

*Caracterización del recurso geotérmico
de litio en el Salton Sea:
Preguntas frecuentes*



Documento complementario al informe técnico, que fue preparado para la Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable del Departamento de Energía de los EE. UU., Oficina de Tecnologías Geotérmicas

Foto de portada: Planta de energía geotérmica del Valle Imperial cerca del Salton Sea

Crédito de la foto: Jeremy Snyder, Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley

Autor del documento: Margaret Slattery

Última modificación: 12 de abril de 2024

* * * *

La información presentada aquí/en este documento representa los últimos resultados de nuestro equipo y está sujeta a cambios a medida que haya más información disponible.

Autores del informe

Naod Araya

Universidad de Auckland

Maryjo Brounce

Universidad de California, Riverside

Margaret Busse

Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley

Mary Kay Camarillo

Universidad del Pacífico

Patrick Dobson

Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley

Lauren English

Universidad de California, Riverside

Jennifer Humphreys

Universidad de California, Riverside

Boriana Kalderon-Asael

Universidad de Yale

Michael A. McKibben

Universidad de California, Riverside

Dev Millstein

Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley

Nori Nakata

Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley

John O'Sullivan

Universidad de Auckland

Noah Planavsky

Universidad de Yale

Joris Popineau

Universidad de Auckland

Theo Renaud

Universidad de Auckland

Jérémy Riffault

Universidad de Auckland

Margaret Slattery

Universidad de California, Davis

Eric Sonnenthal

Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley

Nicolás Spycher

Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley

Jennifer Stokes

Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley

William T. Stringfellow

Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley

Malcolm C.A. White

Instituto de Tecnología de Massachusetts

Tabla de contenido

Introducción.....	1
Preguntas de fondo.....	3
1. ¿Qué es el litio?.....	3
2. ¿Qué es la energía geotérmica?	3
3. Guía de términos y unidades clave	4
4. Terminología geográfica	4
Recursos de litio en la región del Salton Sea	6
1. ¿Dónde se encuentran los depósitos de litio y por qué están allí?	6
2. ¿Cuánto litio hay?	7
3. ¿Cuánto tiempo durará el recurso de litio?	7
Acerca de la extracción directa de litio (DLE)	8
1. ¿Cómo se extrae el litio de la salmuera?	8
2. ¿Se pueden extraer otros minerales de la salmuera?	9
3. ¿Qué sucede después de que se extrae el litio?	9
4. He oído a personas decir que Lithium Valley se convertirá en un “centro de suministro de baterías”. ¿Qué significa eso?	9
Uso del agua	10
1. ¿Cuánta agua utiliza la geotermia y la DLE?	10
2. ¿De dónde obtendrán agua las instalaciones geotérmicas y de litio?	10
3. ¿Es suficiente el suministro de agua para satisfacer la demanda de la industria?	11
4. ¿Por qué utilizan agua las plantas geotérmicas?	12
5. ¿Se reciclará el agua en las instalaciones?	12
6. ¿Tomarán las instalaciones agua de las comunidades cercanas o afectarán la calidad de sus aguas? ¿Cómo se protegerá el agua comunitaria?	13
7. ¿La DLE utilizará agua del Salton Sea o afectará los niveles de agua del Salton Sea?	13
Impactos ambientales	14
1. ¿Cuáles son las emisiones al aire de la energía geotérmica y la DLE? ¿Qué hay en el vapor que vemos hoy cerca de las plantas eléctricas?	14
2. ¿Cuáles son los subproductos de la extracción directa de litio?	15
3. ¿Cómo se gestionarán los residuos?	15
4. ¿Influye la producción de energía geotérmica en la actividad sísmica?	16
5. ¿Qué productos químicos se utilizan?	17
6. ¿Cómo se comparan los impactos con otras formas de producir litio?	18

Preguntas fuera de alcance.....	19
1. Salud pública	19
2. Desarrollo de la fuerza laboral.....	19
3. Inversión de impuestos y participación pública	20
4. Restauración del Salton Sea.....	20
Referencias	21

Introducción

Este documento acompaña al informe técnico titulado “Caracterización del recurso geotérmico de litio en el Salton Sea”, financiado por el Departamento de Energía de los EE. UU. (DOE por sus siglas en inglés). El proyecto fue un estudio piloto realizado por investigadores del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, la Universidad de California Riverside, la Universidad de California Davis, Geologica, el MIT, la Universidad de Yale, y la Universidad de Auckland. El objetivo del estudio fue evaluar los recursos en el campo geotérmico del Salton Sea e identificar los posibles impactos ambientales de la expansión de la producción geotérmica y la extracción de litio. Creamos este documento de preguntas frecuentes para hacer más accesible la información de los informes técnicos.

Desde que la Comisión del Valle del Litio se reunió en septiembre de 2020, los miembros de la comunidad se han presentado para compartir sus puntos de vista sobre los recursos de litio, el proceso de extracción y el impacto medioambiental. Identificamos preguntas de alta prioridad analizando las transcripciones de las reuniones de la Comisión del Valle del Litio (Lithium Valley), recopilando todas las preguntas que se enviaron al expediente de comentarios públicos o formuladas durante los talleres comunitarios y tribales, y consultando con organizaciones locales de defensa de la comunidad.¹ El resultado es la lista de preguntas contenidas en este documento, con respuestas de nuestro estudio y otras referencias. No podemos responder a todas las preguntas, ya sea porque todavía no tenemos suficientes datos o porque están fuera de nuestro alcance; por ejemplo, nuestra experiencia es en geología y ciencias ambientales, por lo que no abordamos los impactos sociales. Cuando no podemos dar respuestas, explicamos por qué no y sugerimos otras fuentes de información.

Mucha información del informe técnico se enfoca en la energía geotérmica, y eso se debe a que esas instalaciones han estado operando durante décadas y reportan datos sobre su desempeño al estado de California. Por eso tenemos datos sobre sus emisiones, cuántos residuos generan, e incluso la composición de la salmuera. El hecho de que existan tantos datos sobre las instalaciones geotérmicas demuestra el valor de leyes estrictas de protección ambiental. Con un acceso continuo a este tipo de información, podemos verificar que las empresas estén operando de manera segura y sostenible. Proporcionamos enlaces a las páginas de internet donde publican los datos para ayudar a las personas interesadas a acceder a la información que utilizamos.

Por el contrario, actualmente no hay instalaciones de extracción de litio en operación comercial, por lo que no podemos observar el mismo tipo de datos sobre la extracción de litio. Sin embargo, la tecnología patentada de cada empresa, actualmente en desarrollo, se basa en procesos químicos establecidos. Los científicos del Laboratorio Berkeley y de la Universidad de California Riverside, que están familiarizados con estos procesos y las diversas tecnologías que las empresas podrían utilizar, han creado teorías fundamentadas para estimar las aportaciones entradas y emisiones del eventual proceso de extracción y refinación del litio, así como los efectos del proceso también. Estos científicos también basaron sus teorías en los datos de los informes de impactos ambientales de las empresas.

La primera sección de este documento brinda información general sobre el litio y la geotermia, junto con una guía de las unidades que se utilizan en nuestro informe. La siguiente sección habla sobre los recursos de litio en el campo geotérmico del Salton Sea y el proceso de extracción de litio. La tercera sección trata sobre el uso del agua: cuánta agua podría usarse y de dónde provendrá. La cuarta sección trata sobre otros impactos ambientales, como las emisiones al aire y los desechos. Finalmente, reconocemos temas que

¹ Puede leer más sobre estos esfuerzos en el capítulo Participación comunitaria del informe técnico.

estaban fuera del alcance de nuestro estudio y, cuando es posible, indicamos a los lectores otras fuentes donde pueden aprender más.

Preguntas de fondo

1. ¿Qué es el litio?

El litio (abreviado “Li”) es un metal plateado y ligero que se utiliza para fabricar baterías, cerámica y medicamentos. Se encuentra en ciertos tipos de granitas (conocidas como “pegmatitas”), en arcillas y en aguas saladas llamadas **salmueras**. Actualmente se presta mucha atención al litio porque se utiliza para fabricar baterías para vehículos eléctricos (EVs, por sus siglas en inglés). California es uno de varios lugares del mundo que está reemplazando los automóviles que usan combustibles fósiles por EVs porque reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG, por sus siglas en inglés) y la contaminación local. Las baterías de litio también se encuentran en dispositivos electrónicos (por ejemplo, computadoras y teléfonos inteligentes) y se utilizan cada vez más para almacenar energía en la red eléctrica. Como resultado, la demanda de litio está creciendo significativamente.

La mayor parte del litio se extrae en Chile, Argentina o Australia. El gobierno de los Estados Unidos está financiando investigaciones sobre posibles fuentes de litio dentro del país para no tener que depender tanto de importarlo de otros países.

