



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

Metaquímicas del litio

ciencia e interdisciplina desde Salares Andinos a laboratorios de materiales

Gamba, M.; Bonelli, C.

DOI

[10.22199/issn.0718-1043-6659](https://doi.org/10.22199/issn.0718-1043-6659)

Publication date

2025

Document Version

Final published version

Published in

Estudios Atacameños

License

CC BY

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Gamba, M., & Bonelli, C. (2025). Metaquímicas del litio: ciencia e interdisciplina desde Salares Andinos a laboratorios de materiales. *Estudios Atacameños*, 71, Article e6659. <https://doi.org/10.22199/issn.0718-1043-6659>

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, P.O. Box 19185, 1000 GD Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.



Metaquímicas del litio: ciencia e interdisciplina desde Salares Andinos a laboratorios de materiales

Lithium metachemistries: Science and Interdisciplinarity from Andean Salt Flats to Materials Laboratories

Martina Gamba¹  <https://orcid.org/0009-0006-7400-9640>

Cristóbal Bonelli^{2,3}  <https://orcid.org/0000-0001-8109-0789>

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas ROR, ARGENTINA.

 martina.gamba@cetmic.unlp.edu.ar

² Universidad de Amsterdam, Amsterdam ROR, PAÍSES BAJOS.

³ Universidad Diego Portales ROR, Investigador Adjunto. Instituto de Investigación en Ciencias Sociales, Facultad de Ciencias Sociales e Historia. CHILE.

 c.r.bonelli@uva.nl

Resumen

En un planeta en calentamiento, el uso de baterías de iones de litio para almacenar energía eléctrica está en auge: los salares andinos son testigos de un número creciente de proyectos de extracción de litio, mientras que en laboratorios de química de todo el mundo se trabaja para generar materiales más eficientes que mejoren las actuales tecnologías. En este contexto, y fruto de una alianza entre un antropólogo chileno y una química argentina, buscamos conectar parcialmente nuestras prácticas disciplinares, y los salares y laboratorios donde trabajamos. Inspirándonos en la filosofía metaquímica de Gastón Bachelard, mostramos cómo las prácticas científicas alineadas con intereses industriales y promesas tecnocientíficas de descarbonización convierten, o realizan al litio, como un recurso homogéneo, desarraigado de la historia planetaria. Sugerimos que esta “metaquímica del recurso” descarta aquellos conocimientos que explicitan la genealogía del litio y su vínculo con la evolución geoquímica de la Tierra, es decir, descarta la “metaquímica de tiempo profundo”. Así, proponemos una ciencia situada y lenta que reconozca nuestra dependencia de la Tierra como condición necesaria para imaginar un futuro ancestral desde salares y laboratorios, intentando así desafiar las promesas mesiánicas de la tecnología moderna y la mirada universalista de la ciencia moderna.

Palabras clave: litio, conocimiento situado, ciencia lenta, salares andinos, interdisciplina.

Abstract

In a warming planet, the use of lithium-ion batteries to store electrical energy is booming: the Andean salt flats are witnessing a growing number of lithium extraction projects, while chemistry laboratories around the world are working to develop more efficient materials to improve current technologies. In this context, and as the result of an alliance between a Chilean anthropologist and an Argentinean chemist, we seek to partially connect our disciplinary practices, and the salt flats and laboratories where we work. Drawing on Gaston Bachelard's metachemical philosophy, we show how scientific practices aligned with industrial interests and technoscientific promises of decarbonisation make lithium a homogenous resource, uprooted from planetary history. We suggest that this ‘metachemistry of the resource’ dismisses forms of knowledge that foreground lithium's genealogy and its link to the geochemical evolution of the Earth, that is, it rules out the ‘metachemistry of deep time’. Thus, we propose a slow, situated science that acknowledges our dependence on the Earth as a necessary condition for imagining an ancestral future from salt flats and laboratories, thus attempting to challenge the messianic promises of modern technology and the universalistic gaze of modern science.

Keywords: lithium, situated knowledge, slow science, Andean salt flats, interdisciplinary studies.

Recibido: 08 octubre 2024 | Aceptado: 24 febrero 2025

Introducción

En un planeta que enfrenta un continuo calentamiento, el uso de baterías de iones de litio para el almacenamiento de energía eléctrica se encuentra en constante crecimiento. La promesa de descarbonización mediada por estos dispositivos impulsa una necesidad de minerales que asciende exponencialmente: en 2022 la demanda de litio superó a la oferta (como en 2021), a pesar del aumento del 180% en la producción desde 2017 (Agencia Internacional de Energía [AIE], 2023). Y como toda promesa, moviliza dimensiones técnicas y dimensiones relativas al orden social, en el marco de una construcción de futuro (Kreimer, 2021). Sin embargo, esta noción de futuro de emisiones netas igual a cero se asienta en “viejas” desigualdades: las regiones beneficiarias de la transformación socio-técnica no coinciden con los lugares desde donde el litio es extraído, y suelen más bien sufrir un deterioro ecosistémico y social (Bonelli y Dorador, 2021; Fornillo et al., 2024; Lorca et al., 2023).

La transformación de la Tierra a gran escala, desencadenada desde la extracción colonial de recursos naturales de América Latina, no ha cesado (Galeano, 1971; Gudynas, 2018; Svampa, 2019). Por el contrario, la región sigue “sometida a un proceso violento de conquista continuada” (Lander, 1996, p. 127). Más aún, “la explotación de la naturaleza objetivada como un otro externo a la experiencia humana nos está conduciendo de forma acelerada hacia la destrucción de las condiciones que hacen posible la vida en el planeta Tierra” (Lander 1996, p.127). Diversos autores señalan la complicidad básica de la ciencia y del modo de producción de conocimiento, con sus pretensiones de objetividad y universalidad, con el proceso histórico de imposición colonial-imperial del modelo de vida (Anzaldúa, 1987; De Sousa Santos, 2010; Dussel, 1980; Hernandez Castillo, 2008; Kusch, 2020; Lander, 2005; Quijano, 2000; Rivera Cusicanqui, 2010; Segato, 2013). El «objeto» del conocimiento en la doctrina de la objetividad científica es pasivo e inerte, y construye versiones de un mundo «real» bajo la lógica del «descubrimiento», donde la naturaleza “es sólo la materia prima de la cultura, apropiada, reservada, esclavizada, exaltada o hecha flexible para su utilización por parte de la cultura en la lógica del colonialismo capitalista” (Haraway, 1995, p. 24). Este modo de conocer en la ciencia tecnológica moderna, identificado como «recursar» por Zoé Sofoulis (en Haraway, 1995), homogeneiza todo el cuerpo del mundo como un recurso para sus proyectos instrumentalistas. En contraste, reconocer las perspectivas parciales y situadas de ciencia implica asumir que toda producción de conocimiento científico está atravesada por dimensiones éticas y políticas. Este reconocimiento nos permite abordar a los «objetos» como agentes activos dentro de un mundo heterogéneo y, desde allí, construir una objetividad encarnada y relacional en las ciencias (Haraway, 1995).

En un momento histórico en el que el litio se promulga como un mineral crítico para la transición energética, y cuando, según el Servicio Geológico de Estados Unidos,

cerca del 67 por ciento de las reservas mundiales de litio, que abastecen aproximadamente la mitad de la demanda mundial, se sitúan en Argentina, Bolivia y Chile (Lopez-Calva, 2022), problematizaremos la producción de ciencia y tecnología en relación al litio, en particular poniendo atención en cómo se *realiza* la materialidad química del litio (Bachelard, 1968) de forma situada, ya sea en los Salares Andinos como en laboratorios de química donde trabajamos. No estamos pensando en relativizar el contenido empírico de las llamadas "ciencias duras" -que en esa denominación no hacen más que profundizar su posición de "intocables" en la construcción de la ciencia moderna (Badagnani y Knopoff, 2016)- sino más bien de problematizar el lugar de "verdad definitiva" que construyen, por vía de la ideología cientificista, una mirada universal desencarnada y deslocalizada, que prescinde del punto de vista del sujeto. En nuestros tiempos, esta objetividad también moviliza la urgencia impuesta por la crisis climática, desviando la atención de cuestionar críticamente el universalismo tecnológico que perpetúa desigualdades y homogeniza la diversidad epistémica. Como modo de responder críticamente a esta tendencia, aquí recuperamos la percepción de nosotros-hacedores de ciencia.

Guiados por nuestro compromiso de larga data de crear alianzas con "el poder de hacer que las personas preocupadas piensen y actúen juntas" (Stengers, 2018a, p. 93), este trabajo es uno de los resultados emergentes de una alianza experimental que creamos entre un psicólogo y antropólogo chileno (Cristóbal) y una química argentina (Martina) y, mostramos la importancia y fertilidad conceptual de trabajar a través de una *conjunción de visiones parciales* (en el sentido de Haraway), orientada a la construcción de conocimientos alternativos a los impuestos por la promesa de descarbonización tecnológica. Inspirándonos en las preocupaciones de la antropóloga Marina Weinberg sobre las gramáticas extractivistas del litio, sobre la importancia de las materias que "se eligen, se romantizan, se recuperan, se cuidan [e] incluso se reparan, para dar la ilusión de una transición energética limpia" (Weinberg, 2023, p. 12) y en la insistencia de Haraway (2016) de que "importa qué materiales usamos para pensar otras materiales" (p. 12), argumentamos que sí importa el cómo estabilizamos (o realizamos, para usar a Bachelard), la materialidad del litio cuando intentamos pensar y proponer futuros más sustentables. Creemos que nuestras producciones discursivas y perspectivas del mundo están marcadas por la geopolítica y la corporopolítica (Hernández Castillo, 2008). Esto significa que nuestra percepción del mundo está determinada por la materialidad de nuestros cuerpos, que no sólo se encuentra situada en un contexto geográfico y temporal, sino también en una cultura y una episteme específicas (Hernández Castillo, 2008). "Ocupar un lugar implica responsabilidad en nuestras prácticas" (Haraway, 1995, p. 17), por lo que escribimos posicionados, conscientes de la colonialidad del saber que opera también en nosotros mismos, y apostando por una alianza afectiva (Krenak, 2022) y responsable.

