

¿Cómo maximizar la recaudación del Fisco con la Estrategia Nacional del Litio?

Francisco Olivares⁺, Gustavo Lagos^{*} y Marcos Singer^{*}

Octubre 2023

Contenido

Resumen ejecutivo.....	2
1. Introducción.....	3
2. Curva de Laffer.....	5
3. Modelo de costos.....	7
4. Estimaciones.....	19
4.1. Curva de Laffer para impuesto ad valorem	19
4.2. Curva de Laffer para participación societaria	22
4.3. Análisis de sensibilidad del modelo.....	24
5. Conclusiones.....	28
Referencias.....	30
Apéndice 1.....	34
Apéndice 2.....	36
Apéndice 3.....	38
Apéndice 4.....	39

^{*} Profesor Titular de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

⁺ Economista titulado de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Resumen ejecutivo

Uno de los objetivos de la Estrategia Nacional del Litio anunciada por el presidente Gabriel Boric es aumentar la recaudación fiscal para financiar inversiones sociales y productivas, lo cual se puede realizar mediante un impuesto ad valorem o con la participación societaria en los proyectos. Un aspecto a considerar al diseñar este sistema impositivo es la denominada curva de Laffer, la cual describe que, si bien un mayor impuesto implica mayor recaudación por cada proyecto, la carga tributaria hace que se realicen menos proyectos.

Calculamos la recaudación óptima para los salares chilenos de acuerdo con una estimación de costos, tanto de operación como de capital, a partir de la información disponible de distintos salares en el mundo. Nuestro análisis sugiere que la tasa de impuesto ad valorem óptima para los nuevos proyectos es del 10,94%, inferior al 26,86% efectivo que se cobra actualmente en los contratos del Salar de Atacama. Con esta tasa óptima, 26 salares operarían generando una recaudación total de US\$ 3.578 millones al año. En el caso que se imponga una tasa diferente para cada proyecto, este monto aumenta a US\$ 4.355 millones.

Si consideramos el mecanismo de participación en los proyectos, nuestro análisis sugiere que el Estado debe poseer el 15,97% de participación en los proyectos para maximizar la recaudación, alcanzando un valor de US\$ 3.698 millones. Esta cifra aumenta a US\$ 4.355 millones si el gobierno opta por una participación diferente en cada proyecto. En el caso que se desee implementar ambos mecanismos de forma simultánea, la recaudación no se incrementa en relación con lo que ya se obtiene con cada sistema por separado.

La Estrategia Nacional del Litio será exitosa en tanto permita mantener a Chile en su posición mundial en la producción del mineral después del 2030. Este trabajo demuestra que, de persistir un requerimiento por parte del Estado de obtener mayoría societaria en las asociaciones que realice para explotar el litio, es probable que muy pocos negocios se concreten en los próximos años. Es decir, que pierda el liderazgo mundial, no obstante disponer de las mayores reservas de litio del mundo.

1. Introducción

El jueves 20 de abril de 2023 el presidente Gabriel Boric anunció al país la Estrategia Nacional del Litio (ENL), que tiene como fin posicionar a Chile como el principal productor de litio en el mundo, resguardando el medioambiente y el bienestar de las comunidades colindantes a los salares y lagunas saladas (Gobierno de Chile, 2023a). El aspecto más destacado de la ENL es la importante participación del Estado en toda la cadena de valor del litio, lo cual tiene como uno de sus objetivos maximizar la recaudación del fisco, permitiendo así financiar inversiones sociales, tecnológicas y productivas (Gobierno de Chile, 2023b).

El mecanismo básico de recaudación es el impuesto a la renta que tributan las personas naturales y empresas en Chile, pero también se puede utilizar una tasa de royalty sobre las ventas o sobre las utilidades de las corporaciones mineras. Actualmente, las empresas del Salar de Atacama están afectas al impuesto a la renta y a una tasa de arrendamiento sobre las ventas similar a un royalty, la cual es progresiva según el precio de los productos elaborados a partir de litio, como carbonato de litio e hidróxido de litio, con una tasa entre 6,8% y 40%.

Una segunda alternativa para el Estado, que estuvo en aplicación hasta principios de 1990¹, es recaudar mediante la participación en la propiedad de las empresas productivas. De hecho, la participación de Corfo en la producción de litio a partir de 1980 fue minoritaria en las dos sociedades formadas para la explotación del Salar de Atacama. La participación societaria también puede buscar el control de las operaciones si es que tiene, por ejemplo, una mayoría de la propiedad de una compañía.