(Referencias: Agencia Internacional de Energía, 2021; Jaskula, 2023.)

2. ¿Qué es la energía geotérmica?

La palabra "geotérmica" es una combinación de las palabras para Tierra ("geo") y calor ("termal"). Las plantas de energía geotérmica sólo pueden funcionar en partes del mundo donde hay zonas calientes naturales bajo tierra, y utilizan ese calor para producir electricidad.

Hay diferentes formas de producir energía geotérmica. Las plantas eléctricas cercanas al Salton Sea utilizan una tecnología llamada "*flash steam*". En estas plantas, la salmuera del reservorio subterráneo se lleva a la superficie a través de una tubería muy grande. La salmuera está extremadamente caliente (casi 600° Fahrenheit) y tiene una presión muy alta. La salmuera pasa por un "separador" que separa el vapor de la salmuera. El vapor se utiliza para producir electricidad. Esta parte de la operación es similar a la de una planta eléctrica convencional, pero como las plantas geotérmicas no necesitan quemar gas natural o carbón para generar vapor, tienen emisiones de CO₂ mucho más bajas.

La salmuera que no se ha convertido en vapor se reinyecta en el reservorio para mantener la presión bajo tierra. Antes de que se reinyecte la salmuera, existe la oportunidad de recuperar algunos minerales. Es entonces cuando hay la oportunidad de recuperar el litio utilizando un proceso que se llama “extracción directa de litio” (DLE, por sus siglas en inglés).



Izquierda: Central eléctrica John L. Featherstone

Crédito de la foto: Jeremy Snyder, LBNL

3. Guía de términos y unidades clave

Tonelada métrica (MT, por sus siglas en inglés): Una tonelada métrica equivale a 1000 kilogramos, o aproximadamente 2204 libras.

Equivalente de carbonato de litio (LCE, por sus siglas en inglés): Las cantidades de litio a menudo se informan en términos de LCE, que significa equivalente de carbonato de litio. Expresar cantidades en términos de LCE facilita la comparación entre diferentes compuestos de litio, en particular carbonato de litio e hidróxido de litio, que pueden usarse para fabricar baterías. Una MT de Li metal es suficiente para producir 5.32 TM de LCE. Una MT de LCE es suficiente para producir baterías para aproximadamente 22 Teslas, 45 Fiat 500 o más de 2,500 bicicletas eléctricas.²

Acres-pies (AF, por sus siglas en inglés): Un acre-pie es la cantidad de agua necesaria para cubrir un acre de tierra hasta una profundidad de un pie. Es una forma de medir grandes cantidades de agua y se utiliza en la mayoría de las discusiones sobre el uso del agua en el Valle Imperial. Un AF es igual a 325,851 galones, aproximadamente tanto como la mitad de una piscina olímpica.

Megavatio (MW, por sus siglas en inglés): Un megavatio es una unidad de potencia y la potencia es la velocidad a la que se produce la energía. Un MW es suficiente para alimentar aproximadamente 750 hogares a la vez. En el contexto de este informe, MW se utiliza en referencia a la capacidad de generación de una planta de energía geotérmica. Por ejemplo, una planta geotérmica de 50 MW puede alimentar aproximadamente 37,500 hogares.

4. Terminología geográfica

Una nota final introductoria sobre la terminología. Se utilizan varios términos para describir los recursos geotérmicos y de litio cerca del Salton Sea, y esto puede resultar confuso. Todos los términos se refieren al área que contiene el reservorio subterráneo de salmuera caliente, pero existen diferencias sutiles.

El *“Área de Recursos Geotérmicos Conocidos del Salton Sea” (Salton Sea Known Geothermal Resource Area, SS-KGRA, por sus siglas en inglés)* se refiere a un límite establecido por el Servicio Geológico de Estados Unidos en la década de 1970. Hay docenas de KGRA designadas en todo Estados Unidos. La región se clasifica como KGRA si "las perspectivas de extracción de vapor geotérmico o recursos geotérmicos asociados de un área son lo suficientemente buenas como para justificar gastos de dinero para ese propósito" (Godwin y otros, 1971).

El *“Reservorio Geotérmico del Salton Sea” (Salton Sea Geothermal Reservoir, SSGR, por sus siglas en inglés)* se refiere a todo el sistema subterráneo que contiene salmuera, calor, litio y otros minerales. Los límites exactos del sistema no se conocen completamente.

El *“Campo Geotérmico del Salton Sea” (Salton Sea Geothermal Field, SSGF, por sus siglas en inglés)* es el subconjunto del sistema donde se ubican las plantas de energía geotérmica existentes.

“El Valle de Litio” (Lithium Valley) es más un concepto que un lugar físicamente definido. La Comisión Blue Ribbon Sobre la Extracción de Litio de la Comisión de Energía de California definió Lithium Valley

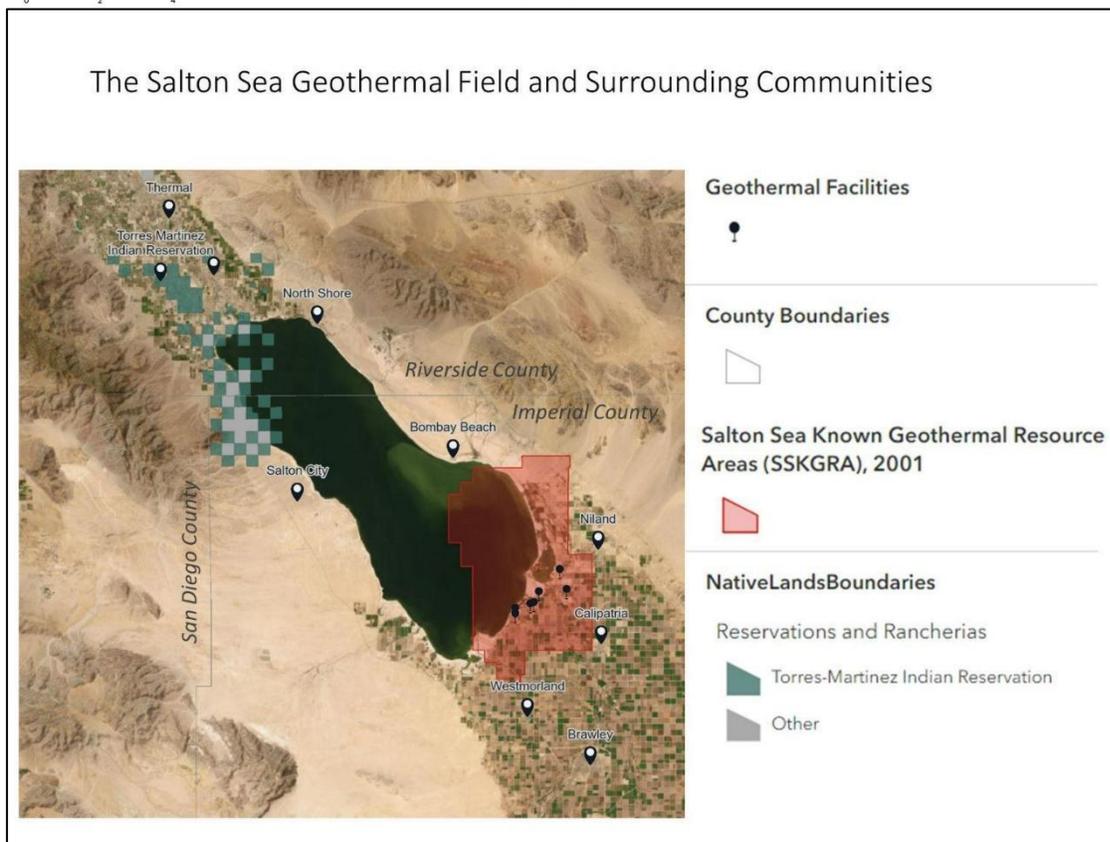
² Supuestos: batería Tesla de 85 kWh, batería Fiat 500 de 42 kWh, batería de bicicleta eléctrica de 0.75 kWh, con una composición de 0.1 kg Li/kWh (basado en los valores predeterminados de composición de materiales de “BatPaC 5.0”). BatPaC es un software del Laboratorio Nacional Argonne que estima los costos de fabricación de baterías de iones de litio; ver.

como “una industria del litio de clase mundial en California centrada en la recuperación de litio de la salmuera geotérmica en la región del Salton Sea y la expansión de la producción de energía geotérmica, además de la creación directa y relacionada oportunidades de desarrollo económico y comunitario”. El Condado de Imperial está en el proceso de desarrollar un plan específico para Lithium Valley, utilizando los límites que se muestran en el mapa siguiente.



