados con la minería de litio en SPA
responsabilidad social corporativa iniciativas	HC SC PC	Iniciativas corporativas de desarrollo local en materia de salud, educación, cultura y desarrollo de infraestructuras. Incluye: Patrimonio cultural Educación y cultura Desarrollo Social

representar movimientos de base contra la minería (por ejemplo, eventos de protesta y demostración); (5) iniciativas de responsabilidad social empresarial, que se refieren a los esfuerzos de las empresas mineras y del gobierno, incluidas las inversiones en programas de desarrollo social, patrimonio cultural y educación de jóvenes y adultos.

3.3. Procesamiento de datos y materiales

Dado que los registros hidrológicos no están disponibles o son muy inconsistentes, investigamos la disponibilidad de agua a través de datos de observación de gravimetría satelital. Los satélites gemelos Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE), lanzados en 2002, proporcionan anomalías mensuales de almacenamiento de agua terrestre (TWSA) midiendo los cambios del campo de gravedad de la Tierra (Landerer y Swenson, 2012). GRACE TWSA revela variaciones en la disponibilidad total de agua (incluyendo agua superficial, agua en el suelo, agua de nieve, agua de dosel y agua subterránea) del área terrestre examinada. Su producto de datos ha sido examinado y validado para múltiples escalas y entornos (es decir, Gemitz y Lakshmi, 2018), incluso a escala regional en el norte de Chile (Montecino et al., 2016). En este estudio, adquirimos los datos del portal de datos GRACE de la Universidad de Colorado (<http://geoide.colorado.edu/grace/index.html>) para 2002mi2017, con mediciones mensuales. Los datos de GRACE TWSA tienen una resolución espacial de 100 km y están escalados con factores de ganancia cuadrículados desarrollados por Landerer y Swenson (2012). Debido al área de estudio relativamente pequeña, seleccionamos el conjunto de datos de la cuenca del río USGS Nivel 2 para la forma de la región promedio. Los datos adquiridos de TWSA expresan los cambios en el total de agua almacenada en relación con el promedio de línea de base entre enero de 2004 y diciembre de 2009 en el área de estudio.

El agua en el área de estudio es consumida principalmente por la minería, la vida doméstica y el turismo (Segura et al., 2018). Sin embargo, los datos de consumo de agua están mal rastreados y documentados. Estimamos el uso de agua en estos sectores de 2002 a 2017 en función de la escala de producción minera, la población local, la población turística y su demanda de agua asociada. Primero, estimamos el uso de agua de minería con base en el supuesto de 500,000 gal/tonelada de litio extraído (Katwala, 2018) y la escala minera anual de las estadísticas de productos minerales del USGS (<https://www.usgs.gov/centers/nmic/mineral-commodity-summaries>). En segundo lugar, el agua para el turismo se calcula con un consumo diario estimado de 200 L/turista en Chile (Vamos

€cabestrillo, 2006) y registros anuales de turistas en SPA del anuario de turismo de Chile (<https://www.ine.cl/estadisticas/economicas/turismo>). Tercero, el uso doméstico del agua se estima por la población anual proyectada en SPA (INE, 2014) y una demanda de agua doméstica supuesta de 46,25 m³/cap/año en la región de Antofagasta (OCDE, 2017).

Para los datos de mano de obra y empleo, utilizamos los micro-

estadísticas a nivel del Censo de Vivienda y Población de Chile realizado en 2002 (INE, 2003) y 2017 (INE, 2018), cada uno de los cuales abarca un período de cinco años de 1997mi2002 y 2012mi2017. Los censos fallaron tanto en 2007 como en 2012, lo que generó una brecha en los datos entre 2002 y 2012. Los censos brindan información sobre las características personales, incluida la demografía, los mercados laborales y las actividades económicas. También utilizamos la base de datos CHIM (Chilean Internal Migration), desarrollada por Rowe (2017), para extraer datos sobre movilidad laboral espacial en SPA durante 1997mi2002 basado en el censo de 2002. Luego seguimos el mismo método en la construcción de la base de datos CHIM (Rowe, 2013) y desarrolló la movilidad laboral en SPA para 2012mi 2017. De acuerdo con la base de datos del Censo y CHIM, la mano de obra investigada en este estudio se define como la fuerza laboral de 15 años.mi 64, excluyendo desempleados, estudiantes, jubilados y amas de casa. Para medir el impacto espacial de los flujos migratorios en cada sector industrial, seleccionamos el Índice de Efectividad Migratoria (MEI), que indica el grado de desequilibrio entre los flujos migratorios y los contraflujos. MEI se ha aplicado ampliamente en estudios sobre el impacto espacial de los flujos migratorios a diferentes escalas (es decir, escala de condado (Manson y Groop, 2000) y escala regional (Rowe, 2013)). Formalmente, MEI se define en la ecuación (1), como (Shyock y Siegel, 1976):

$$MEI = \frac{PAGS_{ij} - O_{ij}}{PAGS_{ij} + O_{ij}} - 100 \quad (1)$$

Dónde D_{ij} denota la inmigración total a la región i , O_{ij} denota la emigración total de la misma región. El rango del índice es de 0 (la inmigración y la emigración son iguales en número) a 100 (la migración es totalmente unidireccional, ya sea de entrada o de salida).

El activismo social se mide por los movimientos sociales a escala local o regional como respuesta a las actividades de extracción de Li o decisiones de gobierno. Realizamos búsquedas de este tipo de eventos en las hemerotecas de El Diario de Antofagasta y El Mercurio, los medios noticiosos más leídos en Chile, con las palabras clave 'litio' y 'protesta'. Luego examinamos eventos directamente relevantes para la extracción de Li en SPA. También verificamos e incorporamos datos de eventos de la base de datos de conflictos de extracción de minerales (https://mapa.conflictosmineros.net/ocma_dbv2/), que es compilado por una ONG local, Observación de conflictos minerales en América Latina.

En cuanto a las iniciativas de RSE, reconocimos que los datos no son comparables dentro de los informes, entre informes de diferente marco temporal o entre informes de diferentes empresas. Sin embargo, las exploraciones de tendencias temporales son posibles (Jenkins y Yakovleva, 2006). Detectamos tendencias en las divulgaciones de las empresas mineras de Li sobre los esfuerzos de sustentabilidad a lo largo del tiempo a partir de los informes anuales de las empresas entre 2002 y 2009 y los informes de sustentabilidad publicados anualmente desde 2010. Específicamente, rastreamos las divulgaciones de

iniciativas e inversiones que contribuyen a SPA desde 2002, y evaluó cómo ha evolucionado su alcance, estilo de presentación de informes y contenido.

4. Resultados y discusión

En las siguientes subsecciones, evaluamos la sostenibilidad de las comunidades y sus vínculos interdependientes con las actividades de minería de litio en SPA. Por lo tanto, comenzamos con una evaluación de la sostenibilidad de la comunidad en la disponibilidad de agua, la afluencia de mano de obra, el empleo y el desplazamiento, el activismo social y la -sostenibilidad a largo plazo. A continuación, proporcionamos un análisis holístico de las interdependencias de la comunidad minera para revelar comentarios de impacto significativos en sus interacciones. Además, discutimos el auge del litio en curso en otros países del triángulo del litio, así como la aplicabilidad de nuestro marco natural y social acoplado en estos casos.