La ENL anunciada en abril del 2023 declara que las empresas que explotarán litio en los salares en Chile deben pertenecer mayoritariamente al Estado (más del 50% de la propiedad), respetando los contratos que el Estado ha firmado hasta ese momento. Este

¹ Hay que recordar que Corfo tenía participación a partir de la década de 80 en la Sociedad Chilena del Litio y posteriormente en la década de los 90 en la Sociedad Minera Salar de Atacama. Ambas participaciones fueron vendidas por Corfo a las empresas que producían litio en el Salar de Atacama.

trabajo supone, así como lo ha considerado el mercado, que el Estado no realizará aportes de capital para las inversiones requeridas para la construcción y operación de las faenas que exploten litio. En otras palabras, el Estado tendría mayoría en la propiedad de las empresas del litio a partir de aportar únicamente las pertenencias mineras a los proyectos.

Con posterioridad al anuncio de la ENL por parte del presidente Gabriel Boric, hubo varias intervenciones de diversas autoridades entregando mayores detalles respecto a la participación del Estado en la propiedad de las empresas productoras de litio, pero hasta la fecha de esta publicación no ha sido dilucidado en forma definitiva si la condición de mayoría del Estado en la propiedad de las empresas se extiende a algunos o a todos los salares.

Este trabajo intenta responder varias preguntas en relación a la ENL. Primero, ¿Cuál es el límite superior de participación societaria del Estado que hace económicamente viable la explotación del litio en cada salar? Segundo, ¿Cuál es la tasa de royalty óptima para la explotación del litio en cada salar? Ambas preguntas resultan relevantes porque la ENL no hace mención al régimen tributario que tendrían las potenciales asociaciones público-privadas (Gobierno de Chile, 2023a; Gobierno de Chile, 2023b).

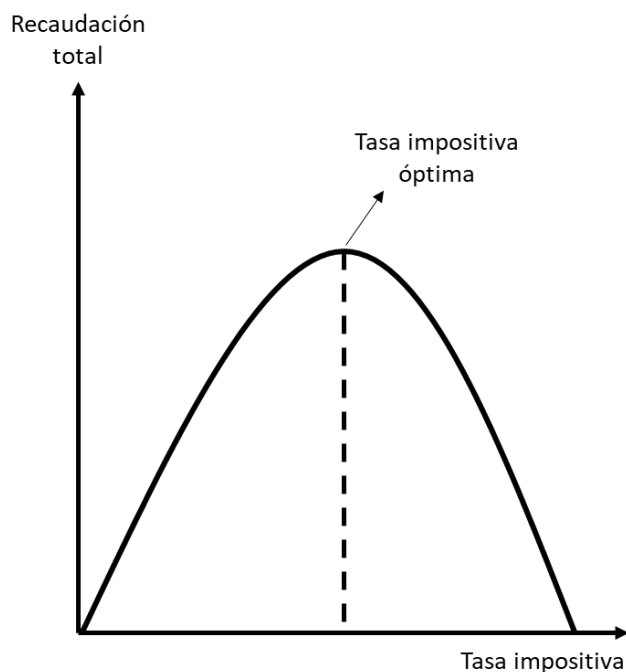
Nuestro estudio consiste en determinar los mecanismos de tributación y/o participación que maximizan la recaudación fiscal. Para ello identificamos las variables de las cuales dependen los ingresos fiscales, analizamos las diferencias que existen entre la recaudación por royalty y por participación societaria, y discutimos el óptimo para una combinación entre participación societaria y aplicación de un royalty.

El trabajo se organiza de la siguiente manera. En la sección 2 se expone la importancia de considerar el concepto económico de la curva de Laffer. En la sección 3 se desarrolla un modelo para estimar los costos de producción de los potenciales proyectos a ser explotados por la ENL. En la sección 4 se analiza la recaudación que se obtiene con cada uno de los mecanismos de recaudación. La sección 5 contiene las conclusiones.

2. Curva de Laffer

Imponer una tasa impositiva más alta no implica necesariamente una mayor recaudación fiscal, pues los impuestos encarecen los precios y costos de los agentes, desincentivando el consumo y la inversión, y por ende reducen la base de recaudación. Es decir, si bien un aumento de la tasa impositiva implica que el fisco obtiene más ingresos por cada unidad que se venda o produzca, también provoca que disminuyan los ingresos porque se venden o producen menos unidades. La implicancia de esta disparidad de efectos en la recaudación de los gobiernos se denomina en la literatura económica como la curva de Laffer, la cual concluye que existe una tasa impositiva preferible u óptima que permite obtener la recaudación fiscal más alta posible. El modelo matemático que busca e identifica la máxima recaudación tributaria, o tasa óptima, se denomina proceso de maximización. En la Figura 1 se ejemplifica la relación entre tasa impositiva y recaudación que propone la curva de Laffer.