Comencemos entonces esbozando las historias y situaciones que motivaron este trabajo colaborativo. Cristóbal lleva más de ocho años investigando, desde una perspectiva antropológica, las prácticas extractivistas del litio, vinculadas a proyectos tecno-optimistas globalizadores destinados a descarbonizar el planeta. Desde 2020, gracias a la financiación del Consejo Europeo de Investigación, Cristóbal ha reunido a un equipo de antropólogos que han estudiado la sustitución tecnológica de los motores de combustión por baterías de iones de litio¹. Juntos han rastreado el litio desde los lugares de extracción en Chile, uno de los mayores productores de litio; hasta el uso generalizado de baterías de iones de litio en el sector del transporte en China, uno de los principales productores de baterías de iones de litio; y hasta las prácticas, materiales e industrias de reciclaje de baterías de iones de litio gastadas en Noruega, un país que está a la vanguardia de la adopción de vehículos eléctricos. En este artículo, nos centramos en el trabajo etnográfico de Cristóbal en Chile, su país natal.

Desde 2017, Martina ha estado inmersa en la investigación del litio principalmente en Argentina, trabajando como química, pero también involucrándose con científicos sociales en una colaboración interdisciplinaria. Su trabajo actual se lleva a cabo en un instituto científico de CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina) y la Universidad Nacional de La Plata. Aquí, Gamba se ha dedicado al estudio de materiales conductores de litio, colaborando con grupos especializados en electroquímica preocupados por la evaluación de estos materiales en baterías de iones de litio. Además, Martina es miembro del Grupo de Estudio de Geopolítica y Bienes Comunes (GYBC)², un colectivo argentino que analiza las dinámicas geopolíticas del litio y los procesos de transición socioecológica, particularmente en Sudamérica. Desde 2020 forma parte del Foro Interuniversitario de Especialistas en Litio de Argentina³, que reúne 30 líneas de investigación con el objetivo de crear colaboraciones interdisciplinarias, organizar congresos, generar material educativo, intervenir en proyectos legislativos, etc.

Este artículo se puede pensar como una continuación de nuestro trabajo anterior dentro de los campos extractivistas del litio en Sudamérica (Bonelli y Dorador, 2021; Fornillo y Gamba, 2019; Weinberg y Bonelli, 2021; Zícari et al., 2019), pero no se puede entender sin considerar que, más allá de nuestras trayectorias académicas, fue la sensibilidad por las transformaciones sociales y materiales que la extracción del litio está dejando en nuestros territorios (Bonelli y Dorador, 2021; Fornillo y Gamba, 2019; Slipak y Argento, 2022) y nuestro compromiso político e intelectual, lo que nos llevó a trabajar juntos y a intentar articular, y conectar parcialmente, las diferentes visiones y metodologías inherentes a nuestras prácticas disciplinares.

¹ Véase www.worldsoflithium.eu

² Véase geopolcomun.es

³ Véase en <https://forolitio.cin.edu.ar/>

Nuestro trabajo se inspira en la filosofía metaquímica propuesta por Gaston Bachelard (1968), según la cual "las verdaderas sustancias químicas son productos de la técnica más que cuerpos que se encuentran en la realidad" (p. 45). La propuesta de Bachelard de que "lo real en química es una realización" (Bachelard 1968, p. 46), resuena con las reflexiones de Bruno Latour sobre las sustancias (Nordmann, 2006). Para Latour (1999) la palabra sustancia "no designa lo que 'permanece debajo', *impermeable a la historia*, sino lo que reúne una multiplicidad de agentes en un todo estable y coherente... sustancia es un nombre que designa la estabilidad de un ensamblaje" (p. 151, cursiva nuestra). Así, en este trabajo pensamos en el litio como una sustancia química que emerge en los Salares Andinos y laboratorios de química como productos de las técnicas a través de prácticas y procedimientos específicos y situados. Lejos de la ambición *universalista* de la química moderna, proponemos una analítica del litio basada en metaquímicas distintas (sentido Bachelard) que se expresan de diferentes maneras en los mundos del litio en los que trabajamos. Esta propuesta no significa relativizar, desde una perspectiva humano-céntrica, el poder individual que el litio tiene para operar en sus propios términos, de acuerdo a sus afinidades, a sus "poderes específicos para descomponerse y entrar en nuevas composiciones" (Stengers, 2021 p. 23). Por el contrario, buscamos mostrar que hay diferentes formas de problematizar la materialidad del litio (Blok y Jensen, 2019), y que estas diferentes formas de problematizar su individualidad -vinculadas a diferentes metaquímicas- no sólo tienen profundas implicaciones sobre cómo pensamos nuestros posibles futuros, sino también sobre el tipo de respuestas que podemos generar en nuestro compromiso con las materialidades del litio y sus interdependencias. En este trabajo proponemos dos metaquímicas para pensar estos problemas, conscientes de que las realizaciones metaquímicas no son cuantificables, y que son estabilizaciones que pueden adoptar variadas formas.

La primera es una metaquímica del recurso, asociada a la promesa tecnocientífica de la era pos-fósil, que promete un mundo traccionado a "energías limpias". Esta metaquímica estabiliza (sentido latouriano) el litio como el metal más ligero de la tabla periódica y, por tanto, el más adecuado para fabricar baterías con la mayor densidad energética. Al "recursar" el litio, sus átomos se homogeneizan desarraigándolo de la historia planetaria: no importa su situación geográfica o geológica, sólo cuentan sus propiedades fisicoquímicas, aquellas que lo convierten en el elemento "clave" para las tecnologías de almacenamiento de energía.

Si dentro de la lógica ecomodernista ligada al capitalismo posfósil, el litio se produce como un reactivo químico "despojado de su historia natural, de las circunstancias de su producción y de las técnicas que intervinieron en su extracción" (Bensaude-Vincent y Simon, 2012, p. 70), situarlo nos permite entenderlo como agente/actor (Haraway, 1995), entender el poder individual que tiene para operar en sus propios términos, de acuerdo con sus afinidades. Desde esta perspectiva,

proponemos la noción de una segunda metaquímica, que denominamos “de tiempo profundo” y que, no determinada por la lógica del recurso químico al servicio de una transición energética unívoca, es capaz de aparecer a través de la genealogía material de los reinos subterráneos y andinos, y sus largos tiempos evolutivos. Veremos más adelante que esta metaquímica de tiempo profundo nos permite imaginar, inspirados en el escritor, activista y filósofo indígena Ailton Krenak, un Futuro Ancestral (2022), que se expresa en el momento presente en cuanto el pasado evolutivo de la Tierra existe en el aquí y el ahora.

El trabajo se dividirá en tres secciones: en la primera vamos a situar al litio en la historia evolutiva de la Tierra, y particularmente de los Andes Sudamericanos, y en las subsiguientes, analizaremos cómo estas dos metaquímicas se realizan en los escenarios en donde trabajamos: los Salares Andinos y los laboratorios de química.

Situando al litio: una realización metaquímica de tiempo profundo

Más de la mitad de los yacimientos de litio identificados en el mundo se encuentran en los paisajes áridos y sobrenaturales de los salares de gran altitud de Sudamérica, entre las cordilleras andinas de Chile, Argentina y Bolivia. Aunque el litio abunda en otras partes del planeta, su extracción en Sudamérica presenta ventajas económicas: extraerlo de las salmueras subterráneas es más barato que explotar los yacimientos de roca dura que se encuentran en lugares como Australia. Por ello, la consolidación de las tecnologías de almacenamiento de energía basadas en el litio está dando lugar a proyectos mineros cada vez más controvertidos en esta región (Jerez et al., 2021; Weinberg, 2023). Como veremos a continuación, la presencia del litio en estas localidades, está intrínsecamente ligada a la historia evolutiva de nuestro planeta. Su origen se remonta a los primeros momentos del universo y su distribución en la tierra ha estado determinada por complejos procesos astrofísicos y geoquímicos.

El Sistema Solar surgió 8 millones de años después de la gran explosión (conocida como Big Bang) que creó la materia y la energía del Universo, a partir de una enorme nebulosa compuesta esencialmente de hidrógeno, helio y cantidades menores de litio, únicos vestigios atómicos del Big Bang (Woolfson, 1993). En el proceso de formación del Sol, la gravedad provocó el colapso de gas y el polvo, concentrando la mayor parte de la masa en su núcleo. Las reacciones de fusión nuclear comenzaron a liberar enormes cantidades de energía, dando lugar a la luminosidad y el calor solar que perduran hasta la actualidad. A medida que el sistema evolucionaba, los elementos más volátiles se desplazaron hacia las regiones externas, formando los planetas gaseosos, mientras que los materiales refractarios, como los óxidos metálicos, se condensaron en las zonas interiores, dando origen a los planetas rocosos, incluida la Tierra (Woolfson, 1993).

La composición de la Tierra se explica por esta historia sumada a otros eventos que adicionaron elementos del medio interestelar, como el impacto de cometas y meteoritos (Toselli, 2009). Este origen explica la presencia mayoritaria de siete elementos que constituyen el 97% de la masa terrestre (oxígeno: 50,7; magnesio: 15,3; hierro: 15,2; silicio: 14,4; azufre: 3,0; aluminio: 1,4 y calcio: 1,0) donde el litio representa apenas un 0,002%. Los materiales densos, hierro y níquel y otros óxidos pesados se concentraron en el centro. El colapso gravitacional calentó lo suficiente el planeta para iniciar la fusión de todos los materiales, por debajo de una corteza sólida, que se enfrió por radiación de calor hacia el espacio. Con el comienzo de la fusión, la movilidad dentro de la Tierra se incrementó. Porciones densas de fundidos se movieron hacia abajo y las más livianas hacia arriba. A partir de entonces, con el enfriamiento del planeta sobrevino un proceso de diferenciación que separó a la Tierra en capas controladas por la densidad y las afinidades químicas de los elementos que las forman (Toselli, 2009).

Considerando esta historia evolutiva, el investigador suizo Victor Goldschmidt, sentó las bases de la geoquímica moderna, concibiendo la Tierra como laboratorio químico para entender la distribución de los elementos (Goldschmidt, 1970). Goldschmidt clasificó los elementos según sus afinidades químicas en litófilos (afines al oxígeno y predominantes en las rocas), siderófilos (afines al hierro, tendientes a concentrarse en el núcleo) y calcófilos (afines al azufre) (Figura 1). El litio, como su nombre sugiere, pertenece al grupo litófilo, lo que explica su presencia en la corteza terrestre y su acumulación en minerales de baja densidad.

		Clasificación de Goldschmidt en la tabla periódica																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Grupo →	Periodo ↓																			
1	1	H																	2	He
2	2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
3	3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
4	4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	6	Cs	Ba	*	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	7	Fr	Ra	**	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og
				*	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb		
				**	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No		

Clasificación de Goldschmidt: Litófilos (naranja), Siderófilos (rojo), Calcófilos (amarillo), Atmósfilos (verde), Sintéticos (gris)

Figura 1. Clasificación de Goldschmidt en la tabla periódica.