4.1. Sostenibilidad de las comunidades locales

4.1.1. Disponibilidad de agua

Los cambios en el total de agua almacenada (es decir, agua superficial, humedad del suelo y agua subterránea) de GRACE se muestran en Fig. 3. El período anterior a 2004 es el período de inicialización del modelo y los años 2004mi2009 sirven como referencia. Por lo tanto, para la detección de tendencias consideramos solo las anomalías del almacenamiento total de agua después de 2010. Todavía es evidente que el almacenamiento total de agua muestra una tendencia de agotamiento durante 2010mi2017. Con una prueba de Mann-Kendal aprobada en un valor p calculado

0.05, el TWS sobre 2010mi2017 muestra una tendencia decreciente estadísticamente significativa con la pendiente de $-1,16$ mm/año. Esta tendencia indica que se estima que el almacenamiento total de agua en SPA disminuirá en $1,16$ mm en comparación con el año anterior.

El consumo de agua aumentó continuamente desde 2002 hasta 2017 debido a la expansión de la producción minera, el aumento de habitantes locales y el aumento del turismo (Figura 4). Sorprendentemente, el consumo estimado de agua para los procesos mineros fue aproximadamente 50 veces el uso doméstico estimado y cientos de veces el consumo estimado de los turistas. Dado que el uso de agua estimado se basa en algunos supuestos (establecidos en la sección de metodología), es posible que no exprese con precisión el uso de agua pero refleje la diferencia de magnitud en los recursos hídricos consumidos por la industria minera, los medios de vida locales y el turismo.

4.1.2. Afluencia de mano de obra a larga distancia

Para comparar la afluencia de mano de obra entre los dos períodos censales, mapeamos la afluencia para mostrar la movilidad espacial de la mano de obra de larga distancia a SPA (Figura 5). En general, la economía local atrajo mano de obra a larga distancia, en su mayoría de regiones adyacentes, durante ambos períodos. Sin embargo, los flujos laborales durante 2012mi2017 tuvo mayores impactos

debido a la cantidad de trabajadores y la distancia que migraron. En concreto, un total de 2466 trabajadores se trasladaron a SPA durante 2012mi2017, que es un 20% más que la mano de obra local, y casi 2,3 veces más que la mano de obra de larga distancia en 1997mi2002. Durante ambos períodos, la mayor parte de la mano de obra de larga distancia fue migración intermunicipal dentro de Antofagasta, mientras que la mayor parte de la mano de obra fue de Chile Central durante 2012mi2017. La participación de mano de obra de las regiones del norte disminuyó entre períodos, del 67% al 47% de la afluencia total. En contraste, la mano de obra de Chile Central fue una parte mayor de la entrada de mano de obra durante 2012mi2017 (aprox. 48%). La mano de obra del Sur de Chile contribuyó poco a la afluencia de mano de obra a SPA en el período.

El impacto espacial de los flujos migratorios durante los dos períodos censales muestra los desequilibrios entre los flujos de entrada y salida por sectores industriales (Figura 6). En general, la mayoría de las industrias mostraron una tendencia decreciente del MEI, lo que indica una reducción del impacto espacial de la migración y un mayor equilibrio entre los flujos laborales de entrada y salida. El declive de MEI que fue impulsado por los crecientes flujos de salida implica que la migración se ha vuelto menos influyente como mecanismo para la redistribución de la población en estas industrias. A escala local, la tendencia puede reflejar una mayor dispersión regional de las oportunidades de empleo que impulsan el flujo de mano de obra fuera de SPA, lo que lleva a la pérdida de mano de obra en el área. En contraste, la movilidad de los trabajadores en minería, manufactura, servicios públicos y construcción aumentó los impactos en los dos períodos, impulsado por el mayor desequilibrio de las entradas de mano de obra. El aumento de la movilidad se puede atribuir a la prosperidad económica generada por las actividades de minería de litio en la zona. que promovió no solo el empleo minero sino también el empleo en industrias que respaldan la producción minera, lo que llevó a movimientos unidireccionales de mano de obra hacia SPA Otra posible razón podría ser la creciente popularidad de SPA como destino de ecoturismo, impulsando más inversiones en infraestructura y servicios públicos, y por lo tanto atraer más trabajadores. El impacto general de la migración en SPA fue notable debido al desequilibrio relativamente alto de los flujos migratorios en ambos períodos, con un MEI promedio de 68% y 63%, respectivamente.

En ambos períodos, la minería mostró un gran impacto migratorio debido a su alto IME, mientras que la agricultura y el comercio mostraron la caída más evidente debido a la gran reducción de los IME. La reducción en la agricultura puede explicarse por la disminución de los flujos de entrada y el aumento de los flujos de salida. La industria del comercio, que representa actividades económicas relacionadas con el turismo, disminuyó de un MEI por encima del promedio a un MEI por debajo del promedio, lo que se debe a un aumento más rápido de las salidas que de las entradas.

La afluencia de mano de obra aumentó en la mayoría de las industrias entre los dos períodos, y la minería y la manufactura aumentaron a la tasa más rápida (Tabla 2). Durante 1997mi2002, la construcción y el comercio eran relativamente prósperos y atraían a trabajadores más lejanos, mientras que la minería atraía la mayor parte de la mano de obra, debido a su rápida expansión en 2012mi2017. En particular, la mano de obra a larga distancia en la minería aumentó tanto en número como en participación. A pesar de que el comercio había sido un popular

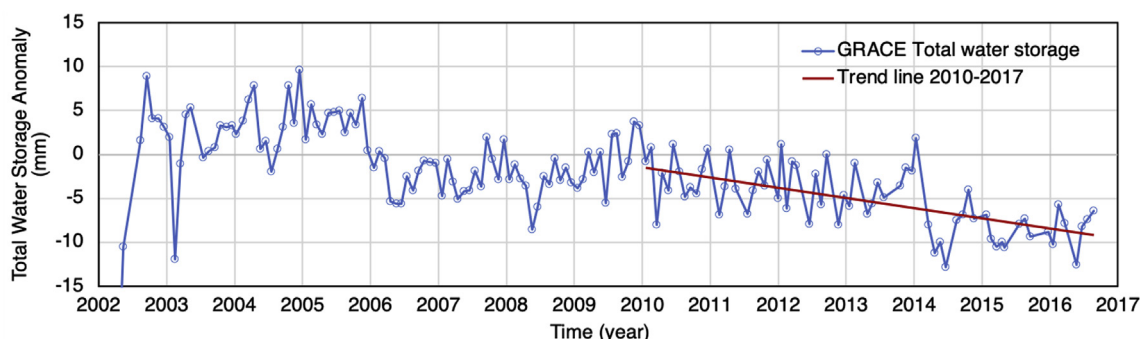


Fig. 3. Almacenamiento total de agua en el área de estudio de 2002 a 2017.

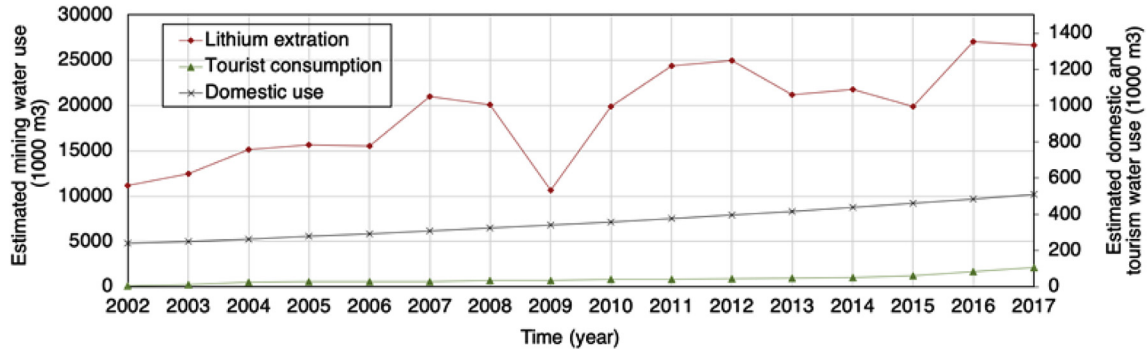


Figura 4. Consumo estimado de agua de uso minero, doméstico y turístico en el área de estudio de 2002 a 2017.