Izquierda: El Área de Estudio del Plan Específico de Lithium Valley presentado por el Condado de Imperial.

Abajo: Mapa de la región del Salton Sea que muestra los límites de SS-KGRA, las plantas de energía geotérmica, las comunidades cercanas y los límites de las tierras nativas.

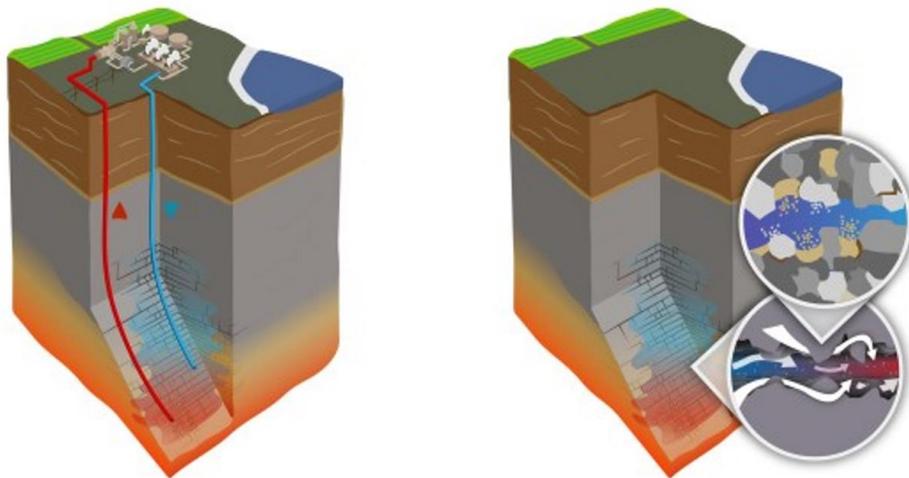


Recursos de litio en la región del Salton Sea

1. ¿Dónde se encuentran los depósitos de litio y por qué están allí?

Los depósitos se concentran alrededor de la costa sureste del Salton Sea, en una zona llamada Área de Recursos Geotérmicos Conocida del Salton Sea (SSKGRA, por sus siglas en inglés). El litio no está en Salton Sea, sino que se disuelve en un depósito cercano de salmuera que se distribuye por los poros y fracturas de las rocas aproximadamente a una milla debajo de la superficie de la Tierra. El SSKGRA tiene ese nombre simplemente por su proximidad al Salton Sea, por lo que se utilizó el Salton Sea como punto de referencia. Por ejemplo, hay otro área de recursos geotérmicos cercano llamado el Campo Geotérmico Brawley que se encuentra cerca (pero no dentro) del pueblo de Brawley.

La salmuera caliente bajo el Salton Sea es muy rica en minerales disueltos, de hecho, hay tantos minerales que hay que gestionarlos con cuidado para evitar dañar tuberías y maquinaria en las instalaciones geotérmicas. Los científicos creen que el origen de la salmuera geotérmica del Salton Sea fue el agua parcialmente evaporada del río Colorado de las eras Pleistoceno y Holoceno (desde 2.58 millones de años hasta el presente) que fluyó profundamente hacia la tierra a través de fallas (Williams y McKibben, 1989). El agua salada se calentó a medida que avanzaba hacia las profundidades de la superficie de la Tierra, lo que provocó que disolviera más minerales de las rocas subterráneas y se convirtiera en una solución compleja cargada de metales (McKibben y Hardie, 1997; Garrett, 2004).



Arriba: Representación del reservorio geotérmico subterráneo. La imagen de la izquierda muestra la salmuera caliente que sube a la superficie por medio de un pozo para alimentar la planta geotérmica y luego se reinyecta. La imagen de la derecha ilustra minerales de roca dura que se disuelven en la salmuera y la salmuera se calienta a medida que fluye. Crédito: Jeremy Snyder, Laboratorio de Berkeley

2. ¿Cuánto litio hay?

Nuestro equipo estima que hay 0.76 millones de toneladas métricas (MT, por sus siglas en inglés) de litio metálico en la parte del reservorio que ya se ha desarrollado para la producción de energía (“reservorio comprobado”), y hasta 2.6 millones de toneladas métricas a las que se puede acceder sin mayor evaporación del Salton Sea o avances tecnológicos (“recursos accesibles”). Se estima que alrededor de 24,000 MT de litio fluyen a través de las plantas geotérmicas existentes cada año.

La cantidad máxima que realmente se podría producir es menor, porque la tecnología no podrá recuperar el 100% del litio. Suponiendo una tasa de recuperación del 90% (que es lo que las empresas han declarado que su tecnología puede lograr), ya hay 21,600 MT por año de litio recuperable fluyendo a través de las plantas de energía. La siguiente tabla calcula cuántos vehículos eléctricos se podrían producir con estas cantidades.³

	MT Litio	MT LCE	#Tesla Modelo S	#Fiat 500	# bicicletas eléctricas
Recuperables en las plantas eléctricas actuales.	21,600	115,000	2.5 millones	5.1 millones	288 millones
Recursos probados	0.76 millones	4.1 millones	90 millones	183 millones	10 mil millones
Recursos accesibles	2.6 millones	13.7 millones	300 millones	613 millones	34 mil millones

3. ¿Cuánto tiempo durará el recurso de litio?

En este momento, no podemos predecir con certeza cuántos años de producción podría soportar el recurso. La cantidad total que se producirá está determinada en parte por la economía. El reservorio se diluirá con el tiempo, por lo que, en cierto punto, la concentración de litio probablemente bajará lo suficiente que ya no tenga sentido económico extraerlo. Exactamente cuándo sucederá esto dependerá de factores globales como cambios en el precio del litio o el costo de la tecnología de extracción en el futuro, así como de decisiones locales, como cuántas instalaciones de extracción se construyen y dónde se ubican los pozos de reinyección. En la siguiente fase de nuestro estudio, uno de nuestros objetivos es mejorar nuestros modelos del reservorio y nuestro análisis económico para hacer mejores predicciones sobre cuánto tiempo podría durar la producción.

³ Mismos supuestos que antes: batería Tesla de 85 kWh, batería Fiat 500 de 42 kWh, batería de bicicleta eléctrica de 0.75 kWh, con una composición de 0.1 kg de Li/kWh.

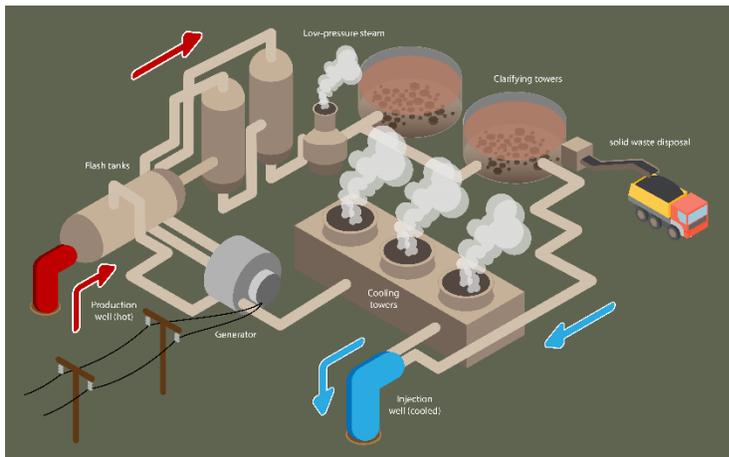
Acerca de la extracción directa de litio (DLE)

1. ¿Cómo se extrae el litio de la salmuera?

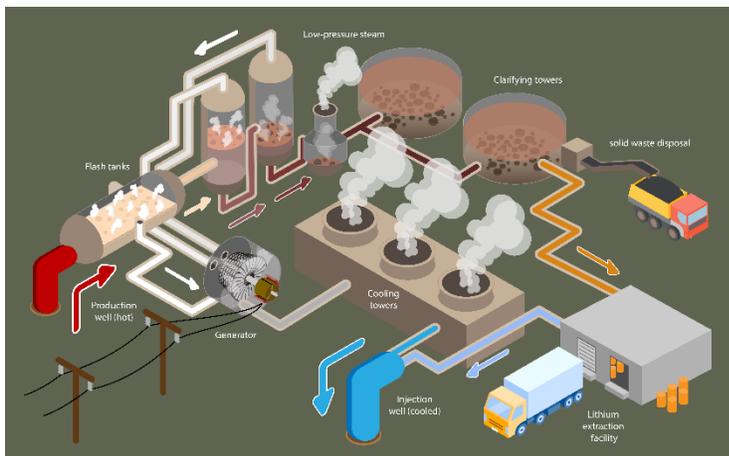
En primer lugar, los operadores deben eliminar algunos de los minerales disueltos de la salmuera para facilitar la recuperación del litio. Para ello, añaden químicos como piedra caliza que reacciona con minerales (principalmente sílice y hierro) para convertirlos en sólidos, que luego se hunden hasta el fondo de las torres clarificadoras. Esto se llama "precipitación" y los sólidos se llaman "precipitados". La salmuera clarificada pasa luego al circuito de recuperación de litio.