Nota. Clasificación geoquímica de Goldschmidt, por BarujF, 2021, Wikipedia Commons. (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Clasificación_de_Goldschmidt.png). Bajo licencia CC BY-SA 4.0.

El comportamiento geoquímico del litio determina su movilidad en distintos entornos. Su capacidad para disolverse en agua a través de procesos de meteorización (es decir, descomposición de rocas y minerales en la superficie de la Tierra) y la circulación hidrotermal facilitan su transporte. En los salares andinos, su concentración está relacionada con su presencia en rocas ignimbríticas, andesitas y arcillas esmectíticas, abundantes en la región, y su disolución en aguas termales magmáticas. A lo largo de millones de años, la aridez extrema de estas regiones permitió la evaporación del agua y la posterior acumulación del litio en los acuíferos subterráneos de los salares (Pimentel, 1976; García et al., 2020).

Esta perspectiva metaquímica del tiempo profundo nos permite comprender el litio más allá de su valor como recurso. Su existencia en depósitos “accesibles” para las narrativas de la transición energética es el resultado de procesos geológicos de larga duración. En la próxima sección, situada en el Salar de Atacama, donde Cristóbal ha realizado trabajos etnográficos y residido intermitentemente desde 2015, mostramos cómo la historia evolutiva del litio es desplazada, o se vuelve *implícita* (E. Hepler-Smith & S. Sawyer, comunicación personal, 2024), por la metaquímica *del recurso* y sus tecnologías y gramáticas extractivistas.

Metaquímicas del litio en el Salar de Atacama

En los últimos años, Cristóbal ha realizado varias visitas a un lugar llamado Aguas de Quelana, al borde del Salar de Atacama, en el norte de Chile, donde se encuentra uno de los mayores yacimientos de litio de la región y del mundo. Este lugar es conocido entre los habitantes del desierto por sus lagunas y por haber sido un lugar habitado por flamencos.

En términos hidrogeológicos, estas lagunas surgen donde el agua dulce procedente de la cordillera se encuentra con el agua salada subterránea del Salar. El abrupto cambio de pendiente en esta zona y la colisión de agua dulce y agua salada densa hace que surjan estos sistemas lacustres, generando una zona fronteriza entre el agua dulce y el agua salada del Salar. Estos flujos subterráneos fueron parte inherente de los antiguos procesos que formaron el Salar. Las escalas temporales geológicas son difíciles de imaginar, el agua de las montañas se infiltró gradualmente en terrenos porosos a lo largo de millones de años, convergiendo en una cuenca cerrada que antaño estuvo por debajo del nivel del mar. En la actualidad, esta región se encuentra a más de 2.000 metros sobre el nivel del mar, tiene tasas de precipitación muy bajas, es extremadamente árida y está formada por una cuenca endorreica (cerrada) en la que la poca agua disponible fluye hacia la zona central, por ser topográficamente la más baja. Al descender con el tiempo, el agua de la montaña fluyó hacia las partes más profundas, disolviendo elementos que la química moderna denomina sodio, potasio, litio, entre otros. Estos iones viajaron diluidos en el agua

hasta el fondo de la cuenca, disolviéndose y precipitándose a lo largo de millones de años para formar estos sistemas evaporíticos. Este descenso milenario ha favorecido la acumulación de salmueras subterráneas en el subsuelo del Salar de Atacama, y en la Puna Altiplánica de Argentina.

Activistas, geólogos, atacameños e investigadores coinciden en que, una de las maneras para ver el impacto de la minería del litio en Atacama, es fijarse en los sistemas lacustres de los bordes orientales del Salar (Figura 2). Así lo confirmó un habitante del Salar, a quien llamaremos Felipe quien, en conversación con Cristóbal en marzo de 2017, señaló que el agua dulce "que bajaba subterráneamente desde la cordillera, y que llegaba aquí formando lagunas, ya no está" (comunicación personal, 2017). Tras señalar un pozo de agua dulce del polígono industrial de litio más cercano, Felipe agregó:

tenemos claro lo que pasó... estas lagunas han sido secadas por las industrias mineras de litio... la gente del Salar está muy preocupada porque al bajar los niveles de agua, los flamencos se están yendo... lo que significa que los turistas que generan ingresos para la población local podrían dejar de venir. (Cristóbal, comunicación personal, 2017)

Felipe asocia así la extracción de litio del salar con la desaparición de las lagunas de Quelana.

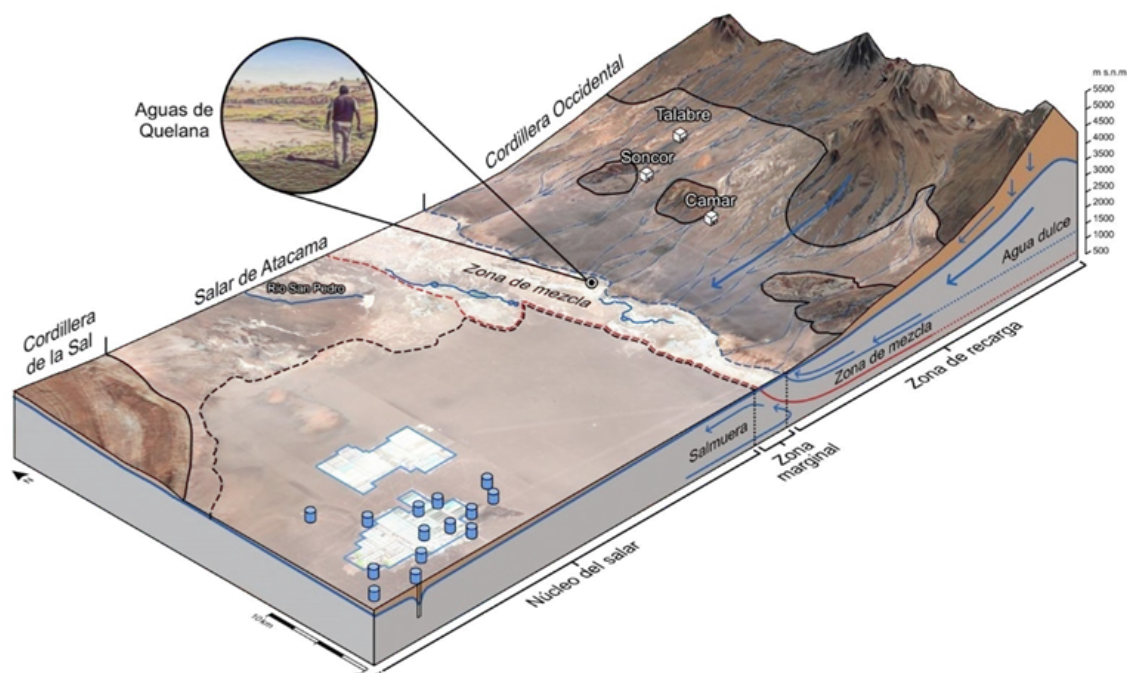


Figura 2. Ilustración del salar de Atacama

Además, las Aguas de Quelana, donde Felipe llevó a Cristóbal por primera vez en 2017, son una zona liminar entre el territorio indígena atacameño y lo que los geólogos llaman el núcleo del salar, que es donde actualmente se bombean las salmueras subterráneas con alta concentración de litio. Determinar la (presunta)

permeabilidad o impermeabilidad de esta zona, que define si las salmueras subterráneas de litio están conectadas o no con las lagunas de Quelana, es importante para adjudicar responsabilidades por daños ambientales⁴. De hecho, desde que Felipe compartió sus reflexiones sobre las lagunas de Quelana en marzo de 2017, esta zona liminar se ha convertido en un polo de atracción inusitado para investigadores europeos y estadounidenses que visitan Atacama durante unas semanas -o incluso días- en busca de "pruebas rápidas" que puedan movilizar en sus futuras publicaciones preocupadas por la extracción de litio.

Por ejemplo, en marzo de 2023, un equipo de investigadores nórdicos solicitó una reunión con Cristóbal y el equipo de académicos residentes en San Pedro de Atacama que han colaborado y apoyado permanente su trabajo a lo largo de los años. El objetivo de la reunión era pedirles ayuda para obtener muestras químicas de las aguas del Salar para ser analizadas en Europa por científicos interesados en el deterioro ambiental del Salar asociado a la extracción de litio. En esa reunión, Cristóbal y sus colaboradores trataron de explicar que la obtención de una muestra en territorio atacameño podía demorar años, porque dependía de la autorización del Consejo de Pueblos Atacameños, y de las comunidades involucradas y sus intereses⁵. La geóloga del grupo, sin embargo, se resistió a entender esta lógica, argumentando que su objeto de estudio "era todo el planeta", y que sus resultados podrían tener un impacto "global" (comunicación personal, 2023).

Justo cuando la conversación se ponía interesante, y cuando Cristóbal y su equipo de colaboradores problematizaban esta premisa, invitando con humor a la geóloga a plantearse estudiar las controversias sobre la transición energética en su propio país, la geóloga pidió que la excusaran, y se marchó. La razón de su precipitada partida fue que uno de sus asistentes había contactado a un habitante atacameño que conocía las Aguas de Quelana, y que, por un precio, había accedido a llevarlos al lugar solicitado.

En estos hechos, podemos identificar algunas de las características de lo que Isabelle Stengers denomina ciencia rápida: impulsada por los imperativos de la economía del conocimiento –que, como ella dice, podría denominarse mejor "la economía especulativa de las promesas" (Stengers, 2018a, p. 54)- su objetivo principal es producir resultados que puedan aplicarse rápidamente, a expensas de una comprensión más profunda y situada de los problemas investigados. La ciencia rápida favorece la creación de "promesas" es decir, de una "obligación moral de entregar algo

⁴ Además, en el Salar de Atacama, a través del monitoreo de datos InSAR de SAOCOM-1, se han documentado otras transformaciones como la subsidencia de hasta 2.5 cm en áreas cercanas a los pozos de extracción de litio, vinculada a la disminución de los niveles de los acuíferos (Delgado et al., 2024). En el Salar de Quisquiro, otra investigación ha documentado recientemente cómo la expansión de la minería de litio amenaza a los humedales de altura, fundamentales para el equilibrio ecológico y cultural de la región (Aránguiz-Acuña et al., 2024).