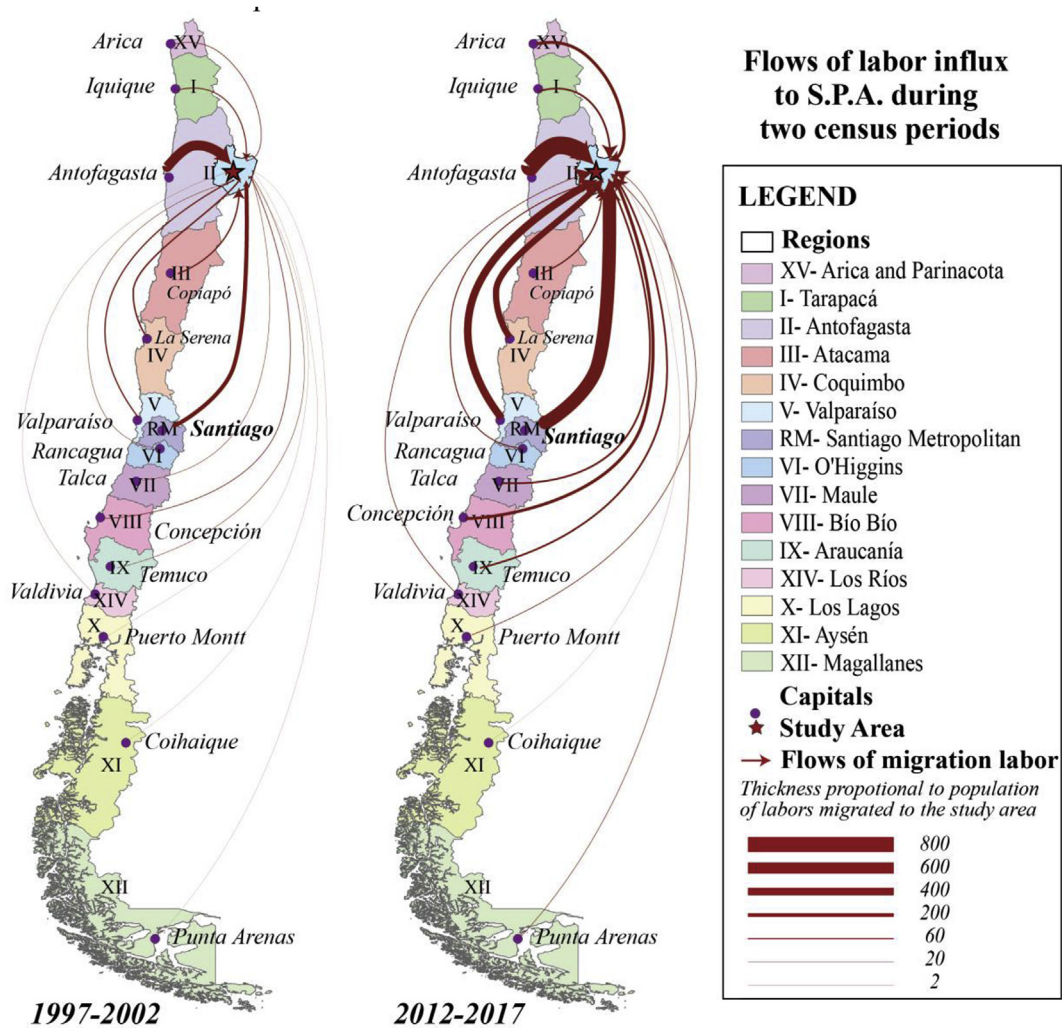


Figura 5. Flujos migratorios a ZEPA durante 1997mi2002 y 2012mi2017.

industria atrajo más mano de obra a larga distancia entre periodos, su participación se mantuvo estable.

Los flujos migratorios están compuestos por trabajadores de migración permanente, que se trasladan a residir en la ZEP, y trabajadores itinerantes, que se desplazan entre el trabajo y el hogar. Esto último podría crear un desajuste geográfico en el lugar de ingresos y gastos, lo que resultaría en contribuciones económicas limitadas a las comunidades donde trabajan (Aroca y Atienza, 2011). Tabla 2 muestra el

número de trabajadores a larga distancia y el porcentaje de mano de obra itinerante entre ellos en cada industria. En este caso, la mayor parte de la mano de obra de inmigración en la minería y la industria inducida por la minería (es decir, la construcción) se desplazaba al trabajo, como resultado de las características Fly-in/Fly-out de estas industrias. En comparación con toda la mano de obra (tanto local como de larga distancia) en la industria minera en SPA, la proporción de mano de obra itinerante seguía siendo considerable e incluso aumentó del 34% a casi el 79% entre los periodos de tiempo. En

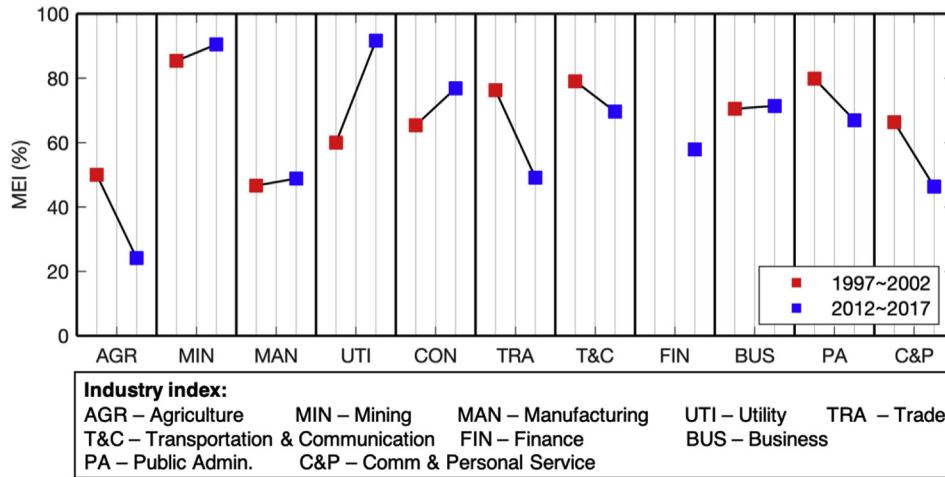


Figura 6.Eficacia migratoria de la migración laboral en SPA

Tabla 2
 La proporción de mano de obra desplazada por sector industrial.

Sector industrial	Número total de mano de obra de larga distancia en cada industria (porcentaje de mano de obra itinerante)	
	2002	2017
AGR	24 (17%)	18 (11%)
MÍN.	127 (71%)	543 (96%)
HOMBRE	22 (27%)	96 (60%)
ITU	8 (13%)	23 (sesenta y cinco%)
ESTAFA	239 (75%)	314 (74%)
TRA	245 (25%)	519 (24%)
terminos y condiciones	77 (27%)	162 (59%)
ALETA	0	15 (18%)
AUTOBÚS	133 (69%)	144 (76%)
Perseiviana	125 (54%)	283 (23%)
C&P	89 (18%)	349 (32%)

comercio, la mayor parte de los flujos migratorios estuvieron compuestos por mano de obra de migración permanente durante ambos períodos.