Cada una de las empresas está desarrollando su propia tecnología para separar el litio de la salmuera, y existen diferentes procesos que podrían utilizar. El proceso más avanzado se llama "adsorción", que básicamente significa "hacer que una cosa se adhiera a otra". Pasarán la salmuera a través de columnas llenas de pequeñas perlas compuestas de partículas de aluminio u óxido de titanio, que se adhieren selectivamente al Li disuelto y lo separan de la salmuera. Luego, estas perlas se lavan y se pueden pasar por el ácido para eliminar el litio y otros iones metálicos y prepararlas para usarlas nuevamente. Después de eso, la salmuera restante se reinyecta nuevamente al reservorio geotérmico.

(Referencias: Featherstone y otros, 2020; Paranthaman et al., 2017; Stringfellow y Dobson, 2021; Vera et al., 2023.)



Arriba: Ilustración de una planta de energía geotérmica, incluyendo el proceso de remoción de sólidos (se depositan en el fondo de las "torres clarificadoras" o clarifying towers)



Abajo: Planta de energía geotérmica con un paso de extracción de litio agregado después de que se clarifica la salmuera.

2. ¿Se pueden extraer otros minerales de la salmuera?

Sí. Eso se trata principalmente de si el valor de mercado de los minerales es mayor que el costo de recuperarlos y purificarlos. Además del litio, los desarrolladores están más interesados en recuperar zinc y manganeso. El manganeso es otro mineral que se utiliza en la producción de baterías y también para fabricar acero inoxidable. El zinc tiene una amplia variedad de usos, incluido el galvanizado de acero y hierro.

3. ¿Qué sucede después de que se extrae el litio?

Una vez extraído, el litio se recupera en forma de una sal llamada cloruro de litio. Para usarse en una batería, el cloruro de litio debe refinarse hasta obtener un compuesto apto para baterías, ya sea carbonato de litio o hidróxido de litio monohidrato. El carbonato de litio se fabrica agregando carbonato de sodio (“ceniza de sosa” o *soda ash*) al cloruro de litio y luego el producto se lava y seca para purificarlo hasta obtener una calidad suficientemente alta para hacer baterías. La producción de hidróxido de litio requiere un procesamiento adicional. El carbonato de litio se combina con hidróxido de calcio (también conocido como cal hidratada) y luego se purifica para obtener un material apto para baterías.

El resto de la salmuera se reinyecta al reservorio.

4. He oído a personas decir que Lithium Valley se convertirá en un “centro de suministro de baterías”. ¿Qué significa eso?

Se trata de utilizar el litio para fabricar baterías e incluso vehículos eléctricos localmente, en lugar de simplemente exportarlo para fabricar baterías en otro lugar. Hay algunas razones por las que la gente está interesada en hacer esto. Permitiría capturar más valor localmente, ya que cada paso adicional de refinación y producción genera ingresos y empleo adicionales. También eliminaría el transporte innecesario, lo que reduciría el impacto ambiental (incluida la huella de carbono o *carbon footprint*) de la producción de baterías y vehículos eléctricos. Finalmente, apoyaría los objetivos de seguridad nacional al mantener la cadena de suministro dentro de los EE. UU.

¿Qué significaría realmente convertir Lithium Valley en un centro de suministro? Básicamente, significaría atraer a la región empresas que se especialicen en otros pasos de la cadena de suministro de baterías. Esto podría incluir:

- Fabricación de componentes de baterías, especialmente para fabricar cátodos (la parte de la batería que contiene más litio).
- Instalaciones de producción de celdas y paquetes de baterías. Para fabricar baterías, se ensamblan diferentes componentes (incluido el cátodo) en celdas. Luego, las celdas se configuran para formar un paquete de baterías, que está equipado con software, electrónica y una carcasa exterior protectora.
- Fábricas de automóviles para fabricar vehículos eléctricos.
- Instalaciones de reciclaje para recuperar materiales de paquetes de baterías una vez que hayan llegado al final de su vida útil.

Uso del agua

La fuente de litio es un reservorio subterráneo de salmuera caliente, que no se puede utilizar para beber ni para riego. La salmuera se reinyecta al depósito después de la extracción. No obstante, la energía geotérmica y la extracción directa de litio (DLE) consumen agua dulce para algunas de sus operaciones. En esta sección, hablamos sobre el uso del agua para la producción geotérmica y de litio, incluida la fuente de agua y la cantidad de agua que se espera que consuman las instalaciones.

[Nuestro informe técnico sobre el uso del agua se puede acceder aquí \(página disponible en inglés\)](#). Incluye un análisis de la disponibilidad actual de agua, la demanda de agua proyectada para la producción ampliada de energía geotérmica y de litio, y el impacto potencial en la disponibilidad futura de agua en escenarios de sequía.

1. ¿Cuánta agua utiliza la geotermia y la DLE?

En promedio, las plantas de energía geotérmica existentes en la región consumen alrededor de 16 AF de agua cada año por MW de capacidad de generación de electricidad. Esto equivale aproximadamente a una piscina olímpica por año para abastecer de energía a unos 100 hogares (CAISO, sin fecha).⁴ Así, una planta de 50 MW, típica en esta región, consumiría alrededor de 800 AF por año, aproximadamente la cantidad de agua que se necesitaría para cultivar 130 acres de alfalfa (Montázar, s.f.).⁵ El consumo total de todas las plantas de energía en el campo geotérmico de Salton Sea es de aproximadamente 6500 AF/año, lo que representa el 0.25 % del suministro total de agua para el Distrito de Irrigación Imperial (IID, por sus siglas en inglés).⁶

Es más difícil estimar el consumo de agua para la extracción de litio porque no tenemos suficientes datos sobre los procesos que se utilizarán y cómo funcionará la tecnología a escala comercial. Se necesitarán informes transparentes y continuos de las instalaciones de demostración para que podamos comprender las implicaciones para el consumo de agua antes de que la tecnología se amplíe. Sin embargo, sí sabemos que la asignación de agua de EnergySource Minerals del IID es de 3,400 AF por año para una instalación comercial que produce alrededor de 17,000 MT de LCE, lo que se traduce a alrededor de 0.2 AF por tonelada métrica de LCE (aunque los representantes de EnergySource Minerals declararon en una reunión pública que esperan que el consumo real de agua sea menor).

(Referencias: *Borrador del Informe de Impacto Ambiental para el Proyecto ATLiS de Minerales de Fuente de Energía, Imperial, California, 2021*; *Plan Imperial Integrado de Gestión del Agua Regional*)

2. ¿De dónde obtendrán agua las instalaciones geotérmicas y de litio?

Estos procesos utilizarán agua del canal del río Colorado suministrada por IID para los aproximados 0.2 AF necesarios por tonelada métrica de LCE. Para que el agua se estire aún más, las instalaciones también

⁴ 16 AF = 29,736 m³ = 7,9 piscinas cada año por MW de capacidad, suficiente para 750 hogares, según el Operador Independiente del Sistema de California (CAISO). Ver [esta página "Comprensión de la electricidad" de CAISO](#).

⁵ Un acre de alfalfa en el condado de Imperial consume entre 6 y 6.5 AF/año.

⁶ El suministro total de agua del IID para 2020 fue de 2.6 millones de AF. Ver [estas diapositivas del IID](#).

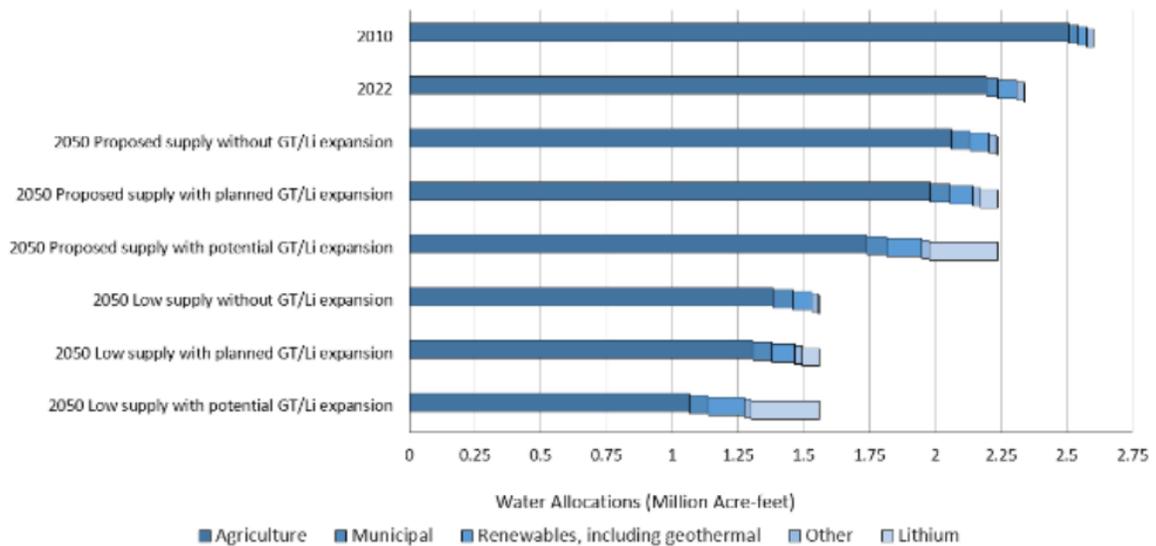
planean recuperar agua del vapor geotérmico una vez que se haya condensado nuevamente en líquido (“condensado de vapor”) como suministro de agua adicional en sus instalaciones.