⁵ Vease <http://www.lickanantay.com/#!/-organizacion/>

en el futuro”, que no significa dejarle algo “al Estado o la sociedad” (o a “todo el planeta” usando las palabras de la geóloga de nuestra historia), sino por el contrario, el cumplimiento o el logro de dichas promesas sería, al mismo tiempo, el de la consolidación, fortalecimiento o construcción de la legitimidad del “campo o especialidad de la ciencia proponente” (Kreimer, 2021, p. 15). En otras palabras, en nombre del progreso se moviliza el avance del conocimiento como fin en sí mismo (Stengers, 2018a, p. 127). Las categorías “objetivas” que guían este tipo de práctica científica son, para usar las palabras de Stengers (2018a), “las mismas que son relevantes para el desarrollo industrial, ya que ambos coinciden en ignorar el mismo tipo de complicaciones” (p. 117). En este contexto particular, el tiempo del proceso de discusión de las comunidades atacameñas asociado al pedido de los geólogos, es una “complicación” que debe ignorarse. De igual modo, los gobiernos provinciales que rigen la actividad minera del litio al lado Argentino de la cordillera, “ignoran”, por ejemplo, los tiempos establecidos, en el protocolo “Kachi Yupi” (‘huellas de sal’ en quechua, Mesa de Pueblos Originarios de la Cuenca de Salinas Grandes y Laguna de Guayatayoc, 2015) para el procedimiento de consulta y consentimiento previo, libre e informado elaborado por y para las comunidades Kolla y Atacama de la Cuenca de Salinas Grandes y Laguna de Guayatayoc, para tomar decisiones acorde a su historia cultural (Argento y Zícari, 2018; Slipak y Argento, 2022).

La ciencia rápida separa a los científicos de su capacidad de pensar, imaginar y conectar, definiendo cualquier cosa que los ralentice como secundaria, ya que lo que se ralentizaría es el progreso, y en este caso, la descarbonización tecnológica que, eventualmente, nos salvará. Además, “la ‘verdadera ciencia’ publica en revistas prestigiosas ‘hechos’ que se extraen brutalmente de sus contextos y se interpretan como testimonios del poder explicativo general de selección” (Stengers, 2018b). Estos “hechos” objetivos y medibles, contruidos por la ciencia rápida, niegan simultáneamente el carácter de *agencia* de los objetos de conocimiento y la posición del sujeto “conocedor”, características que se conjugan en las ciencias y tecnologías del litio que lo estabilizan como “recurso”.

Pero volviendo al Salar, nos interesa explorar cómo se realiza esta metaquímica del recurso a escala industrial. De hecho, las industrias del litio se refieren al núcleo del Salar como el “lugar del recurso”, diferente del “lugar de conversión”, donde el litio se trata para producir compuestos químicos, como carbonato de litio o hidróxido de litio, y también diferente del los “*off sites*”, un lugar empírico y conceptual definido por las industrias extractivas como ausente de recursos y procesos productivos (Weinberg, 2023). Lo que nos concierne aquí es el “lugar del recurso”, un depósito subterráneo profundo en el que yacen disueltas bajo el agua diversas sales y complejas relaciones de iones, a la espera de ser bombeados y, en última instancia, aislados o realizados (por hacer referencia a la terminología de Bachelard) en compuestos puros, aislados y desarraigados.

La gramática del "lugar del recurso" funciona a través de tecnologías y definiciones particulares. Las máquinas de perforación con diamante, los pozos de bombeo de salmuera con motor diésel que llegan hasta 200 metros bajo tierra y las piscinas de salmuera que reciben la salmuera de los pozos se utilizan para poner el salar "a trabajar" (Daggett, 2019), representando el acuífero del salar como una "caja de depósito químico" o "sopa de iones" (formada por la cuenca y sus flujos subterráneos). De esta caja se extrae la salmuera subterránea como recurso. Las tecnologías utilizadas para extraer el litio como recurso también incluyen: pozos que reciben salmuera con una mayor concentración de litio y dejan tras de sí cultivos de sal (bischofita, halita, carnallita de litio y silvinita, entre otros); tuberías de conexión entre pozos; modelos conceptuales y numéricos alimentados por cartografía estratigráfica; y otras herramientas de análisis hidrogeológico (Figura 3).

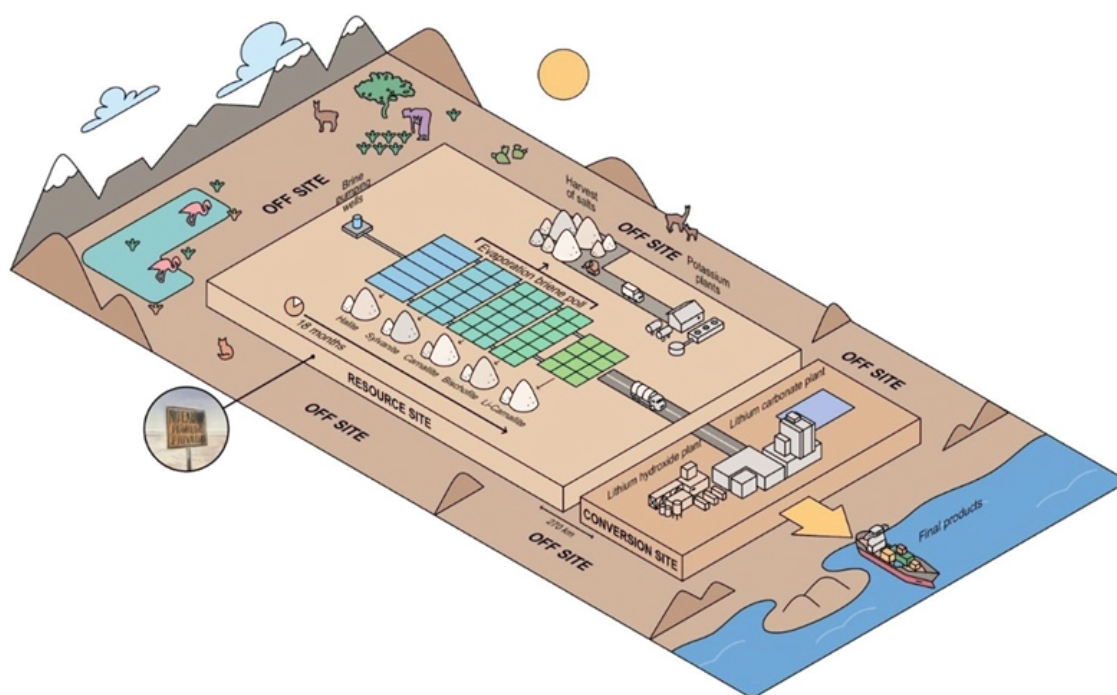


Figura 3. Ilustración de la gramática extractiva del litio

Todas estas técnicas se entrelazan con definiciones del proceso de extracción como "natural" porque utiliza energía solar que evapora "naturalmente" el agua, además de trabajar con la gravedad para precipitar las sales más pesadas (Bustos-Gallardo et al., 2021).

Crucial para la gramática de la extracción del litio es la definición de salmuera subterránea como un fluido que no es agua, una definición basada en la norma ISO y sus clasificaciones. Según esta norma, el agua dulce tiene un contenido total de sólidos disueltos de 5 miligramos por litro, mientras que la salmuera del Salar de Atacama tiene más de 300 miligramos por litro. La sed de litio aparece aquí como sed de iones, la sed de la sopa de iones, no de agua.

En palabras de un profesional de la sostenibilidad que trabaja en una de las industrias del litio del Salar:

El debate sobre si la salmuera puede considerarse agua sigue abierto. Según las normas ISO, el agua se define por su contenido total de sólidos disueltos: el agua dulce contiene 5 miligramos por litro, el agua de mar 35, y las lagunas del Salar oscilan entre 30 y 150. Entonces, no consideramos que el salar sea agua... aunque sí, básicamente, [la extracción] puede afectar de alguna manera la dinámica del recurso hídrico dentro de la cuenca del Salar porque sí tiene un impacto en los niveles de agua en el núcleo, pero no estamos reduciendo la cantidad de agua disponible para el consumo humano o para la agricultura. Porque la verdad es que la salmuera es una solución acuosa, pero es muy diferente del agua. Nadie va a beber salmuera, y nadie va a regar sus plantas con salmuera. (Cristóbal, comunicación personal, 2021)

Según esta lógica, que niega que la minería de salinas sea minería de agua, como proponen varios autores (p. ej. Argento y Puente, 2019; Fornillo, 2019; Jerez et al., 2021), la salmuera subterránea no es agua, ya que no puede ser utilizada por la población local: nadie bebe ni riega sus plantas con salmuera. Así, lo que se evapora es agua, pero lo que viaja como salmuera no lo es. El territorio se ordena, por tanto, a través de una categorización que establece el núcleo del Salar y la salmuera como un territorio estable de propiedad sin agua⁶.

El núcleo del Salar se transforma en una "cosecha" de sales que precipitan a medida que las salmueras subterráneas, tras ser bombeadas, se evaporan en las piscinas. Cuando la salmuera alcanza una mayor concentración de litio, se transporta en camiones cisterna al "lugar de conversión", donde se separarán el boro, el magnesio y el calcio de estas salmueras. La industria desconecta el núcleo del Salar y las comunidades humanas para ocupar el "sitio del recurso químico": la salmuera-subterránea-no-agua, no-bebible, cuya movilidad es controlable y, por lo tanto, extraíble, es separada del territorio ancestral de los asentamientos humanos que necesitan agua para vivir. De este modo, la industria establece la estabilidad de la salmuera subterránea extraída como propiedad y luego dotada de valor económico, como objeto de derechos de propiedad.

Las prácticas e infraestructuras dedicadas a la extracción de salmueras subterráneas, la recolección de sales y la generación de salmueras ricas en litio pueden considerarse como un mecanismo para hacer implícita, o desplazar, la metaquímica del tiempo profundo, es decir, aquella historia evolutiva que describimos en la sección

⁶ Desde una comprensión química de la materia, la salmuera es agua (H₂O) con iones disueltos (Li⁺, K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, etc) en alta concentración. La extracción del litio a través del método evaporítico, se considera que es una minería del agua porque, aunque la salmuera no se pueda utilizar como agua potable, su evaporación a través de las piletas de concentración de sales genera consecuencias para los sistemas hidrogeológicos subterráneos, que desencadenan la sequía de vegas, desplazamiento de lagunas, y disminución en la disponibilidad de agua por parte de pobladores locales. Además, la minería del litio consume agua proveniente de ríos de la región en los procesos posteriores de obtención y purificación de carbonato de litio.

anterior. La distribución terrestre natural inicial de los productos químicos propuesta por Goldschmidt, es "dada vuelta" o "puesta al revés" (en el sentido de Gabrielle Hecht, 2021, que en inglés, usa *upside down*). La metaquímica del recurso, amparada en la objetividad de las normas ISO que establecen qué es agua y qué no, legitimada por la necesidad de "todo el planeta" de ser descarbonizado, homogeneiza el agua, el litio y las salmueras, como "recursos" que pueden ser extraídos, poseídos y dotados de valor económico.