4.1.3. Empleo y desplazamiento

La condición de empleo de la mano de obra local se resume en Figura 7. El número de trabajadores locales en la mayoría de las industrias aumentó entre los dos períodos, a excepción de la minería y los servicios empresariales. El sector comercial empleó la mayor parte de la mano de obra local durante ambos períodos, más de

la mitad del total de sus trabajadores. Durante 1997mi2002, la minería y la construcción fueron industrias comunes para la mano de obra local, mientras que durante 2012miEn 2017, la administración pública y las comunicaciones y los servicios personales se convirtieron en los sectores laborales dominantes.

Cabe señalar que si bien la mano de obra total en la minería aumentó casi 2,5 veces, la mano de obra local empleada disminuyó en un 16%. La participación de la mano de obra local en la minería disminuyó significativamente, del 52% al 18%, entre dos períodos. Como resultado, la industria minera estuvo dominada principalmente por mano de obra a larga distancia entre 2012 y 2017. Por el contrario, la agricultura estuvo compuesta principalmente por mano de obra local en ambos períodos, con un 78 % y un 85 % de comunidades locales.

Al igual que con el desplazamiento de la población local, la salida de mano de obra aumentó más de tres veces entre los dos períodos, representando el 11% y el 15% de la mano de obra local total en cada período. La industria que más trabajadores desplazados contrató fue la construcción (29%) durante 1997mi2002, y comercio (33%) durante 2012mi2017. Municipios de la Región de Antofagasta fue el destino más popular durante 1997mi2002, mientras que la Región Metropolitana de Santiago fue el destino más popular durante 2012mi2017.

4.1.4. Activismo social

La dinámica de los movimientos sociales relacionados con las extracciones de Li debe interpretarse con respecto a la influencia de las acciones gubernamentales que suscitan o apaciguan estos movimientos. Realizamos un análisis de línea de tiempo de los principales eventos de activismo sobre las extracciones de Li y

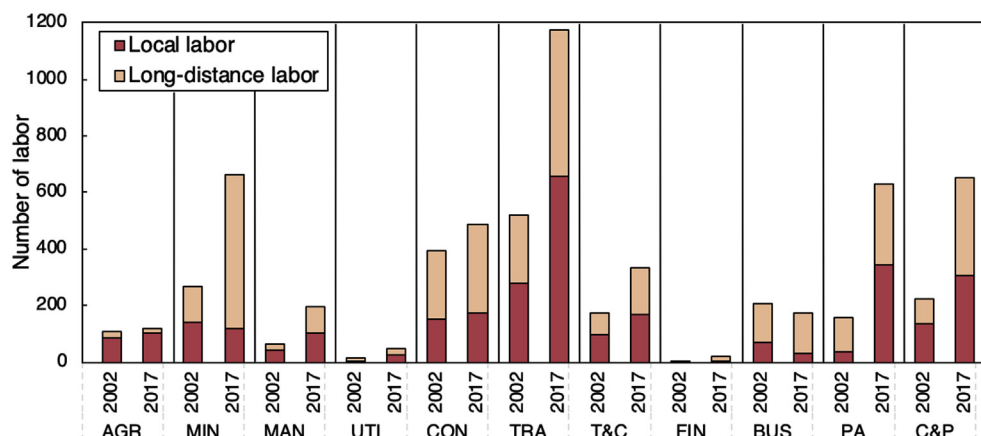


Figura 7.Distribución sectorial de la mano de obra local y de larga distancia en el período 2002 y 2017.

los relacionó con las principales acciones de gobernanza en Chile (Figura 8). A principios de la década de 1990, los movimientos sociales relacionados con la minería de litio eran raros en la SPA, ya que las minas de litio recién comenzaban a operar y eran de pequeña escala. A partir del año 2000, con una serie de permisos de ampliación aprobados y constatadas infracciones ambientales, la conciencia y los movimientos sociales han crecido e intensificado.

Los activistas sociales tenían distintas preocupaciones. La objeción al uso excesivo de agua por la expansión de la producción fue la razón más común de las movilizaciones locales. A los lugareños les preocupaba que la gran cantidad de agua extraída de las operaciones mineras pudiera afectar sus medios de subsistencia al exacerbar la escasez de agua y amenazar el frágil ecosistema del Salar de Atacama. A nivel regional y nacional, las objeciones se dirigieron a la mala conducta de las operaciones mineras, problemas de corrupción e inversiones extranjeras en el negocio del litio. Una de las principales demandas fue volver a nacionalizar la producción de litio.

Además, los movimientos sociales han pasado de lo local a lo nacional desde 2018, impulsados por un nuevo contrato firmado entre la Corporación de Fomento de la Producción de Chile (CORFO) y SQM. El contrato aumenta la cuota de producción a 216.000 ton/año de Li-carbonato hasta 2025 en el Salar de Atacama (Reuters, 2018). Después de la firma, los manifestantes se reunieron en la capital regional, la capital nacional y el local de SPA para expresar sus objeciones. Estos eventos fueron mucho más intensos que en movimientos anteriores. La manifestación de enero de 2019 en Santiago, por ejemplo, atrajo a cientos de manifestantes y fue duramente reprimida por la policía. Desde entonces, la expansión de la minería de Li se ha convertido en un problema nacional como resultado de una mayor conciencia ciudadana y movimientos en todos los niveles.

4.1.5. Iniciativas de responsabilidad social corporativa

Para evaluar la sostenibilidad de largo plazo de las comunidades, analizamos principalmente las divulgaciones de RSE de SQM, que cuenta con registros bastante completos de memorias anuales e informes de sostenibilidad. Debido a la adquisición de Rockwood por parte de Albemarle en 2015, los registros relacionados con los esfuerzos de sostenibilidad de Rockwood son difíciles de rastrear, ya que no se informaron en los informes anuales de Albemarle.

Las divulgaciones sociales de SQM evolucionaron de unos pocos párrafos en el Informe Anual a un Informe de Sostenibilidad independiente. En 2002, las divulgaciones sobre desarrollo comunitario eran ambiguas y se centraban principalmente en ofrecer oportunidades educativas o de investigación. En 2004, se estableció el programa de RSE en la empresa anual

informe con iniciativas clasificadas en: patrimonio histórico, educación, desarrollo social. En 2006, las divulgaciones comenzaron a contener datos, se mencionaron comunidades específicas y se iniciaron programas a largo plazo. En 2010, se emitió el primer informe de sustentabilidad independiente con contenido y estilo de informes más sofisticados. La cantidad de información sobre desarrollo social aumentó cada año, así como los datos y detalles divulgados, aunque todavía eran irregulares.

Tabla 3 resume la aparición de las iniciativas de SQM en desarrollo comunitario en SPA desde 2002 hasta 2018; el cuadro de color indica la presencia de iniciativas en cada año. En particular, incluso con pocos esfuerzos informados antes de 2006, existe una mayor diversidad de RSE. La mayoría de las iniciativas se dirigieron a la educación y el desarrollo social, mientras que la protección del patrimonio cultural fue limitada. Como resultado de los acuerdos establecidos con algunas comunidades, se iniciaron varios programas a largo plazo para apoyar la educación de jóvenes y microempresarios y difundir conocimientos sobre agricultura sostenible. Las iniciativas que pueden ayudar a desarrollar la independencia económica, como la capacitación laboral y el apoyo al turismo, fueron limitadas e inconsistentes. En general, a pesar de una tendencia de mayor sofisticación en el contenido de sus iniciativas de RSE,

4.2. Li-minería e interdependencia comunitaria

Para investigar los impactos de las expansiones de la minería de litio en la sostenibilidad de la comunidad, exploramos el impacto y la trayectoria de respuesta de la minería de litio y las comunidades en función de su interdependencia, y luego analizamos la dinámica de estas trayectorias a partir de las categorías de impacto que examinamos en tabla 1. Clasificamos estas trayectorias desde el marco de la interdependencia (Figura 2) y mostramos cada trayectoria en Figura 9.