3. ¿Es suficiente el suministro de agua para satisfacer la demanda de la industria?

El IID tiene derechos sobre una cantidad específica de agua del canal cada año, y asigna la cantidad que puede ser utilizada por la agricultura, las ciudades y las instalaciones industriales dentro de su área de servicio. Eso significa que una cierta cantidad de agua se reserva para usos industriales, como la producción de energía geotérmica o la extracción de litio. A partir de 2023, el 97% de la asignación de agua del IID se utilizará para la agricultura. El agua potable y otros usos domésticos se clasifican como uso de agua municipal, lo que representa aproximadamente el 1.5% de la asignación del IID. La geotermia y otros usos industriales rondan el 1%. El IID ha reservado 25,000 AF de agua industrial por año para la extracción de litio y otros usos industriales. Según la asignación de agua asumida por EnergySource Minerals, eso sería suficiente para producir al menos 125,000 MT de LCE por año.

Si la producción de energía geotérmica de la región se expande a 920 MW en los próximos años según lo planeado, estimamos que se necesitarán alrededor de 15,000 AF de agua anualmente para estas plantas de energía. Los documentos de planificación futura del IID han asignado agua para energía renovable en la región, incluida la producción de energía geotérmica. La extracción de litio en instalaciones de energía geotérmica que producen 920 MW requeriría entre 50,000 y 65,000 AF de agua, dependiendo de los procesos de extracción que se utilizarán. En conjunto, la producción geotérmica y de litio planificada representaría alrededor del 6% de la asignación actual de agua del río Colorado al IID.

La pregunta que se avecina es cuánta agua del río Colorado estará disponible en las próximas décadas, mientras la cuenca del río Colorado enfrenta una sequía constante y una aridificación a largo plazo. En mayo de 2023, California, Nevada y Arizona acordaron reducir el uso de agua en aproximadamente un 14 % de aquí a 2026. En 2026, se renegociarán las asignaciones de agua. En escenarios con un bajo suministro de agua en el futuro, sería necesario reasignar agua de la agricultura para satisfacer la demanda de la expansión geotérmica y de litio planificada (aunque la agricultura seguiría siendo, con diferencia, el mayor usuario de la región). Para obtener más información sobre los recortes propuestos en la asignación del río Colorado, consulte [este artículo de CalMatters \(página disponible en inglés\)](#).



Arriba: Estimación del agua IID necesaria para la producción ampliada de energía geotérmica y los procesos de extracción de litio en diferentes escenarios de suministro de agua del Río Colorado.

4. ¿Por qué utilizan agua las plantas geotérmicas?

Las plantas geotérmicas utilizan agua principalmente:

- En torres de enfriamiento. Una vez generada la electricidad, las torres de enfriamiento hacen circular agua fría para reducir la temperatura del vapor, de modo que lo vuelva a convertir en líquido y pueda reinyectarse bajo tierra. Parte de esta agua se reutiliza para otras operaciones, pero una porción se pierde a la atmósfera a través de evaporación.
- Diluir la salmuera. Si la salmuera es demasiado salada, interfiere con la capacidad de las plantas para generar electricidad. El consumo de agua de las plantas eléctricas de SSKGRA varía porque las plantas con la salmuera más salada tienen que utilizar más agua para diluirla.

Para la extracción de litio basada en adsorción, es probable que se utilice agua para extraer los compuestos de cloruro de litio del sorbente (*sorbent*) una vez que se hayan separado de la salmuera, y para lavar el ácido clorhídrico de las perlas sorbentes. Una vez más, es difícil decirlo con certeza sin datos concretos sobre la tecnología de extracción.

5. ¿Se reciclará el agua en las instalaciones?

Todas las empresas involucradas en la extracción de litio han manifestado planes para reciclar agua en sus procesos. Sin embargo, no tenemos datos sobre qué porcentaje de agua se reciclará, cuántas veces se puede reciclar el agua y si ya han tenido en cuenta el reciclaje en sus estimaciones de uso de agua. Como resultado, el reciclaje de agua no fue parte de este estudio.

6. ¿Tomarán las instalaciones agua de las comunidades cercanas o afectarán la calidad de sus aguas? ¿Cómo se protegerá el agua comunitaria?

Las instalaciones sólo pueden utilizar agua destinada a uso industrial, por lo que el suministro municipal no debería verse afectado. No se espera que los procesos geotérmicos ni de extracción de litio interfieran con la calidad del agua. Las empresas deben tratar el agua de proceso en el sitio antes de descargarla.

7. ¿La DLE utilizará agua del Salton Sea o afectará los niveles de agua del Salton Sea?

Ninguna de las instalaciones utilizará agua del Salton Sea ni afectará los niveles de agua del Salton Sea a través de ninguna de sus operaciones.

El principal factor que históricamente ha afectado los niveles del Salton Sea es la cantidad de agua que fluye desde las granjas circundantes. Cuando se implementan medidas de conservación del agua, hay menos escorrentía agrícola y el nivel de agua se baja más rápido. Entonces, si la sequía continua significa que el IID tiene menos agua del río Colorado para asignar, las granjas probablemente tendrían que reducir su consumo de agua, lo que afectaría el nivel del agua del Salton Sea.

Impactos ambientales

1. ¿Cuáles son las emisiones al aire de la energía geotérmica y la DLE? ¿Qué hay en el vapor que vemos hoy cerca de las plantas eléctricas?

Si ha conducido alrededor de las plantas de energía geotérmicas cerca del extremo sur del Salton Sea, probablemente ha notado columnas de vapor que se elevan desde las chimeneas. Este vapor tiene más de 99% de agua y 0.2% de dióxido de carbono (CO₂), con trazas de sulfuro de hidrógeno (H₂S) y amoníaco (NH₃).

Las plantas eléctricas cercanas al Salton Sea emiten cada una menos de 25,000 toneladas de CO₂ por año. En relación con la energía que producen, esto es seis veces menor que las emisiones de una planta eléctrica de gas natural y 13 veces menor que las de una central alimentada por carbón. En el caso de las plantas eléctricas de carbón y gas natural, la mayoría de las emisiones se liberan cuando el combustible se quema para generar calor y producir vapor. La energía geotérmica no utiliza combustión, por lo que las emisiones provienen de moléculas de la salmuera que escapan al aire a medida que la presión se disipa en la superficie. En el futuro, algo de las emisiones CO₂ de salmuera y vapor podrían capturarse y utilizarse para producir carbonato de litio.

El H₂S emitido por las plantas de energía geotérmica es aproximadamente una décima parte de la cantidad de H₂S que es emitido naturalmente por el Salton Sea. Las plantas eléctricas en SSKGRA utilizan una variedad de métodos para controlar las emisiones de H₂S. El enfoque más común es transformarlo en una forma que no se libere a la atmósfera.

Es más difícil estimar específicamente las emisiones del proceso DLE porque las empresas todavía están desarrollando sus tecnologías. No se espera que las emisiones de la DLE sean significativas ya que el proceso no utilizará combustión, pero sin saber exactamente qué productos químicos y tecnologías de mitigación se utilizarán, no podemos dar una estimación exacta. Cada empresa comenzará con una pequeña instalación de demostración antes de construir una fábrica a escala comercial y tendrá que demostrar que cumple con los estándares locales de calidad del aire para obtener un permiso.