Este proceso de realización del litio como un mero insumo extraíble reconfigura las relaciones entre ciencia, industria y territorios (o lugares), desplazando la historia evolutiva del material en favor de una narrativa centrada en la eficiencia y la rentabilidad. En este trabajo movilizamos estas distintas realizaciones del lugar y del litio en el intento de generar una responsabilidad interdisciplinar que cuestione críticamente la visión universal de una sola y unívoca noción de futuro construido con "recursos" tecno-químicos. O dicho de otro modo, la urgencia de almacenar energía eléctrica en forma de baterías de litio es considerada indispensable para alcanzar las emisiones netas cero en un solo futuro dentro de un temporalidad lineal, y en el momento de considerar únicamente un solo futuro como posible y deseable, aun por venir, borra el lugar del presente, y sus tiempos evolutivos. La sinergia de la ciencia rápida y la industria ha privilegiado el conocimiento dissociado y las estrategias de disociación abstraídas de las "complicaciones" de nuestro mundo en el aquí y el ahora. Es por esto que en la próxima sección mostramos cómo, a través de una conversación lenta y del intercambio de visiones situadas y parciales, es posible hacer explícita la metaquímica de tiempo profundo en laboratorios de química -especialmente en entornos universitarios públicos- donde existe la oportunidad de que la práctica científica trabaje, aprenda y coexista con aquellos materiales y complicaciones que la ciencia rápida y los intereses de la industria normalmente ignorarían.

Metaquímicas del litio en laboratorios químicos de materiales

Martina trabaja en el Grupo de Cerámica Avanzada del Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica, un instituto público de la provincia de Buenos Aires, Argentina. En 2017, mientras Cristóbal se encontraba con Felipe en las salinas del otro lado de la cordillera, el grupo de investigación de Martina decidió abrir una nueva línea de investigación sobre materiales cerámicos a base de litio. El gobierno argentino había prestado mucha atención al litio desde 2012, cuando el Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Nación comenzó a considerar "estratégica" la investigación sobre el litio (Fornillo y Gamba, 2019). Esta decisión se dio en el marco del *boom* mundial de las baterías de iones de litio, que en el contexto argentino significó promover la explotación primaria de los salares andinos, y algunos intentos de

vincular las investigaciones científicas en el campo de las baterías de litio con proyectos de industrialización del litio impulsados por el Estado (Fornillo y Gamba, 2019).

El grupo encontró una manera de abordar la cuestión del litio a través de la síntesis de materiales que llamaremos LZO, que podrían obtenerse mediante una reacción química entre un mineral llamado zirconia, ampliamente estudiado en el grupo, y carbonato de litio, uno de los principales reactivos utilizados para fabricar materiales para baterías y producido (y exportado) en el país. El trabajo de hacer reaccionar el carbonato de litio con la zirconia fue asumido en 2017 por un becario postdoctoral al que llamaremos Pedro. El método de síntesis elegido por Pedro fue la reacción en estado sólido. Consiste en mezclar enérgicamente los materiales de partida (zirconia y carbonato de litio), para después calentarlos a una temperatura y durante un tiempo determinados, dando energía al sistema para transformar los materiales de partida en LZO.

Durante un año, Pedro estudió el carbonato de litio y la zirconia mediante una serie de experimentos consistentes en tratamientos térmicos, examen por microscopía y técnicas que utilizaban láser para determinar el tamaño de las partículas, y procesos de molienda para disminuir su tamaño, aumentar la superficie de contacto, generando defectos en las estructuras y mejorando su reactividad. Tras encontrar el tiempo óptimo de molienda y el tiempo y temperatura de tratamiento térmico, Pedro pudo obtener el LZO y publicar sus resultados.

En 2018, Martina trabajaba en un laboratorio de electroquímica de la misma universidad, que tenía un acuerdo que le permitía probar materiales fabricados por Pedro en baterías. Martina encontró un artículo que demostraba que el LZO podía utilizarse como material de ánodo activo (Dong et al., 2015) en una batería de iones de litio. Recordemos que las baterías se componen básicamente de tres elementos: cátodo, ánodo y electrolito. Cuando la batería está encendida, los iones de litio migran del ánodo al cátodo y, en ese proceso, se produce energía eléctrica.

Para probar el LZO como ánodo, Martina siguió el procedimiento estándar: mezcló el polvo con un agente conductor (carbono) y un aglutinante (un polímero utilizado en la formulación del electrodo) en un disolvente orgánico para obtener una pintura negra espesa, que aplicó a una lámina de cobre. Cuando la pintura se secó, cortó la lámina en círculos de 1 cm de diámetro, que se utilizarían como ánodos en la batería de prueba. Estos ánodos se introdujeron en la llamada caja de guantes, un espacio de trabajo sin oxígeno ni agua al que se accede con guantes y donde se ensambla la célula de la batería de prueba. El montaje de una celda de batería consiste en colocar el electrodo de trabajo (cobre pintado con LZO) en contacto con el separador (un plástico poroso humedecido con electrolito) y el contraelectrodo (en este caso metal de litio) en una estructura de sándwich.

Martina realizó varias pruebas simultáneas en diferentes condiciones para conocer las propiedades de este material. Pero, desde el principio, el LZO presentó muy baja capacidad, menos de la mitad de la que se indicaba en el artículo en el que trabajaba.

Meses después, en 2019, Martina decidió seguir investigando el material. En la bibliografía, descubrió que cambiar parcialmente el ion de circonio (Zr^{4+}) por otro elemento podría facilitar el tránsito del litio y mejorar su comportamiento en las baterías. Mirando la Tabla Periódica de Mendeleiev para ver qué átomo podría funcionar, se dio cuenta de que tenía que ser más pequeño y tener menos carga que el ion Zr^{4+} . Antes de que la pandemia impidiera el acceso al laboratorio en marzo de 2020, logró obtener un material puro a base de LZO con una composición ligeramente diferente en forma de polvo.

Volviendo al trabajo de laboratorio en 2021, Martina se propuso evaluar si el material modificado mejoraba la conductividad iónica en comparación con el original. Para ello, creó muestras cerámicas sólidas a partir del polvo y estudió sus propiedades eléctricas. Prensó "pastillas", de 1 cm por 1,5 mm (Figura 4), a partir del polvo puro sintetizado y las colocó en un horno a 1050 °C.



Figura 4. Pastillas de cerámica realizadas en el laboratorio por Martina

Martina viajó entonces a un laboratorio del sur de Buenos Aires para "caracterizar" estas muestras desde el punto de vista eléctrico. Calentándolas a una temperatura determinada y aplicándoles una corriente alterna, es posible medir la respuesta de la corriente del material y su cambio con la temperatura. El análisis matemático de los datos permite a los químicos determinar si la pastilla cerámica presenta conductividad eléctrica o actúa como aislante. Como estas pruebas se realizan con temperatura, hay que realizar un estudio previo para conocer la respuesta del material al calentamiento. Lo ideal -lo esperado- es que después de un tratamiento térmico de 12 horas en un horno a 1050 grados centígrados durante la preparación de las muestras, un tratamiento posterior a 300 no genere cambios.

Sin embargo, Martina observó que la muestra perdía masa al calentarse. En otras palabras, desde su fabricación hacía un mes, algo en el material había cambiado. Para comprobar que esta pérdida de masa estaba relacionada con el tiempo transcurrido desde su fabricación, Martina tomó un material de composición y preparación similares pero obtenido hacía un año. ¡La pérdida de masa había aumentado! En otras palabras, el envejecimiento había desencadenado la descomposición del material cerámico. Lejos de descartar los resultados como poco fiables, decidieron llevar a cabo un estudio sistemático de un año para averiguar el mecanismo por el que la muestra había cambiado.

Comprobaron que la pérdida de masa de las muestras comenzó desde la primera semana después de su fabricación. Las muestras habían sido almacenadas en un armario de laboratorio, y Martina supuso que su exposición al aire, en este caso, el aire de la ciudad argentina de La Plata, donde la humedad media diaria supera el 70%, había afectado la identidad de la muestra.

En el material de Martina, el litio primero forma parte de una estructura cristalina. La hipótesis de Martina, es que, con el tiempo, se difunde hacia los bordes de los granos que componen el material cerámico y reacciona con el agua del aire. El comportamiento del litio en este tipo de materiales evoca su tendencia individual (al igual que otros elementos litófilos con bajos potenciales iónicos), como demostró Goldschmidt, a formar enlaces iónicos que "son fácilmente perturbados por el agua", lo que explica su elevada concentración en aguas marinas y salmueras subterráneas (Vance y Little, 2019). La inclusión de litio en materiales cerámicos introduce una tendencia de éstas a reaccionar con el vapor de agua, reflejando la solubilidad natural de los iones de litio. Con el tiempo, la exposición al vapor de agua puede degradar la estructura cerámica, ya que los iones de litio dentro de la matriz cerámica buscan hidratarse y movilizarse. El LZO se descompone (modifica su composición química) cuando se expone al aire húmedo: desde la perspectiva y los intereses de *la ciencia rápida*, estos materiales presentan "una complicación" que debe ignorarse.

En 2022, Martina fue seleccionada para unas prácticas de laboratorio en un grupo de investigación de materiales cerámicos del norte de Europa. El objetivo de la estancia era sintetizar una familia de compuestos para baterías de litio de estado sólido. El primer día de su estancia de investigación fue recibida por la Dra. U, que ya conocía el trabajo previo de Martina en Argentina. En sus primeras interacciones, la Dra. U señaló: "no vamos a hablar de tus materiales argentinos el primer día, para evitar que empieces tu estancia con una nota negativa". Como resultado, durante sus prácticas, aunque Martina dio dos seminarios para el grupo y uno para el instituto, nunca habló de su trabajo en Argentina.

En aquel momento, Martina no sabía a qué se refería el comentario de la Dra. U. La propuesta de Stengers (2011) para practicar la ciencia lenta, sugerida por Cristóbal

cuando escuchó por primera vez esta historia, resonó con mucha fuerza en Martina, dando un sentido a posteriori de su experiencia con la Dra. U.