La retroalimentación más importante de que la minería de litio afecta los medios de vida locales es a través del consumo excesivo de agua (Figura 9a). Los medios de vida y las actividades locales, en particular la minería y el ecoturismo, consumen recursos hídricos del sistema de agua compartido. La minería podría agotar los recursos hídricos totales y presionar la ya severa escasez de agua del área. La disminución del suministro de agua doméstico, la limitación del crecimiento del turismo e incluso la restricción de la producción minera pueden mitigar las crisis del agua, pero pueden afectar negativamente los ingresos de los medios de vida, lo que puede resultar en una reducción de las inversiones en negocios de ecoturismo, lo que refuerza los impactos negativos en los ingresos de los medios de vida.

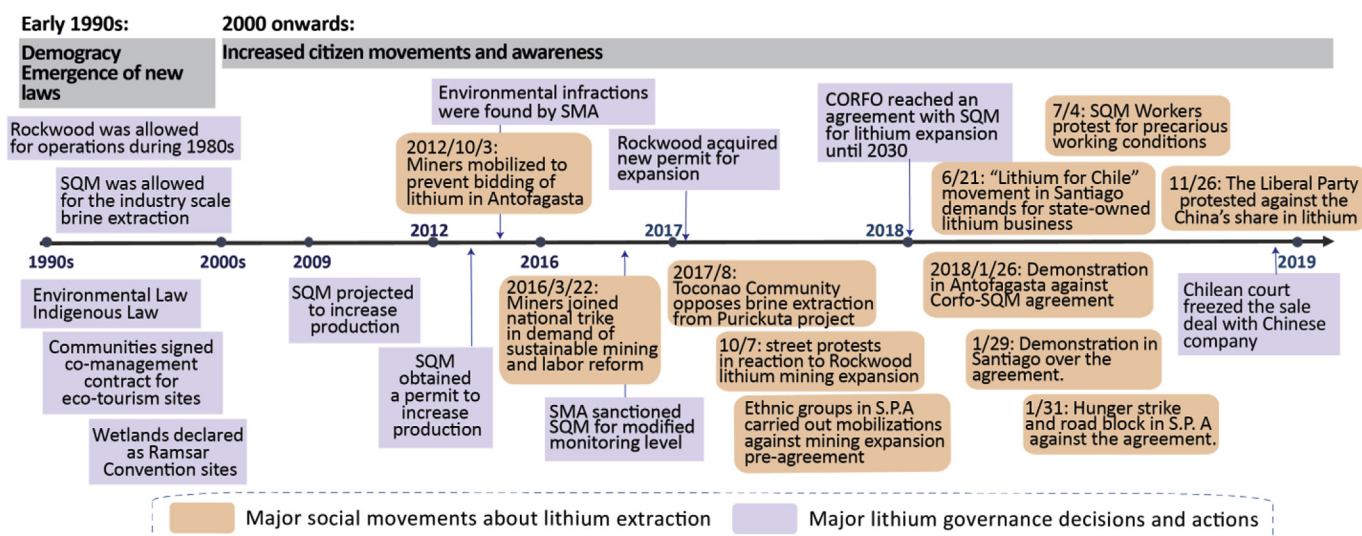


Figura 8. Cronología de eventos de activismo social asociados con la minería de Li en SPA

Tabla 3
Divulgación de iniciativas corporativas para el desarrollo comunitario en SPA Las celdas codificadas por colores indican la actividad reportada en los informes anuales de la compañía.

Corporate efforts in community development		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Cultural Heritage	Cultural exhibit																			
	Assistance to cultural practices																			
	Ancient festival celebration																			
	Culture restore initiatives																			
	Tourism support initiatives																			
Education and Cultural	Math assistance program																			
	Psycho-pedagogical program																			
	Student transport																			
	Extracurricular workshops																			
	Multi-ages games																			
	Field day																			
	Support for cultural initiatives																			
	Christmas celebration																			
Social Development	Educational facility improvements																			
	Technical professional school program																			
	Micro-entrepreneurs' program																			
	Atacama agriculture program																			
	Emergencies restoration																			
	Environmental education																			

La minería proporciona ingresos directos y puestos de trabajo para los medios de vida locales, así como también promueve otras industrias locales a través de vínculos económicos, mejorando indirectamente los niveles de ingresos y puestos de trabajo para las comunidades (Figura 9b). Sin embargo, la participación real de trabajadores locales en la minería y las industrias inducidas por la minería era limitada, lo que restringía los ingresos proporcionados a los medios de vida locales. A pesar de una gran afluencia de mano de obra atraída por la minería, la mayor parte de la afluencia fue de trabajadores que viajaban diariamente, que contribuyeron poco a la economía local. En respuesta, bajo algunas circunstancias, los lugareños pueden vender ilegalmente parte de sus derechos de agua directamente a las empresas mineras para el consumo y la higiene de los mineros, a cambio de ingresos adicionales (Babidge, 2016). Desafortunadamente, esas transacciones estaban mal documentadas, por lo que no se puede evaluar su escala y frecuencia.

En consecuencia, la gobernanza del litio es cada vez más importante para unir las retroalimentaciones de la comunidad minera (Figura 9C). Generalmente, Ligovernance recibe ingresos fiscales de las industrias locales y regula las operaciones de minería y turismo a través de la emisión de permisos, inspecciones ambientales y otras actividades regulatorias. Las empresas mineras suelen realizar la RSE a través de los canales del sistema de gobierno, quien facilita acuerdos minero-comunidad y realiza iniciativas directamente con los lugareños. Los lugareños suelen establecer asociaciones descentralizadas o grupos étnicos para participar en reuniones con los administradores mineros, donde negocian para obtener mejores beneficios. Cuando la tensión social se vuelve feroz, las demandas de participación son ignoradas o los beneficios prometidos se ven afectados, los lugareños deben forzar acciones de gobernabilidad a través del activismo social.

Cabe señalar que las empresas mineras de Li han aumentado y diversificado sus esfuerzos de RSE en los últimos años, pero los movimientos sociales en contra de la minería de Li también han aumentado significativamente. Esta contradicción plantea la pregunta sobre el desempeño real y la eficacia de la RSE por parte de las empresas mineras de Li. Mientras tanto, tal contradicción implica que los beneficios positivos de las empresas mineras de Li (es decir, el estímulo a la economía local, los esfuerzos de desarrollo comunitario, etc.) no fueron

suficiente para compensar los impactos negativos (es decir, consumo excesivo de agua, afluencia de mano de obra, etc.) tal como los perciben las comunidades locales. La disminución de la confianza local en la gobernanza y las empresas mineras, impulsada por la información opaca y la mala implementación de la RSE, puede ayudar a explicar esta contradicción. Según nuestras reuniones con las partes interesadas, la información relacionada con sus medios de vida y el medio ambiente contenida en los informes de seguimiento y evaluación generalmente no se comparte con ellos. Para remediar esto, se deben brindar beneficios como oportunidades de empleo y capacitación a las comunidades como parte de los acuerdos entre las empresas mineras y las comunidades locales.