Más información y recursos sobre las emisiones al aire (páginas disponibles en inglés):

- El capítulo del informe técnico sobre emisiones al aire comienza en la [página 100 del informe completo](#).
- Para una descripción más detallada de H₂S y tecnología de reducción de H₂S, [ver páginas 114-117 y 128-129 del informe completo](#).
- Las plantas de energía que operan en California deben mitigar estas emisiones e informarlas a la Junta de Recursos del Aire de California (CARB, por sus siglas en inglés) si superan un cierto límite. [Para acceder a datos sobre emisiones de GHG de instalaciones geotérmicas \(y otras\), busque aquí](#).
 - *Consejo:* Los datos están en una hoja de cálculo. Si hace clic en “2021 GHG Facility and Entity Emissions,”, se descargará un archivo de Excel.
- [Para acceder a datos sobre criterios y emisiones de contaminantes tóxicos, consulte aquí \(página disponible en inglés\)](#).
 - *Consejo:* Haga clic en "Begin your facility search here," lo que abrirá un buscador. Seleccione “Imperial County” en el menú desplegable de "district" y presione “submit” para ver las instalaciones en el Condado de Imperial.

2. ¿Cuáles son los subproductos de la extracción directa de litio?

El principal subproducto sólido de la producción geotérmica y de litio es el precipitado de sílice rico en hierro, que tiene una textura similar a la arena y normalmente no es peligroso. Los operadores geotérmicos ya tienen que eliminar una cantidad de la sílice antes de poder reinyectar la salmuera, de lo contrario se acumularía en las tuberías y dañaría la maquinaria. Los operadores deberán retirar más sílice para purificar la salmuera antes de que puedan extraer el litio. El precipitado de sílice, conocido como “torta de filtración” (*filter cake*), actualmente se envía a un vertedero (más detalles sobre esto en la siguiente pregunta), pero las empresas están buscando activamente compradores que puedan usar la torta de filtración para fabricar productos como arena de sílice para cemento. Y nuevamente, la cantidad de desechos que se generen dependerá de la tecnología de extracción de litio y de si los subproductos pueden usarse para otros fines, en lugar de ir a vertederos.

Una estimación máxima de los desechos sólidos adicionales que podrían resultar si todo el litio se extrajera de la salmuera procesada actual sería de 889,000 toneladas/año (aunque debería ser menos, según nuestros cálculos). Esto equivaldría a aproximadamente 85 camiones por día a través del SS-KGRA y un poco más de 10 camiones por planta eléctrica.⁷ Como referencia, el viaje diario promedio por la autopista 11 cerca de Niland es de aproximadamente 3500 vehículos por día (CalTrans, 2019).

Los desechos son principalmente sílice, pero también hay trazas de arsénico, plomo y otros minerales que deben manipularse con cuidado. Aproximadamente entre una quinta y una tercera parte de los desechos sólidos de las plantas de energía geotérmica requieren manejo como desechos peligrosos según las regulaciones de California.

[El capítulo del informe técnico sobre producción de residuos sólidos y subproductos comienza en la página 126 del informe completo.](#)

3. ¿Cómo se gestionarán los residuos?

En primer lugar, se deben analizar los desechos sólidos en busca de materiales peligrosos para determinar a qué vertedero deben enviarse. El destino de los desechos depende de la empresa y de si cumple con los límites de desechos peligrosos, que en California son más estrictos que los estándares federales. Para los desechos no peligrosos, Berkshire Hathaway Energy Renewables (BHER, por sus siglas en inglés) opera su propio *monofill* (un vertedero para un solo tipo de desecho) en las afueras de Brawley, mientras que Cytq, una empresa más pequeña, utiliza el vertedero de la ciudad de Salton. Los desechos que exceden el límite de California pero que no son peligrosos según los estándares federales se envían a un vertedero industrial en Yuma, Arizona. Los desechos que se consideran peligrosos según los estándares estatales y federales se envían al vertedero de Button Willow en el condado de Kern, que tiene permiso para manejar desechos peligrosos.

Las empresas deben informar datos sobre su generación de desechos peligrosos al Departamento de Control de Sustancias Tóxicas de California (DTSC, por sus siglas en inglés); puede acceder a esa información en el [Sitio web de DTSC \(página disponible en inglés\)](#).

⁷ Suponiendo que cada camión transporta 28 toneladas.



Izquierda: Almacenamiento de desechos en las instalaciones de BHER.

Crédito: Jeremy Snyder/Berkeley Lab

4. ¿Influye la producción de energía geotérmica en la actividad sísmica?

El Campo Geotérmico del Salton Sea (SSGF, por sus siglas en inglés) se encuentra en un área tectónica y volcánicamente activa. En realidad, esto es lo que calienta la salmuera lo suficiente como para generar electricidad. Nuestro equipo analizó datos históricos para comprender mejor la relación entre la producción de energía geotérmica y las tasas de sismicidad locales, que reflejan la frecuencia de los terremotos. Es importante señalar que los datos que miden la sismicidad son limitados. Sólo está disponible un catálogo detallado de sismicidad a partir de 1972, lo que hace difícil saber si la actividad reciente es parte de un patrón más amplio o si se atribuye a cambios a la producción geotérmica con certeza.

Nuestro análisis encontró que la actividad sísmica en el SSGF era menor que en la zona sísmica más amplia en la década de 1970, pero aumentó después de que se comenzó a producir energía geotérmica en 1982. Sin embargo, las tasas de sismicidad se estabilizaron a principios de la década de 2000, y desde 1996 han estado débilmente correlacionadas con el volumen de fluido que inyectan las plantas eléctricas. Las tasas de sismicidad en el SSGF son ahora similares a las de la zona sísmica de Brawley en general, que está controlada por la actividad tectónica.

No se espera que la extracción de litio tenga un impacto en la sismicidad si la tasa de producción/inyección se mantiene en el nivel actual, porque la extracción ocurre después de que la salmuera llega a la superficie y no requiere ninguna perforación o reinyección adicional. Sin embargo, es importante que los operadores tomen precauciones y eviten ubicar los pozos de producción y reinyección cerca de fallas activas cuando construyen nuevas plantas geotérmicas.

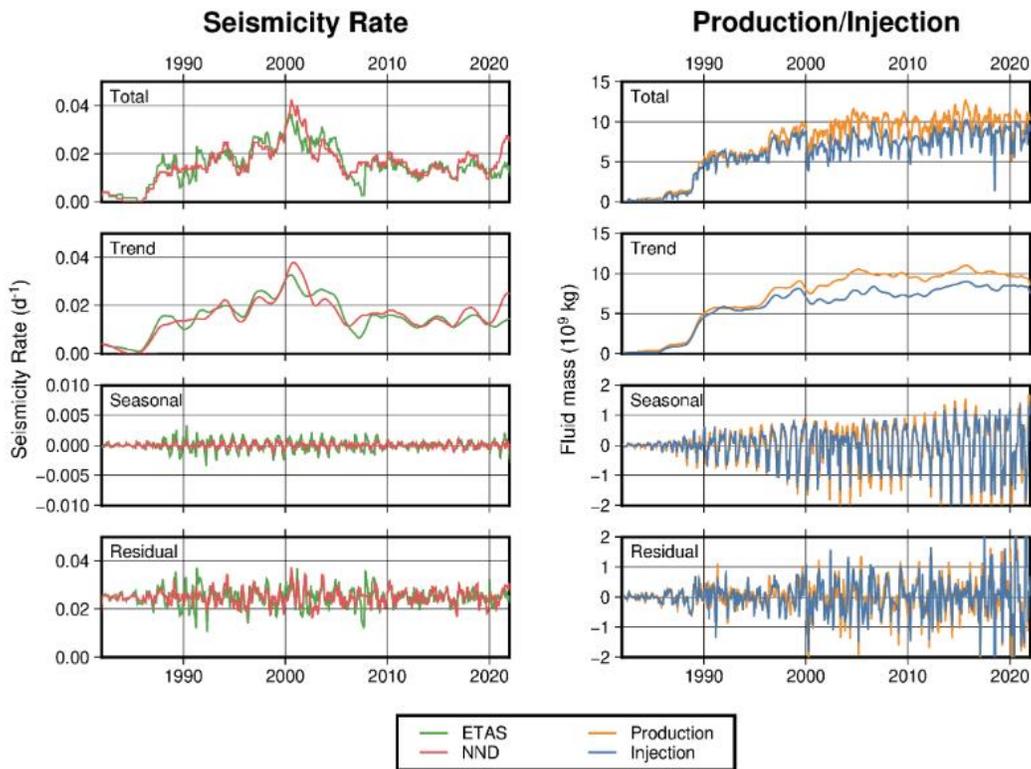


Figure 6: Shows the observed a) seismicity rate and e) production/injection histories. b) and f) show the secular trend of the observed histories. c) and g) show the seasonal component of the observed histories. d) and h) show the residual component of the observed histories.

Arriba: Tasas de sismicidad registradas junto al volumen de fluido que se produce e inyecta en el depósito geotérmico del capítulo sobre sismicidad. [.El capítulo sobre sismicidad del informe técnico comienza en la página 159 \(página disponible en inglés\).](#)

5. ¿Qué productos químicos se utilizan?