Para muchos investigadores científicos, ir más despacio y perder el tiempo con cuestiones que no contribuyen directamente al progreso inmediato y evaluable de su campo es incluso algo parecido a un pecado, a una tentación que un verdadero científico sabe que tiene que resistir. (Stengers, 2011, p. 4)

Escribiendo este artículo unos años después del comentario, Martina piensa que el comentario de la Dra. U, podría estar relacionado con la inestabilidad de los materiales en el aire, o con la idea de que su rendimiento como material en baterías de iones de litio no merece que ella "pierda el tiempo en ello." Resonando con la prisa del geólogo europeo por obtener una muestra de agua del Salar sin tener en cuenta la historia política de Atacama, la Dra. U no tuvo tiempo para ralentizar, para ir más despacio. ¿Y que valor tiene ir más despacio en este caso? ¿Qué se puede aprender sobre el material (los materiales) mas allá del valor que demanda el productivismo? Quizás la riqueza está en el proceso de vincular su comportamiento ("inútil" para los fines de las tecnologías actuales) con procesos de tiempo profundo. Nuestra alianza experimental le permitió a Martina observar el carácter agencial del litio y vincular su comportamiento con sus afinidades geoquímicas.

Dos años después de estos acontecimientos, Martina puede ver cómo una lógica científica centrada en el rendimiento y en las promesas refuerza la metaquímica de los recursos. Las revisiones y artículos tradicionales en el campo de la ciencia de los materiales o la electroquímica no se detienen a explicar las alteraciones de los materiales que no cumplen su función. De esta manera, pasan por alto la genealogía material de estos iones, tratando las materias primas o los reactivos de partida como históricas pizarras en blanco, e intentando estabilizar el "litio" como un recurso homogéneo, desarraigado y orientado a un futuro poblado por baterías. La ciencia rápida busca construir tecnoesferas perfectas, donde lo que no sirve, se descarta. Dentro de esta lógica, si los materiales no son funcionales a las promesas –muchas de ellas como dijimos antes, ni siquiera promesas que pretenden entregar algo al Estado o la sociedad, sino simplemente a la consolidación de un campo científico (Kreimer, 2021)- no hay tiempo para entender por qué: el material se descartará y se evaluarán nuevos materiales hasta que alguno se comporte "como esclavo del amo que cierra la dialéctica en su autoría del conocimiento «objetivo»" (Haraway, 1995, p. 341).

Unos meses después de regresar de su estancia de investigación, Martina presentó los resultados de su trabajo sobre la descomposición del LZO en una reunión de la Asociación de Cristalografía Argentina. Las preguntas que más temía eran las derivadas de la metaquímica de los recursos y la ciencia rápida: "¿por qué perder tiempo y recursos estudiando la descomposición de un material?". Sin embargo, se llevó una grata sorpresa cuando, en su lugar, recibió comentarios que enriquecieron su trabajo y le ofrecieron contactos para futuras colaboraciones con el fin de

comprender las preguntas pendientes. Estas preguntas son actualmente específicas del campo de la química, pero abrazarse a ellas y no descartarlas, fue posible gracias al diálogo lento e interdisciplinar con Cristóbal, y las condiciones de trabajo en el ámbito universitario público ¿Cómo se mueven los iones de litio dentro de la estructura? ¿Qué parámetros afectan a la velocidad del proceso? ¿Es reversible y en qué condiciones? Este diálogo interdisciplinar no sólo permitió abordar preguntas fundamentales sobre las afinidades del litio, sino que también puso de relieve una cuestión más amplia: la responsabilidad ética del conocimiento científico en un mundo marcado por la aceleración tecnológica y las demandas del mercado. Como señaló con lucidez Hans Jonas (1984) (en Lander, 2005, p. 276), “los seres humanos tenemos la capacidad de destrucción de la vida en el planeta Tierra y nuestra responsabilidad ética con la vida es directamente proporcional a ese poder”. El modelo científico-tecnológico guiado por la desenfadada lógica mercantil es la negación total de dicha responsabilidad ética. El conocimiento situado y la conjunción de visiones parciales, permiten reconectar los materiales químicos con sus raíces profundas en el tiempo, recuperando el carácter agencial de nuestros objetos de estudio. En lugar de centrar los esfuerzos (tecnológicos, energéticos y materiales) en “estabilizar” una sustancia química desarraigada y alejada de su historia, esta perspectiva nos permite experimentar con prácticas en el presente que cuestionen y desarmen los dictámenes unívocos del litio como recurso.

Tres años después de estos acontecimientos, que incluyeron un año de estudio sistemático a través de diferentes técnicas de caracterización de la reacción del LZO con su entorno, y otros dos de análisis de resultados y preparación de manuscritos, Martina pudo confirmar su hipótesis y publicar sus resultados en una revista internacional de alto impacto (Orsetti et al., 2024). Martina “experimentó” que es posible “hacer” ciencia sin responder a las categorías impuestas por la ciencia rápida. Combinado con su diálogo interdisciplinar con Cristóbal, el contexto laboral del sector público en el Sur Global creó las condiciones para que la Martina reflexionara sobre su experimentación con el litio y emprendiera uno de los retos centrales de la ciencia lenta: “aceptar lo desordenado no como un defecto, sino como lo que tenemos que aprender a vivir y a pensar en y con ello” (Stengers, 2011, p. 10). En este caso, lo desordenado es cómo la individualidad del litio y su afinidad geoquímica con su entorno conectan -al menos parcialmente- el laboratorio químico del litio con las ancestrales salmueras subterráneas andinas.

Alianza experimental y conjunciones sofisticadas

Antes de cerrar este trabajo, queremos detenernos brevemente a pensar sobre nuestra propia alianza y su realización. En el transcurso de nuestra colaboración interdisciplinaria, no sólo hemos explorado la materialidad del litio y sus

metaquímicas, sino que también hemos practicado una forma de hacer ciencia que atraviesa y transforma nuestros propios límites disciplinares.

Un momento decisivo en nuestra colaboración interdisciplinaria tuvo lugar durante un taller para científicos sociales liderado por Martina en la universidad de Amsterdam con el equipo de antropólogos de Cristóbal, y diseñado para explorar los fundamentos químicos de las baterías. La escena comenzó con un acto aparentemente simple: ensamblar una pila voltaica con monedas de cobre, anillos de zinc y papel impregnado en una solución salina. Aunque el ejercicio reproducía una tecnología básica del siglo XIX, fue una oportunidad para reflexionar sobre la química como práctica situada y materialmente densa.

Martina comenzó explicando con calma la relación entre los materiales. A través de sus palabras, las monedas y los anillos dejaron de ser objetos cotidianos y se transformaron en actores materiales con roles definidos en un ensamblaje dinámico. "El zinc cede electrones, el cobre los recibe. Y en ese tránsito, hacemos que algo ocurra: electricidad", dijo, mientras conectaba los elementos con un fino alambre de cobre.

Cuando la luz de una pequeña bombilla se encendió, hubo un momento de asombro colectivo. Risas suaves rompieron la tensión inicial, pero el acto era mucho más que un experimento práctico. Era una invitación a pensar los ensamblajes materiales como configuraciones activas, en las que la agencia no pertenece a un solo elemento, sino que emerge de relaciones complejas.

El momento más revelador del taller ocurrió cuando Martina, reflexionando en voz alta, señaló un hecho que alteró nuestras nociones previas: en las baterías de iones de litio (por ejemplo aquellas formadas por óxido de cobalto y litio en el cátodo, y grafito en el ánodo en lugar de cobre y zinc), es el cobalto el que participa en las reacciones redox en el cátodo, liberando electrones al circuito externo, lo que genera el flujo de corriente eléctrica que se transforma en luz. "El cobalto es el que cambia su estado de oxidación, recibiendo o liberando electrones, mientras que los iones de litio viajan de un electrodo a otro en el circuito interno de la batería", explicó. Esta declaración generó un silencio reflexivo en la sala. Hasta ese momento, el litio había dominado nuestra narrativa, no sólo como elemento químico, sino como un símbolo político y tecnológico de la transición energética. Pero aquí, en esta pequeña experiencia, el protagonismo del litio era desafiado por el papel crucial del cobalto⁷.

⁷ Las primeras baterías comerciales de iones de litio, introducidas al mercado por Sony, tenían óxido de litio y cobalto en el cátodo y grafito en el ánodo. Actualmente, además de estas composiciones, se utilizan otros elementos que participan de la reacción redox en el cátodo: níquel, manganeso, hierro, vanadio, etc. El flujo de electrones – la electricidad – que alimenta a los dispositivos eléctricos impulsados por baterías de iones de litio, proviene de la oxidación/reducción de metales, mientras que el litio viaja como ion dentro de la batería, de un electrodo a otro, facilitando ese flujo de electrones.

Este descubrimiento desencadenó una serie de reflexiones en ambas disciplinas. Desde la antropología, comenzó una interrogación sobre las categorías con las que pensamos lo que constituye un "material etnográfico", puesto que este momento específico de la colaboración se volvió un material profundamente interesante para pensar no sólo los materiales, sino también el modo en cómo esos materiales son realizados en los discursos que abogan por una transición unívoca basada en recursos estables que generan dispositivos estables, a saber, la batería de iones de litio. Pero si consideramos este momento del taller seriamente, y cuando pensamos al cobalto como protagonista dentro de las baterías en tanto material que cede o recibe electrones, nos es entonces posible desplazar al litio y sus iones aislados como el elemento crucial de nuestras narrativas y modos de pensar. Nos preguntamos, entonces, desde el borde de nuestras disciplinas ¿qué otros materiales y relaciones eran omitidos (Bonelli et al., 2024) por los modos de pensar predominantes en cada disciplina?

Desde la química, Martina compartió cómo estas realizaciones tecnológicas — "batería de litio", por ejemplo— son construcciones contingentes que responden a intencionalidades políticas y económicas más amplias. Desde la antropología, y en presencia de Haraway, confirmamos la importancia de detenernos a pensar los materiales con los que pensamos los materiales. De hecho, el taller no fue sólo un espacio de aprendizaje técnico; fue una experiencia transformadora que desestabilizó certezas en ambas disciplinas. La práctica de ensamblar una batería se convirtió en un acto performativo que cuestionó categorías preexistentes, revelando cómo los materiales no son entidades pasivas, sino agentes co-productores de mundos.

En última instancia, el taller no sólo nos enseñó cómo se produce electricidad a partir de afinidades materiales, sino que también amplió nuestras sensibilidades hacia la materialidad misma, abriendo caminos para imaginar futuros en los que las relaciones entre humanos y materiales puedan ser transformadas desde el hacer conjunto. Con este ejemplo, queremos mostrar como, la conjunción de visiones parciales (*sensu* Donna Haraway), o "conjunciones sofisticadas" en palabras de Morita y Jensen (2020), sirven para cultivar sensibilidades que emergen en la interacción entre antropología y química y nuestras conexiones parciales como practicantes de estas disciplinas. Estas conjunciones no eliminan tensiones; más bien, las utilizan como un espacio productivo para reconfigurar prácticas, sensibilidades y preguntas disciplinarias, sin ser reducidas a un lenguaje o lógica común.