4.3. Desarrollo de litio en el triángulo de litio

Los debates sobre la extracción de litio en el triángulo del litio se han intensificado a medida que aumentan los intereses globales en tecnologías bajas en carbono. En Chile, los funcionarios estatales perciben el litio como una mercancía banal o como un recurso estratégico que puede usarse como moneda de cambio en la política global (Barandiarán, 2019). También hay miedo a un recurso maldición que la industria del litio devastará los ecosistemas y los medios de subsistencia de las comunidades (Calla Ortega et al., 2014). Apareció un nuevo pensamiento sobre el desarrollo del litio después de la política de litio recientemente recomendada en 2015, donde se promovió el llamado imaginario sociotécnico centrado en el litio. Prevé la transformación de Chile de exportar materias primas a exportaciones de valor agregado como tecnologías solares y energía (Comisión Nacional del Litio, 2015).

Al igual que en Chile, en Argentina y Bolivia, el desarrollo del litio se ha manejado hacia un camino imaginario sociotécnico, donde el control estatal sobre el litio aumenta junto con las inversiones en ciencia, tecnología y nuevas industrias (Barandiarán et al., 2019). Sin embargo, esta vía puede generar impactos más amplios debido a los efectos indirectos, en los que las nuevas industrias dependen no solo de la minería, sino también de la fabricación y los procesos químicos, que podrían ser potencialmente destructivos para el medio ambiente y la sociedad. Bolivia, por

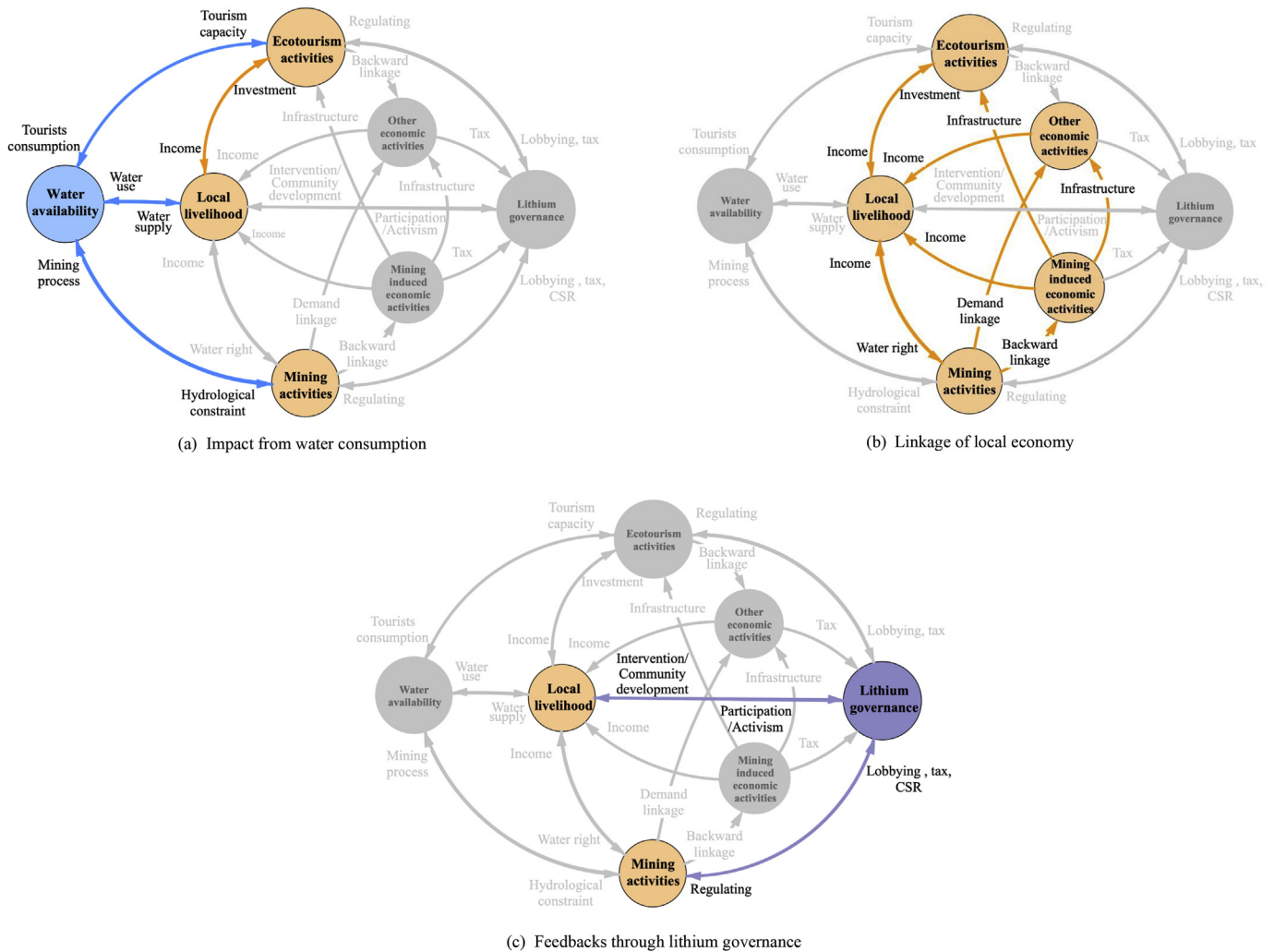


Figura 9. Trayectorias de impacto y respuesta en el marco de la interdependencia minería-comunidad. En cada trayectoria, los elementos y enlaces menos importantes se desdibujan para resaltar las retroalimentaciones cruciales.

por ejemplo, ha construido nuevos laboratorios e instalaciones de fabricación de componentes de baterías. De igual manera en Argentina, junto con la expansión de la producción de litio en al menos 15 salares diferentes desde 2016 (USGS, 2017), otros tipos de minería se tomaron este tiempo para revitalizarse.

Estos países tienen políticas diferentes, y cada uno proyecta un futuro en el que el Estado juega un papel activo en la expansión de la minería. Sin embargo, las evaluaciones de impacto en las comunidades de primera línea nunca se han mantenido al día con la expansión de la industria del litio, sin mencionar los impactos más amplios bajo la nueva visión del litio. Las comunidades cercanas a las operaciones generalmente están ubicadas en áreas rurales donde el estatus social y las condiciones ambientales están mal documentados. Salar de Atacama tiene la mayor disponibilidad de datos, pero aún carece de datos de escala coincidente para generar una medida general de sostenibilidad.

Para estudios futuros, el modelo de interdependencia podría aplicarse a otros sitios y comunidades de minería de litio en el triángulo de litio, que comparten geografía, demografía, historia y cultura similares. Sin embargo, los impactos pueden diferir según las diferentes técnicas mineras y sistemas de gobernanza. Por lo tanto, las investigaciones deben adaptarse a los contextos locales. Además, este estudio examinó principalmente los impactos más preocupantes, pero no incorporó un conjunto completo de impactos, especialmente los impactos que no se pueden medir cuantitativamente, como

cohesión social y espíritus indígenas. Bajo la tendencia mundial de las tecnologías bajas en carbono, junto con la visión sociotécnica del litio en América Latina, se deben abordar sus consecuencias asociadas para lograr un futuro verdaderamente sostenible para la industria y las comunidades.

5. Conclusión

Este estudio investigó la sostenibilidad de las comunidades de primera línea cerca de los sitios de minería de litio en el Salar de Atacama, al examinar los cinco temas más preocupantes derivados de las reuniones de partes interesadas locales: disponibilidad de agua, afluencia de mano de obra, empleo, tensiones sociales e iniciativas de RSE. Nuestro análisis revela algunas contribuciones positivas a los medios de vida locales, pero las tensiones entre las comunidades y las empresas mineras se han intensificado en los últimos años. El examen de los impactos locales en cuestión puede ayudar a explicar estas tensiones. En resumen, nuestro análisis establece que, entre 2002 y 2017, la expansión de las actividades mineras de Li afecta la sostenibilidad de la comunidad de las siguientes maneras:

El agotamiento de la disponibilidad de agua se puede atribuir principalmente a las extracciones de agua de la minería, considerando el agua mínima absorbida por otros usos.