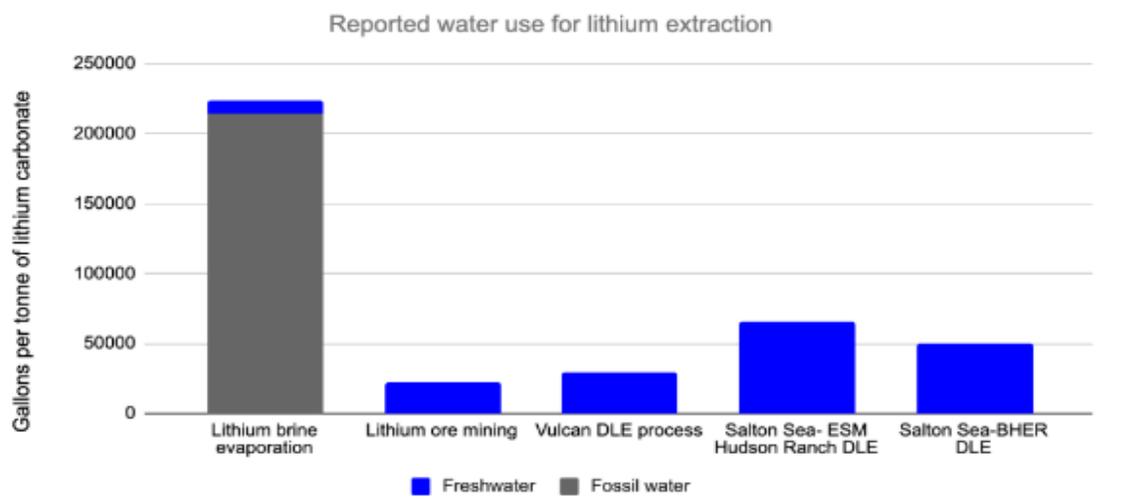
Las plantas de energía geotérmica utilizan productos químicos para evitar que se acumulen minerales dentro de la maquinaria y controlar las emisiones de contaminantes al aire. Las plantas deben informar qué productos químicos utilizan a la Junta Regional de Control de Calidad del Agua y presentar hojas de datos de seguridad para obtener la aprobación para operar. Los productos químicos utilizados en las plantas eléctricas del campo geotérmico del Salton Sea incluyen inhibidores de corrosión a base de fosfato y "TowerBrom", un producto utilizado para mitigar las emisiones de sulfuro de hidrógeno. Son similares a los productos químicos utilizados para el tratamiento del agua y el control de procesos en otras instalaciones industriales.

Para más información, ver el capítulo sobre uso de químicos y desechos sólidos, que comienza en la página 126 del informe completo (página disponible en inglés).

6. ¿Cómo se comparan los impactos con otras formas de producir litio?

Con la DLE aún en desarrollo, actualmente existen dos formas principales de producir litio: minería de roca dura y evaporación de salmuera. En la minería de roca dura, normalmente se extrae físicamente una sustancia llamada mineral de espodumeno (*spodumene*), se calienta, se pulveriza, se mezcla con ácido, se recalienta, se vuelve a filtrar y se concentra para formar carbonato de litio (aunque el proceso exacto varía según las características del mineral). Se trata de un proceso costoso y que consume mucha energía, utilizando calor y electricidad generados a partir de combustibles fósiles. Con los estanques de evaporación de salmuera, se bombea salmuera rica en litio a la superficie en zonas cálidas y secas. Básicamente, los estanques dejan que la salmuera repose al sol durante 1 o 2 años, lo que evapora parte del agua, dejando una solución más concentrada que se puede procesar en materiales aptos para baterías. La evaporación de salmuera consume menos energía y agua dulce en comparación con la minería de roca dura. Sin embargo, la evaporación utiliza vastas extensiones de tierra, hasta 3000 acres, en comparación con solo 50 acres para la DLE geotérmica. Se deben bombear cantidades sustanciales de salmuera a la superficie, lo que requiere energía, y gran parte de esta salmuera luego se pierde por evaporación.

La DLE utiliza la menor cantidad de tierra de los tres métodos y tiene menores emisiones de carbono que la minería basada en minerales. Nuestro análisis encuentra que el consumo de agua de la DLE es menor que el de la evaporación si se cuenta el agua de la salmuera, pero ligeramente mayor que las estimaciones de la minería basada en minerales (aunque esto se basa en asignaciones de agua que pueden ser mayores que el consumo real del proceso).



Arriba: figura que compara el uso de agua para diferentes métodos de extracción de litio de nuestro informe técnico. “DLE” es extracción directa de litio. "ESM" es EnergySource Minerals y "BHER" es Berkshire Hathaway Energy Renewables.

Las siguientes referencias tienen más información sobre los impactos ambientales de los diferentes procesos de extracción de litio: Dai et al., 2019; Flexer et al., 2018; Kelly et al., 2019, 2021; Schenker et al., 2022; Vera et al., 2023; Vulcan Energy, 2021.

Preguntas fuera de alcance

1. Salud pública

La salud pública es una prioridad para las comunidades de todo el mundo, y especialmente para las comunidades cercanas al Salton Sea que enfrentan desafíos extremos relacionados con el asma y la calidad del aire. Para cualquier desarrollo propuesto para el área, es crucial considerar los impactos potenciales en la salud pública y cómo se monitoreará y se protegerá la salud pública. Aunque nuestro estudio no detectó ninguna señal de alerta relacionada con los impactos medioambientales, no podemos contestar preguntas sobre la salud pública. Recopilamos datos preliminares sobre emisiones y flujos de desechos, pero sería necesaria una mayor investigación que involucre tanto a expertos en salud pública como a la participación activa de la comunidad para proporcionar información más concreta.

Las propiedades del litio en sí y sus posibles implicaciones para la salud también estaban fuera del alcance de este informe. Al observar otros estudios, no encontramos evidencia que sugiera que sea inseguro estar cerca de los compuestos que se producirán cerca del Salton Sea (es decir, cloruro de litio, carbonato de litio e hidróxido de litio), pero la salud pública no se ha estudiado exhaustivamente en el contexto de la producción de baterías. En este momento, la mayor parte de la información sobre el litio y la salud proviene de estudios sobre el uso del litio para tratar el trastorno bipolar, una afección psicológica. Los pacientes que toman litio como tratamiento para el trastorno bipolar deben tener cuidado de seguir las instrucciones del médico para evitar la toxicidad del litio, que puede ocurrir cuando las personas toman demasiado medicamento con litio o si están tomando otros medicamentos que causan una interacción. Los síntomas de la intoxicación por litio van desde náuseas hasta convulsiones en concentraciones extremadamente altas ($>3,5$ mEq/L) (Hedya y otros, 2023). La Agencia Europea de Productos Químicos consideró clasificar el litio como peligroso para la reproducción basándose en estudios sobre los resultados de salud reproductiva de pacientes médicos que toman dosis muy altas de litio. La Agencia concluyó que no había motivos para clasificar el litio como peligroso para el cáncer o la mutación celular (Bjorge y Husa, 2021).

Otro riesgo asociado con el litio está relacionado con las baterías de iones de litio. Las baterías de iones de litio deben manipularse y almacenarse con cuidado porque si se dañan físicamente o se incendian, se puede desencadenar una reacción química que produce cada vez más calor, lo que se denomina “escape térmico” (*thermal runaway*). Estas baterías no tienen más probabilidades de incendiarse que las baterías de automóvil normales, pero la posibilidad de escape térmico hace que los incendios de las baterías de iones de litio sean más peligrosos y complicados de apagar si ocurre un incidente porque alcanzan temperaturas tan altas (Kong et al., 2018; Junta Nacional de Seguridad en el Transporte, 2020).

2. Desarrollo de la fuerza laboral

La calidad y cantidad de empleos que podrían crearse mediante la expansión de la producción geotérmica y de litio es sin duda una pregunta frecuente, junto con qué capacitación estará disponible para que los residentes locales sean elegibles para esos empleos. Sin embargo, en nuestro informe no abordamos temas socioeconómicos como el desarrollo de la fuerza laboral porque la experiencia de nuestro equipo es en ciencias físicas.