Hacia un futuro ancestral andino

Inspirándonos en la propuesta metaquímica de Bachelard (1968) y su intento crítico de "dispersar el sustancialismo químico" (p. 45), hemos tratado de problematizar la individualidad del litio en los salares y salmueras subterráneas donde se extrae y en

los laboratorios químicos donde se utiliza como reactivo. Analíticamente, hemos considerado la materialidad del litio a través de dos metaquímicas: una metaquímica del recurso desarraigado que estabiliza al litio como el metal más adecuado para la fabricación de dispositivos electroquímicos de alta densidad energética, y una metaquímica del tiempo profundo, un material situado, que nos permite pensar en el litio como un material ancestral de los subsuelos andinos. En un espíritu stengeriano, sugerimos que estas analíticas metaquímicas pueden actuar como herramientas conceptuales para ralentizar el razonamiento en un momento histórico en el que la "economía del conocimiento", en relación con el litio, parece dictar "el imperativo de no ralentizar, de no perder el tiempo" (Stengers, 2018a, p. 114). Vimos cómo las promesas de

avances', 'adelantos', en suma, 'progreso' y 'desarrollo', asociadas a la ciencia y tecnología del litio, que se pregona fundamentalmente desde el Norte Global, impone una manera de hacer ciencia aun en nuestros días "divina e infalible" sin cuestionarse las implicancias que ha tenido en lo que respecta al cambio climático y el futuro de la humanidad. (Huyke, 2019, p. 108)

Nosotros, como hacedores de ciencia, no somos inmunes a esa ilusión. La ciencia rápida, y su ambición universalista e instrumentalista, puede tentarnos a descartar lo que no se adhiere a la producción industrial material y epistémica. De hecho, somos conscientes de que, como todo análisis, nuestra distinción entre metaquímicas tiene limitaciones y oculta riesgos. Hemos asociado la metaquímica del recurso con figuras específicas de nuestra historia, como la Dra. U y la geóloga europea, entre otros, pero queremos concluir afirmando explícitamente que estas tendencias metaquímicas operan simultáneamente en nuestros papeles como investigadores universitarios dedicados a comprender e intervenir en los mundos del litio. En este espíritu, invitamos a nuestros lectores a pensar en la Dra. U y en la geóloga europea no como objetivos de denuncia, sino como presencias que hacen perceptible el poder especial de una ciencia rápida regida por diferentes preocupaciones epistémicas y de productividad industrial.

Hemos mostrado cómo es posible a partir de conversaciones situadas, prestar atención a las diferentes metaquímicas que están en juego en la problematización de la materialidad del litio y cómo ellas puede ayudarnos a conectar parcialmente los laboratorios científicos con su entorno planetario, y los reactivos químicos con su genealogía material y con las ancestrales salmueras subterráneas. Lo que hemos intentado demostrar es que se pueden cultivar y "realizar" estas conexiones, retomando la terminología de Bachelard, mediante una alianza experimental de nuestras prácticas antropológicas y químicas. Nuestras prácticas se ralentizaron para fomentar alianzas que empoderen a las personas interesadas a pensar y actuar juntas, facilitando conexiones entre diversas preocupaciones (Stengers, 2018a).

A través de un trabajo de varios años, con reflexiones profundas y complejas, sobre y desde nuestras propias prácticas disciplinares, en este trabajo hemos conectado parcialmente laboratorios químicos con las salmueras subterráneas, a través de poner atención en el carácter agencial del litio. Nuestra alianza experimental facilitó la comprensión de las afinidades geoquímicas presentes tanto en las salmueras subterráneas como en el laboratorio, un proceso que se desarrolló en diálogo, pensando y coexistiendo con el desorden. A diferencia de la ciencia rápida, que no se detiene a abordar la complejidad, la ciencia lenta nos permitió ahondar en la temporalidad de los materiales y sus relaciones territoriales. Creemos que esto es importante: nos ha permitido a ambos autores, pensar más despacio la genealogía material del litio y el papel de nuestras propias prácticas en la comprensión de la individualidad del litio. Juntos, aprendimos que las realizaciones químicas dependen, en parte, del tiempo que podemos darnos para pensar y experimentar colectivamente, y desde nuestras diferentes disciplinas y sensibilidades.

En la actualidad, sostenemos que hay tareas colectivas más urgentes que reproducir el sustancialismo rápido propio de la metaquímica del recurso y de las versiones contemporáneas del capitalismo que movilizan al litio como ideología (Fornillo et al., 2024); una de ellas es resistir a las metaquímicas de recursos desarraigados, como primer paso para poder imaginar, como propuso Krenak, un Futuro Ancestral (2022). Quizás está de más decir que la invitación de Krenak es también una especie de oxímoron, ya que sugiere imaginar el futuro desde un pasado planetario, desplazando así la obsesión moderna por el tiempo lineal y progresivo y las promesas mesiánicas de la tecnología moderna (Viveiros de Castro y Hui, 2021), al tiempo que subraya la importancia misma del lugar: contemplar un Futuro Ancestral ayuda a reorientar nuestros modos de atención hacia los lugares que habitamos en el aquí y ahora. Por lo tanto, nuestra invitación de que "importa con qué litio pensamos otros futuros" es también una fórmula espacial material, en la que la materialidad en tiempo profundo de los reactivos y los salares complica cualquier ilusión del litio como sustancia aislada sin pasado material. Además, el futuro ancestral también cuestiona las formas en que la ciencia y la tecnología enmarcan sus intervenciones en estos territorios.

La propuesta de Krenak al invocar un pasado planetario, no es sólo una crítica al tiempo lineal, sino una invitación a pensar desde los salares, lo que implica reconocer las redes evolutivas que los constituyen. Este reconocimiento no sólo reta las narrativas extractivas, sino que sugiere la posibilidad de imaginar prácticas científicas que no separen los materiales de sus ecologías, sino que trabajen en conjunto con ellas.

En conclusión, en medio de un planeta que aún espera por ser descarbonizado, nuestra alianza experimental aspira a cultivar un profundo sentido de responsabilidad respecto a nuestros pasados ancestrales subterráneos latinoamericanos. Es desde

estas raíces subterráneas de nuestro pasado que imaginamos dar forma a nuestro futuro ancestral. Esta noción de responsabilidad no es meramente ética, sino también epistemológica (y si consideramos que nuestras prácticas generan mundos, es también una responsabilidad ontológica). Implica repensar cómo las ciencias que participan en las transiciones energéticas pueden articularse con temporalidades múltiples, abriendo espacios para prácticas que excedan las demandas del mercado. En este marco, los salares no son sólo paisajes de extracción; son también testimonios de temporalidades en tensión, que nos invitan a imaginar futuros que dialoguen con sus pasados en lugar de intentar superarlos.

Reconocimientos

Este trabajo fue posible gracias al financiamiento recibido por el Consejo Europeo de Ciencia (ERC) a través del programa de investigación e innovación Unión Europea Horizon 2020, bajo el acuerdo de subvención N.º 853133.

Versiones anteriores de este trabajo fueron presentadas por ambos autores en la Escuela Holandesa de la Escuela de Postgrado en Ciencia, Tecnología, y Cultura moderna (WTMC) en noviembre, 2022, y seguida de varias presentaciones en el departamento de antropología de la Universidad de Amsterdam. Agradecemos a los participantes de esos eventos y también a los revisores de la revista Estudios Atacameños, por sus comentarios constructivos y aportes a la discusión. Cristóbal agradece también a Suzana Sawyer y Evan Hepler-Smith por haber iniciado la discusión sobre materialidades químicas y metaquímicas en la Residencia “Mattering Elements”, en UC Irvine en 2022. Martina quiere dar las gracias a sus colegas del Centro de Recursos Minerales y Tecnología Cerámica por su forma colectiva de hacer ciencia y su apoyo constante incluso ante los «comportamientos inesperados de los materiales de litio». Agradecemos también a Esteban Castillo Gutiérrez por preparar con su arte las Figuras 1 y 2.

Referencias citadas

Agencia Internacional de Energía. (2023). *Global EV Outlook*.
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>

Anzaldúa, G. (1987). *Borderlands/La Frontera: The New Mestiza*. Aunt Lute Books.

Aránguiz-Acuña, A., Alday-Galleguillos, G., Pérez, D. H., Chávez, R. O., Olea, M., Comunidad Lickan Antay de Toconao, Prieto, M., Figueroa, V., Espíndola, C., Tejerina, A., Galleguillos, F., Sanzana, C., Núñez, L. y Loyola, R. (2024). Spatial and temporal heterogeneity of depositional environment and vegetational cover in a salt flat of the Lickan Antay Territory of Toconao, Northern Chile. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. <https://doi.org/10.1177/03091333241306660>

- Argento, M., y Puente, F. (2019). Entre el boom del litio y la defensa de la vida. Salares, agua, territorios y comunidades en la región atacameña. *Litio en Sudamérica: Geopolítica, energía y territorios* (pp.173-220). Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales; El Colectivo.
- Argento, M., y Zícarí, J. (2018). Políticas públicas y conflictos territoriales en torno a la explotación del litio en Salta: el caso de Salinas Grandes. *Andes (Salta)*, 29(1).
- Bachelard, G. (1968). *The Philosophy of No: A Philosophy of the Scientific Mind*. Orion Press.
- Badagnani, D. O. y Knopoff, P. A. (2016). *Colonialidad y Ciencias Naturales: Fundamentando la didáctica para la emancipación* [Conferencia]. V Jornadas "El Pensamiento de Rodolfo Kusch", Maimará, Jujuy, Argentina. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/73294>
- Barry, A. (2017). *Manifesto for a Chemical Geography* [Conferencia inaugural]. University College London. <https://bit.ly/467hROh>
- Baruj, F. (2021). *Clasificación de Goldschmidt* [Imagen]. Wikimedia Commons. <https://bit.ly/44vv3eE>
- Bensaude-Vincent, B. y Simon, J. (2012). *Chemistry: The Impure Science*. Imperial College Press. <https://doi.org/10.1142/p832>
- Blok, A. y Jensen, C.B. (2019). The Anthropocene Event in Social Theory: On Ways of Problematizing Nonhuman Materiality Differently. *The Sociological Review*, 67(6), 1195-211. <https://doi.org/10.1177/0038026119845551>
- Bonelli, C. y Dorador, C. (2021). Salares en peligro: Microdesastres en el norte de Chile, *Tapuya*, 4(1), 1968634. <https://doi.org/10.1080/25729861.2021.1968634>
- Bonelli, C., Galaz-Mandakovic, D., Weinberg, M., Figueroa, V. y Hecht, G. (2024). Cenizas del Antropoceno: omisiones de carbón y estratigrafía tóxica en Tocopilla (Chile). *Revista Colombiana de Antropología*, 60(3), e2710. <https://doi.org/10.22380/2539472X.2710>
- Bustos-Gallardo, B., Bridge, G. y Prieto, M. (2021). Harvesting Lithium: Water, Brine and the Industrial Dynamics of Production in the Salar de Atacama. *Geoforum*, 119, 177-189. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2021.01.001>
- Chown, M. (1994). *Birth of the Universe*. New Scientist.
- Daggett, C. N. (2019). *The Birth of Energy: Fossil Fuels, Thermodynamics, and the Politics of Work*. Duke University Press Books. <https://doi.org/10.1515/9781478090007>
- Delgado, F., Shreve, T., Borgstrom, S., León-Ibáñez, P., Castillo, J. y Poland, M. (2024). A Global Assessment of SAOCOM-1 L-Band Stripmap Data for InSAR Characterization of Volcanic, Tectonic, Cryospheric, and Anthropogenic Deformation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 62, 1-21. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2024.3423792>
- De Sousa Santos, B. (2010). *Descolonizar el saber, reinventar el poder*. Trilce.
- Dussel, E. D. (1980). *Filosofía de la liberación* (Vol. 6). Universidad Santo Tomás, Centro de Enseñanza Desescolarizada.
- Dong, Y., Zhao, Y., Duan, H. y Huang, J. (2015). Electrochemical performance and lithium-ion insertion/extraction mechanism studies of the novel Li₂ZrO₃ anode materials. *Electrochimica Acta*, 161, 219-225. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.01.220>