Los flujos migratorios relativamente desequilibrados revelan un número mucho mayor de trabajadores que ingresan a SPA que los que salen. La minería provoca un mayor desequilibrio en los flujos migratorios en comparación con otras industrias.

La minería y las industrias inducidas por la minería en su mayoría emplean trabajadores que viajan diariamente, lo que contribuye a la economía local de manera limitada.

A pesar del aumento de puestos de trabajo proporcionados por la minería, tanto el número de trabajadores locales empleados como su participación en la industria minera se redujeron significativamente.

La RSE de la empresa se vuelve más sofisticada en los informes, mientras que la credibilidad del desempeño real aún está en duda debido a la falta de auditorías independientes.

A pesar de los mayores esfuerzos de RSE, el activismo social contra las expansiones de Limining ha aumentado en intensidad y escala, y se ha movilizado de lo local a lo nacional.

Declaración de competencia de intereses

Los autores declaran que no tienen intereses financieros en competencia ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en el trabajo informado en este documento.

Declaración de contribución de autoría CRediT

Wenjuan Liu: Conceptualización, Metodología, Análisis formal, Investigación, Redacción - borrador original, Visualización. Datu B. Agudinata: Conceptualización, Metodología, Recursos, Investigación, Redacción - revisión y edición, Supervisión.

Referencias

- Agudinata, D., Liu, W., Eakin, H., Romero, H., 2018. Impactos socioambientales de extracción de mineral de litio: hacia una agenda de investigación. *Reinar. Res. Letón*. 13 (12), 123001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae9b1>.
- Aragón, FM, Rud, JP, 2013. Recursos naturales y comunidades locales: evidencia de una mina de oro peruana. *Soy. economía J. Economía. polaco* 5 (2), 1mi25. <https://doi.org/10.1257/pol.5.2.1>.
- Aroca, P., Atienza, M., 2011. Implicaciones económicas de los desplazamientos de larga distancia en la industria minera chilena. *Res. polaco* 36 (3), 196mi203. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2011.03.004>.
- Aryal, K., Thapa, PS, Lamichhane, D., 2019. Revisando la agrosilvicultura para la construcción de comunidades resilientes al clima: un caso de prácticas agroforestales integradas basadas en paquetes en Nepal. *emergente ciencia J.* 3 (5), 303mi311. <https://doi.org/10.28991/esj-2019-01193>.
- Auty, RM, 1997. Dotación de recursos naturales, el estado y estrategia de desarrollo. *J. Int. desarrollo* 9, 651mi663. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1328\(199706\)9:4<651::AID-JID474>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1328(199706)9:4<651::AID-JID474>3.0.CO;2-4).
- Babidge, S., 2016. Valor en disputa y una ética de los recursos: agua, minería e indígenas del desierto de Atacama, Chile. *agosto J. Antropol.* 27 (1), 84mi103. <https://doi.org/10.1111/taja.12139>.
- Babidge, S., Bolados, P., 2018. Neoextractivismo y ritual indígena del agua en salar de Atacama, Chile. *Lat. Soy. Perspectiva.* 45 (5), 170mi185. <https://doi.org/10.1177/0094582x18782673>.
- barandiana n, J., 2019. Litio e imaginarios de desarrollo en Chile, Argentina y Bolivia. *Desarrollo mundial* 113, 381mi391. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.09.019>.
- Calla Ortega, R., Montenegro Bravo, JC, Montenegro Pinto, Y., Poveda A - vila, P., 2014. Un presente sin futuro: el proyecto de industrialización - n del litio en Bolivia. Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA). https://www.ocmal.org/libro_proy_litio_2014_pdf-corregido/. (Consultado el 10 de noviembre de 2019).
- Comisión del Litio, 2015. Litio: Una fuente de energía, una oportunidad para Chile. Gobierno de Chile. https://ciperchile.cl/pdfs/2015/06/sqm/INFORME_COMISION_LITIO_FINAL.pdf. (Consultado el 10 de noviembre de 2019).
- Deetman, S., Pauliuk, S., van Vuuren, D., van der Voet, E., Tukker, A., 2018. Escenarios para el crecimiento de la demanda de metales en tecnologías de generación de electricidad, automóviles y aparatos electrónicos. *Reinar. ciencia Tecnología* 52 (8), 4950mi4959. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05549>.
- Departamento para el Desarrollo Internacional (DFID), 1999. Medios de vida sostenibles y Eliminación de la Pobreza. Departamento para el Desarrollo Internacional, Londres. <http://www.livelihoodscentre.org/documents/20720/100145/Sostenible+medios+de+subsistencia+gui%C3%B3n+de+trabajo/8f35b59f-8207-43fc-8b99-d7f5d3000e86>. (Consultado el 10 de noviembre de 2019).
- Egbue, O., 2012. Evaluación de los impactos sociales del litio para vehículos eléctricos pilas Año del IIE. *Conf. proc.* 2012 1mi7.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2002. Análisis marco: medios de vida sostenibles. <http://fao.org/docrep/007/j2602e02.htm>. (Consultado el 10 de noviembre de 2019).
- Gajardo, G., Rehacer n, S., 2019. Lagos hipersalinos andinos en el desierto de Atacama, norte de Chile: entre la explotación de litio y la conservación de una biodiversidad única. *Conservar ciencia Practica* 1 (9) <https://doi.org/10.1111/csp2.94>. Gemitzi, A., Lakshmi, V., 2018. Evaluación del estrés de las aguas subterráneas renovables con Datos GRACE en Grecia. *Agua subterránea* 56 (3), 501mi514. <https://doi.org/10.1111/gwat.12591>.
- Gruber, PW, Medina, PA, Keoleian, GA, Kesler, SE, Everson, MP, Wallington, TJ, 2011. Disponibilidad mundial de litio. *J. Ind. Ecol.* 15 (5), 760mi775. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00359.x>.
- €ssling, S., 2006. Turismo y agua. En: Ir €ssling, S., Hall, CM (Eds.), *Turismo y Cambio Ambiental Global: Interrelaciones Ecológicas, Sociales, Económicas y Políticas*. Routledge, Abingdon, Reino Unido, págs. 180mi194.
- Hashemi, M., Mazandarani Zadeh, H., Daneshkare Arasteh, P., Zarghami, M., 2019. Impactos económicos y ambientales de los elementos del patrón de cultivo utilizando la dinámica de sistemas. *civ. Ing. J* 5 (5), 1020mi1032. <https://doi.org/10.28991/cej-2019-03091308>.
- Haslam McKenzie, FM, Hoath, A., 2014. The socio-economic impact of mine in- la industria desplaza la mano de obra en las comunidades de origen. *Res. polaco* 42, 45mi52. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2014.09.002>.
- Horsley, J., Prout, S., Tonts, M., Ali, SH, 2015. Indicadores y medios de vida sostenibles para el desarrollo regional en las economías mineras. *extr. Soc. Ind.* 2 (2), 368mi380. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2014.12.001>.
- INE (Instituto Nacional de Estadística de Chile), 2003. Población nacional y vivienda censo redatam-2002. <https://www.inec.cl/estadisticas/censos/censos-depoblacion-y-vivienda>. (Consultado el 13 de julio de 2018).
- INE (Instituto Nacional de Estadística de Chile), 2014. Proyecciones de población - n 2002-2020. INE, Santiago, Chile. <https://www.inec.cl/estadisticas/sociales/demografiay-vitales/proyecciones-de-poblacion>. (Consultado el 1 de agosto de 2019).
- INE (Instituto Nacional de Estadística de Chile), 2018. Población nacional y vivienda censo redatam-2017. <http://www.censo2017.cl/>. (Consultado el 1 de agosto de 2019).
- Jenkins, H., Yakovleva, N., 2006. Responsabilidad social corporativa en la industria minera. Industria: exploración de tendencias en divulgación social y ambiental. *J. Limpio. Pinchar.* 14 (3mi4), 271mi284. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.10.004>.
- Katwala, A., 2018. El creciente costo ambiental de nuestra adición a las baterías de litio. *Cableado*. <https://www.wired.co.uk/article/lithium-batteriesenvironment-impact>. (Consultado el 10 de noviembre de 2019).
- Kitula, AGN, 2006. Los impactos ambientales y socioeconómicos de la minería en medios de vida locales en Tanzania. Un estudio de caso del distrito de Geita. *J. Limpio. Pinchar.* 14 (3mi4), 405mi414. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.01.012>.
- Kotey, B., Rolfe, J., 2014. Impacto demográfico y económico de la minería en zonas remotas comunidades en Australia. *Res. polaco* 42, 65mi72. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2014.10.005>.
- Landerer, FW, Swenson, SC, 2012. Precisión del agua terrestre GRACE escalada estimaciones de almacenamiento. *Recurso de agua. Res.* 48 (4) <https://doi.org/10.1029/2011wr011453>.
- Liu, W., Agudinata, D., Myint, SW, 2019. Patrones espaciotemporales de litio minería y degradación ambiental en el Salar de Atacama, Chile. En t. *Aplicación J. Observación de la Tierra Geoinformación* 80, 145mi156. <https://doi.org/10.1016/j.jtag.2019.04.016>.
- Manson, G., Groop, R., 2000. Migración entre condados de EE. UU. en la década de 1990: personas y los ingresos descienden en la jerarquía urbana. *Prof. Geogr.* 52 (3), 493mi504. <https://doi.org/10.1111/0033-0124.00241>.
- Marazuela, MA, V- aquez-solmimi, E., Ayora, C., García-Gil, A., Palma, T., 2019. La Efecto del bombeo de salmuera en la hidrodinámica natural del Salar de Atacama: la capacidad amortiguadora de los salares. *ciencia Entorno Total.* 654, 1118mi1131. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.196>.
- Martín, G., Rentsch, L., Ho €ck, M., Bertau, M., 2017. Investigación de mercado de litio global la oferta, la demanda futura y la evolución de los precios. *Materia de almacenamiento de energía* 6, 171mi179. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2016.11.004>.
- Molina Camacho, F., 2016. Dinámicas intergeneracionales y desarrollo local: Minería y comunidad indígena en Chiu Chiu, provincia de El Loa, norte de Chile. *Geoforo* 75, 115mi124. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2016.06.015>.
- Montecino, H., Staub, G., Ferreira, VG, Parra, LB, 2016. Monitoreo de aguas subterráneas almacenamiento en el norte de Chile basado en observaciones satelitales y simulación de datos. *Bol. Cie^nc. geod., sec. Artigos, Curitiba* 22 (1), 1mi15. <https://doi.org/10.1590/s1982-21702016000100001>.
- Morrison, T., Wilson, C., Bell, M., 2012. El papel de las corporaciones privadas en la planificación y desarrollo: oportunidades y desafíos para la gobernanza de la vivienda y el uso del suelo. *J. Yeguada Rural.* 28 (4), 478mi489. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2012.09.001>.
- Musavengane, R., 2019. Usando el enfoque de pensamiento de resiliencia sistémica para mejorar gestión colaborativa participativa de los recursos naturales en las comunidades tribales: hacia un turismo al aire libre inclusivo impulsado por la reforma agraria. *J. Recreación al aire libre. Recorrido.* 25, 45mi56. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2018.12.002>.
- OCDE, 2017. Brechas y estándares de gobernanza de la infraestructura pública en Chile. <https://www.oecd.org/governance/budgeting/gaps-and-governance-standards-of-public-infrastructure-in-chile.pdf>. (Consultado el 10 de noviembre de 2019).
- Ostrom, E., 2009. Un marco general para analizar la sostenibilidad de las sistemas ecológicos. *ciencia* 24, 419mi422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>.
- Pegg, S., 2006. Minería y reducción de la pobreza: transformando la retórica en realidad. *J. Limpio. Pinchar.* 14 (3mi4), 376mi387. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.06.006>.