Las empresas han proporcionado estimaciones de empleo en sus sitios web y en diferentes presentaciones. Por ejemplo, EnergySource Minerals ha declarado que planea contratar 70 empleados para sus operaciones relacionadas con el litio. Varias instituciones locales participan en capacitación o promoción relacionada

con el desarrollo de la fuerza laboral. Actualmente, Imperial Valley College está desarrollando programas para preparar a los estudiantes para carreras en la industria geotérmica y del litio, con un programa de certificación de operadores de plantas que comenzó en el otoño de 2023. La Universidad Estatal de San Diego recibió \$80 millones para construir una escuela de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM, por sus siglas en inglés) en Brawley. Varios sindicatos también han participado en algunos esfuerzos relacionados con Lithium Valley, incluido IBEW-569; Consejo Laboral de los Condados de San Diego e Imperial, AFL-CIO; United Auto Workers, Estados del Oeste; y UA Local 230 (*Socios*, sin fecha).

3. Inversión de impuestos y participación pública

El estado de California aprobó la SB 125, un proyecto de ley de impuestos al litio, en 2022 que evalúa hasta 800 dólares por tonelada de LCE producida. La forma en que se inviertan estos ingresos será un factor para determinar si las comunidades circundantes se beneficiarán de una posible industria del litio y de qué manera. Sin embargo, no es apropiado que nuestro equipo hable sobre este tema ya que nuevamente está fuera de nuestra área de especialización y no somos residentes del área.

La SB 125 también asignó \$5 millones al Condado de Imperial para preparar un informe programático de impacto ambiental, apoyar la extensión comunitaria y la participación de las partes interesadas, y recopilar opiniones del público. Al momento de escribir este artículo, este proceso está en camino, con alcance apoyado por organizaciones comunitarias en el área. El condado mantiene un [sitio web con información sobre Lithium Valley \(página disponible en inglés\)](#), incluidos anuncios sobre próximos talleres y un documento que contiene todos los comentarios públicos enviados sobre la inversión de ingresos.

La siguiente tabla contiene enlaces a sitios web de algunas de las organizaciones comunitarias que recibieron fondos de la SB 125 para la divulgación en Lithium Valley.

Organización	Sitio web
Comité Cívico del Valle	https://www.ccvhealth.org/?lang=es
Coalición de Equidad y Justicia del Valle Imperial	http://ivequityjustice.org/ (página disponible en inglés)
Los Amigos de la Comunidad IV	https://losamigosdelacomunidad.com/ (página disponible en inglés)
Centro de recursos LGBT del Valle Imperial	https://ivlgbtcenter.com/ (página disponible en inglés)

4. Restauración del Salton Sea

Según la SB 125, el 20% de los ingresos fiscales del litio deberían asignarse a la restauración del Salton Sea. [Puede obtener más información sobre los proyectos de restauración del Salton Sea aquí.](#)

Referencias

Bjorge, C. y Husa, S. (2021). *Dictamen que propone una clasificación y etiquetado armonizados a nivel de la UE del carbonato de litio [1] cloruro de litio [2] hidróxido de litio [3]* (N° CLH-O-0000007034-82-01/F). Agencia Europea de Productos Químicos.

CAISO. (sin fecha). *Entendiendo la electricidad*. ISO de California. Recuperado el 31 de julio de 2023 de <http://www.caiso.com/about/Pages/OurBusiness/Understanding-electricity.aspx>

CalTrans. (2019). CA.gov.

Dai, Q., Kelly, JC, Gaines, L. y Wang, M. (2019). Análisis del ciclo de vida de baterías de iones de litio para aplicaciones automotrices. *Baterías*, 5(2), 48.

Borrador del Informe de Impacto Ambiental para el Proyecto ATLiS de Minerales de Fuente de Energía, Imperial, California. (2021). Grupo de cámaras, Inc.

Featherstone, J. L., Hanson, P. J., Garska, M. J. y Marston, CR (2020). Proceso para la recuperación de litio a partir de una salmuera geotérmica (Patente de la Oficina de Patentes de EE. UU. No. 10604414). En (N° 10604414).

Flexer, V., Baspineiro, C. F. y Galli, C. I. (2018). Recuperación de litio de salmueras: Materia prima vital para las energías verdes con potencial impacto ambiental en su extracción y procesamiento. *La ciencia del medio ambiente total*, 639, 1188-1204.

Garrett, DE (2004). *Manual de litio y cloruro de calcio natural*. Elsevier.

Godwin, L. H., Haigler, L. B., Rioux, R. L., White, D. E., Muffler, L. J. P. y Wayland, RG (1971). Clasificación de terrenos públicos valiosos para vapor geotérmico y recursos geotérmicos asociados. *Circular del Servicio Geológico 647*.

Hedya, SA, Avula, A. y Swoboda, HD (2023). *Toxicidad del litio*. Publicación de StatPearls.

Plan Imperial Integrado de Gestión del Agua Regional. (2012). Distrito de Riego Imperial.

Agencia Internacional de Energía. (2021). *El papel de los minerales críticos en las transiciones a energías limpias*. Agencia Internacional de Energía.

Jaskula, BW (2024). *Hoja de datos de litio: resúmenes de productos minerales 2024*, pg. 110. USGS. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024.pdf>

Kelly, JC, Dai, Q. y Wang, M. (2019). Análisis global regional del ciclo de vida de baterías automotrices de iones de litio, níquel, manganeso y cobalto. *Estrategias de mitigación y adaptación al cambio global*. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09869-2>

Kelly, JC, Wang, M., Dai, Q. y Winjobi, O. (2021). Análisis del ciclo de vida de la energía, los gases de efecto invernadero y el agua del carbonato de litio y el hidróxido de litio monohidrato de salmuera y recursos minerales y su uso en cátodos de baterías de iones de litio y baterías de iones de litio. *Recursos, Conservación y Reciclaje*, 174, 105762.

Kong, L., Li, C., Jiang, J. y Pecht, M. (2018). Riesgos de incendio y estrategias de seguridad de las baterías de iones de litio. *Energías*, 11(9), 2191.

Valle del Litio. (2022, 2 de febrero). Condado Imperial; Condado Imperial. <https://lithiumvalley.imperialcounty.org/>

McKibben, M. A., and L. A. Hardie. (1997). "Ore-Forming Brines in Active Continental Rifts." In *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, 3rd Edition*, edited by H. L. Barnes, 875-933. Wiley-Interscience.

Montazar, A. (sin fecha). *Preguntas frecuentes sobre la calidad del agua*. [Agricultura y Recursos Naturales de la Universidad de California](https://ceimperial.ucanr.edu/Custom_Program275/Water_Quality_FAQs/). Recuperado el 13 de febrero de 2023 de https://ceimperial.ucanr.edu/Custom_Program275/Water_Quality_FAQs/

Junta de Seguridad de Transportación Nacional. (2020). *Riesgos de seguridad para el personal de emergencia debido a incendios de baterías de iones de litio en vehículos eléctricos* (N° NTSB/SR-20/01). NTSB. <https://www.nts.gov/safety/safety-studies/Documents/SR2001.pdf>

Paranthaman, M. P., Li, L., Luo, J., Hoke, T., Ucar, H., Moyer, B. A. y Harrison, S. (2017). Recuperación de litio de salmuera geotérmica con sorbentes de cloruro de hidróxido doble en capas de litio y aluminio. *Ciencia y tecnología ambientales*, 51(22), 13481-13486.

Socios. (sin fecha). Coalición Comunitaria del Valle del Litio. Recuperado el 4 de agosto de 2023 de <https://www.lithiumvalleycommunitycoalition.org/partners>

Paz, S., Kelley, R.-C., Castañeda, S., Colwell, R., Dolega, R., Flores, M., Hanks, J., López, A., Olmedo, L., Reynolds, A., Ruiz, F., Scott, M., Soto, T. y Weisgall, J. (2022). *Informe de la Comisión Blue Ribbon sobre Extracción de Litio en California* (N° CEC-300-2022-009-F). Comisión de Energía de California.

SB-125 Recursos públicos: recursos geotérmicos: litio, SB 125, Senado del estado de California, 2022. Obtenido el 27 de junio de 2023, de https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=202120220SB125

Schenker, V., Oberschelp, C. y Pfister, S. (2022). Evaluación regionalizada del ciclo de vida de la producción presente y futura de litio para baterías de iones de litio. *Recursos, Conservación y Reciclaje*, 187, 106611.

Stringfellow, WT y Dobson, PF (2021). Tecnología para la Recuperación de Litio a partir de Salmueras Geotérmicas. *Energías*, 14(20), 6805.

Vera, M. L., Torres, W. R., Galli, C. I., Chagnes, A. y Flexer, V. (2023). Impacto ambiental de la extracción directa de litio de salmueras. *Reseñas de la naturaleza Tierra y medio ambiente*, 4(3), 149-165.

Energía Vulcana. (2021). *Informe de Sostenibilidad 2021*.

Williams, AE y McKibben, MA (1989). Una interfaz de salmuera en el sistema geotérmico del mar de Salton, California: características geoquímicas e isotópicas del fluido. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53(8), 1905-1920.