- Fornillo, B. (Ed.). (2019) *Litio en Sudamérica: Geopolítica, Energía y Territorios*. Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales; El Colectivo.
- Fornillo, B, Argento, M. y Ezequiel, G. (2024). *La ideología en torno a la extracción del litio: Movilidad, expulsión y fin*. *Quid 16*, (22). https://doi.org/10.62174/quid16.i22_a302
- Fornillo, B. y Gamba, M. (2019). Industria, Ciencia y Política en el Triángulo del Litio. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 30(58), 1-38. <https://doi.org/10.33255/3058/447>
- Galeano, E. (1971). *Las Venas Abiertas de América Latina*. Siglo XXI.
- García, R., Kruse, E. E., Etcheverry, R. O., Tessone, M. O. R., Moreira, P. y Díaz, F. J. (2020). Características hidrogeológicas de los salares en la Puna Argentina. En *El litio en la Argentina: Visiones y aportes multidisciplinares desde la UNLP*(pp. 49-59). Universidad Nacional de La Plata.
- Goldschmidt, V. M. (1970). *Geochemistry*. Oxford University Press.
- Gudynas, E. (2018). *Extractivisms: The concept, its expressions, and its multiple violences*. *Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global*, 143, 61–70.
- Haraway, D. J. (1995). *Ciencia, cyborgs y mujeres La reinención de la naturaleza*. Cátedra.
- Haraway, D. J. (2016). *Staying with the Trouble: Making Kin in the Chthulucene*. Duke University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctv11cw25q>
- Hawking, S. y Ortuño, M. (1988). *Historia del tiempo* (Vol. 21). Crítica.
- Hecht, G. (2021). La Terre à l'envers: résidus de l'Anthropocène en Afrique. *Politique africaine* (1-2), 385-402. <https://doi.org/10.3917/polaf.161.0385>
- Hernández Castillo, R. A. (2008). Feminismos poscoloniales: reflexiones desde el sur del Río Bravo. En L. Suárez Navaz y R. A. Hernández Castillo (Eds.), *Descolonizando el feminismo. Teorías y prácticas desde los márgenes* (pp. 75-113). Cátedra.
- Huyke, H. (2019). Apuntes para una filosofía decolonial de la tecnología. *Voces del Caribe*, 1, 1096-1137.
- Jerez, B., Garcés, I. y Torres, R. (2021). Lithium extractivism and water injustices in the Salar de Atacama, Chile: The colonial shadow of green electromobility. *Political Geography*, 87, 102382. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2021.102382>
- Kreimer, P. (2021). Prometo, luego existo: ciencia, conocimiento y promesas en la modernidad periférica. *Nómadas*, 55, 13-27. <https://doi.org/10.30578/nomadas.n55a1>
- Krenak, A. (2022). *Futuro Ancestral*. Companhia das Letras.
- Kusch, R. (2020). *América profunda*. Biblos.
- Lander, E. (1996). América Latina: historia, identidad, tecnología y futuros alternativos posibles. En *El límite de la civilización industrial. Perspectivas latinoamericanas en torno al postdesarrollo*. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad Central de Venezuela.
- Lander, E. (2005). La ciencia neoliberal. *Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales*, 11(2), 35-69.

- Latour, B. (1999). *Pandora's Hope: Essays on the Reality of Science Studies*. Harvard University Press.
- Latour, B. (2004). Why Has Critique Run Out of Steam? From Matters of Fact to Matters of Concern. *Critical Inquiry*, 30(2), 225-48. <https://doi.org/10.1086/421123>
- Lorca, M., Olivera Andrade, M. y Garcés, I. (2023). Se instaló el diablo en el Salar. Organizaciones atacameñas, agua y minería del litio en el Salar de Atacama. *Estudios atacameños*, 69, e4899. <https://doi.org/10.22199/issn.0718-1043-2023-0004>
- López-Calva, L. F. (2022, 26 de mayo de 2022). *Lithium in Latin America: A new quest for "El Dorado"?* Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. <https://bit.ly/3TIUcfF>
- Mesa de las 33 Comunidades de la Cuenca de Salinas Grandes y Laguna de Guayatayoc. (2015). *Kachi Yupi – Huellas de la Sal: Procedimiento de consulta y consentimiento previo, libre e informado para las comunidades indígenas de las Salinas Grandes y Laguna de Guayatayoc* [Protocolo comunitario]. Natural Justice. <https://bit.ly/4nRiGBc>
- Morita, A. y Jensen, C. B. (2020). Deltas in crisis: From systems to sophisticated conjunctions. *Sustainability*, 12(4), 1322. <https://doi.org/10.3390/su12041322>
- Nordmann, A. (2006). From Metaphysics To Metachemistry. *Philosophy of Chemistry: Synthesis of a New Discipline* (pp. 347-362). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3261-7_19
- Orsetti, N., Frechero, M. A., Alvarez Manso, M. A., Montes, M. L., Suarez, G. y Gamba, M. (2024). Aging of lithium zirconate (Li₂ZrO₃) at room temperature: Effect of iron as a dopant. *Ceramics International*. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.12.183>
- Pimentel, F. (1976). Informe geológico resumido: área San Pedro de Atacama. *Estudios Atacameños*, (4), 13-18. <https://doi.org/10.22199/S07181043.1976.0004.00003>
- Quijano, A. (2000). *Colonialidad del poder, eurocentrismo y América Latina* (Vol. 13). Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.
- Rivera Cusicanqui, S. (2010). *Ch'ixinakax utxiwa. Una reflexión sobre prácticas y discursos descolonizadores*. Tinta limón.
- Segato, R. L. (2013). *La crítica de la colonialidad en ocho ensayos: y una antropología por demanda*. Prometeo.
- Slipak, A. M. y Argento, M. (2022). Ni oro blanco ni capitalismo verde. Acumulación por desfosilización en el caso del litio ¿argentino?. *Cuadernos de Economía Crítica*, 8(15), 15-36.
- Stengers, I. (13 de diciembre de 2011). *Another science is possible! A plea for slow science* [Conferencia inaugural, Cátedra Willy Calewaert 2011–2012, Vrije Universiteit Brussel]. Faculté de Philosophie et Lettres, Université libre de Bruxelles. <https://bit.ly/4557hpW>
- Stengers, I. (2018a). *A Manifesto for Slow Science* (S. Muecke, Trans.). Polity Press.
- Stengers, I. (2018b). The Challenge of Ontological Politics. En M. de la Cadena y M. Blaser (Eds.), *A World of Many Worlds* (pp. 83-111). Duke University Press Books. <https://doi.org/10.1215/9781478004318-004>

- Stengers, I. (2021). Receiving the gift: earthly events, chemical invariants, and elemental powers. En D. Papadopoulos, M. Puig de la Bellacasa y N. Myers (Eds.), *Reactivating Elements: Chemistry, Ecology, Practice* (pp. 18-33). Duke University Press. <https://doi.org/10.1215/9781478021674-002>
- Swampa, M. (2019). *Las fronteras del neoextractivismo en América Latina: Conflictos Socioambientales, Giro Ecoterritorial y Nuevas Dependencias*. Centro de Estudios Avanzados en Humanidades y Ciencias Sociales en América Latina. <https://doi.org/10.2307/j.ctv2f9xs4v>
- Toselli, A. J. (2009). Elementos Basicos de Petrologia Ignea. *Instituto Superior de Correlacion Geologica, Serie Miscelanea*, 18, 143-186.
- Vance, D. y Little, S. H. (2019). The History, Relevance, and Applications of the Periodic System in Geochemistry. *The Periodic Table I. Structure and Bonding* (pp. 111–156). Springer. https://doi.org/10.1007/430_2019_44
- Viveiros de Castro, E. y Hui, Y. (2021). For a Strategic Primitivism. *Philosophy Today*, 65(2), 391-400. <https://doi.org/10.5840/philtoday2021412394>
- Weinberg, M. (2023). The Dystopian Off-Sites of Lithium Production. *The Extractive Industries and Society*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2023.101309>
- Weinberg, M. y Bonelli, C. (2021). Litio: Hacia una teoría de las transiciones bipolares. En F. Díaz, A. Kubrak y M. Otero Verzier (Eds.), *Litio: estados de agotamiento* (pp. 52-55). ARQ.
- Weinberg, S. (2022). *The first three minutes: a modern view of the origin of the universe*. Basic Books.
- Woolfson, M. (1993). *The origin and evolution of planetary systems*. Institute of Physics Publishing.
- Zícari, J., Fornillo, B. y Gamba, M. (2019). El mercado mundial del litio y el eje asiático: Dinámicas comerciales, industriales y tecnológicas (2001-2017). *Polis (Santiago)*, 18(52), 186-203. <https://doi.org/10.32735/S0718-6568/2019-N52-1376>

PARA CITAR EN APA 7

Gamba, M. y Bonelli, C. (2025). Metaquímicas del litio: ciencia e interdisciplina desde Salares Andinos a laboratorios de materiales. *Estudios Atacameños (En línea)*, 71:e6659. <https://doi.org/10.22199/issn.0718-1043-6659>