- Pound, B., Snapp, S., McDougall, C., Braun, A., 2003. Gestión de recursos naturales para Medios de vida sostenibles: uniendo ciencia y participación. Earthscan, Londres. Reuters, 2018. ACTUALIZACIÓN 1-Corfo de Chile y SQM llegan a acuerdo en disputa por litio, vol. 17 Publicado en enero. <https://www.reuters.com/article/sqm-arbitration/update-1-chiles-corfo-sqm-strike-deal-in-lithium-dispute-idUSL1N1PC2D6>. (Consultado el 10 de noviembre de 2019).
- Romero, H., Yondez, M., Smith, P., 2012. Desarrollo minero y ambiental. Injusticia en el desierto de Atacama en el norte de Chile. *Reinar. Justicia* 5 (2), 70mi76. <https://doi.org/10.1089/env.2011.0017>.
- Rowe, F., 2013. Movilidad laboral espacial en una economía en transición: migración y Desplazamientos en Chile. Tesis de Doctorado, Facultad de Geografía, Planificación y Gestión Ambiental. Universidad de Queensland, Brisbane, Australia. Rowe, F., 2017. La base de datos de migración interna chilena (CHIM): una marco coherente de datos espaciales para el análisis de la movilidad humana. *Región* 4 (3), 1 mi6. <https://doi.org/10.18335/region.v4i3.198>.
- Sedghamiz, A., Heidarpour, M., Nikoo, MR, Eslamian, S., 2018. Una teoría de juegos enfoque para el modelo de optimización de uso conjunto basado en el concepto de agua virtual. *civ. Ing. J.* 4 (6), 1315. <https://doi.org/10.28991/cej-0309175>. Segura, D., Carrillo, V., Remonsellez, F., Araya, M., Vidal, G., 2018. Comparación de Percepción pública en regiones desérticas y lluviosas de Chile sobre la reutilización de aguas residuales tratadas. *Agua* 10 (3), 334. <https://doi.org/10.3390/w10030334>.
- Seiffert, MEB, Loch, C., 2005. Pensamiento sistémico en la gestión ambiental: apoyo al desarrollo sostenible. *J. Limpio. Pinchar.* 13 (12), 1197mi1202. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.07.004>.
- Shryock, HS, Siegel, JS, 1976. Los métodos y materiales de la demografía. Academia, Nueva York.
- Storey, K., 2001. Fly-in/Fly-out y Fly-over: minería y desarrollo regional en El oeste de Australia. *agosto Geogr.* 32 (2), 133mi148. <https://doi.org/10.1080/00049180120066616>.
- Tran, M., Banister, D., Bishop, JDK, McCulloch, MD, 2012. Realizing the electric-revolución del vehículo. *Nat. Clima Cambio* 2 (5), 328mi333. <https://doi.org/10.1038/nclimate1429>.
- Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), 2017. Mapa de litio de Argentina. Fuentes de datos y notas explicativas. Servicio Geológico de EE. UU., Reston.
- Williams, A., Kennedy, S., Philipp, F., Whiteman, G., 2017. Pensamiento sistémico: una revisión de la investigación en gestión de la sostenibilidad. *J. Limpio. Pinchar.* 148, 866mi881. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.002>.