Figura 1. Efecto de la tasa impositiva en recaudación total del gobierno.



Fuente: Elaboración propia.

En nuestro contexto, una mayor tasa de impuesto ad valorem², como un royalty a la venta, o una participación societaria pasiva³ implica un mayor costo de los productos de litio elaborados en el país, como por ejemplo el carbonato de litio. Por el lado de la demanda, supondremos que ésta determina el precio indiferentemente del régimen impositivo que se imponga en el país. Nuestro supuesto descansa en las estimaciones que, al menos hasta 2030, existirá un exceso de demanda de los productos de litio impulsado por la electromovilidad (McKinsey & Company, 2023) y el aumento de la competencia en el mercado mundial del litio (Bloomberg Línea, 2023). Por lo anterior, la curva de Laffer que proponemos se sustentará por el lado de la oferta, específicamente por dos mecanismos:

- 1) Costos de producción: A diferencia de un impuesto a las utilidades, un impuesto a la venta, como es la tasa de arrendamiento que se cobra en el Salar de Atacama, incrementa el costo de producción del litio. Para que una operación minera sea viable es un requisito necesario, en el largo plazo, que el costo de producción por tonelada de carbonato de litio equivalente (LCE por sus siglas en inglés) sea menor a su precio de venta, por lo que un incremento de la tasa impositiva puede generar una disminución en la producción del mineral. Al observar los costos actuales de la producción de litio a través de salmuera y la estimación del precio de largo plazo del mineral (Jones, Acuña y Rodríguez, 2021), estimamos que esta restricción no estará activa por lo menos en el mediano plazo.

Nuestro estudio el costo de producción considera tanto los costos operativos (OPEX) como las inversiones en capital (CAPEX). Dado que la participación societaria pasiva del Estado en una sociedad no implica que éste aporte capital para la construcción, la empresa privada que se asocie para extraer litio puede considerar esta participación como un costo también.

- 2) Costo de oportunidad: Las decisiones de inversión no dependen solamente de los costos de producción monetarios de los proyectos, sino también de las alternativas

² Por simplicidad y rigurosidad, en lo que resta del documento se denomina como impuesto ad valorem al royalty a la venta expuesto en la introducción.

³ Pasiva significa que no aporta capital en las inversiones.

de inversión que existan al momento de tomar la decisión. Ante un mismo precio de venta, será preferible el proyecto con un menor costo de producción (incluyendo impuestos a las utilidades o participaciones societarias).

Si bien actualmente Australia es el principal competidor de Chile en la industria del litio, sumando en conjunto un 76,92% de la participación mundial de la producción del mineral (U.S. Geological Survey, 2023), se estima que China, Argentina y África superarán en 2030 la participación de Chile (Bloomberg Línea, 2023). Una ENL exitosa lograría viabilizar numerosos nuevos proyectos de explotación de litio en Chile, pero la inmensa mayoría de ellos comenzarían a producir después de 2030. Si la ENL no es exitosa, es decir, si no gatilla nuevas inversiones, Chile seguirá perdiendo importancia en el mercado mundial después de 2030, no obstante, cuenta con las mayores reservas de litio del mundo (U.S. Geological Survey, 2023). Debido a que hay numerosas oportunidades de producir litio en otros países, consideramos que los inversionistas privados de los proyectos potenciales de la ENL tendrán como alternativa de inversión múltiples proyectos alrededor del mundo, por lo que les parecerán atractivos sólo los salares chilenos con un costo de producción menor a un determinado umbral basado en los costos de producción de las alternativas. Por simplicidad, supondremos que este límite es igual al costo promedio mundial de la industria⁴.

En resumen, si el gobierno desea maximizar la recaudación que obtendrá a través de la ENL es necesario que, al definir el mecanismo de recaudación, considere tanto los costos de producción como los costos de oportunidad que tendrán los potenciales inversionistas que participarán en los proyectos.

3. Modelo de costos

La sección anterior demuestra la importancia de estimar los costos de producción que tendrán cada uno de los potenciales proyectos que se regirán de acuerdo con la ENL. Según

⁴ Consideramos el costo promedio del total de la industria. Es decir, incluye tanto los proyectos de salmuera como los de roca.

el Gobierno de Chile (2023b), en el país existen 63 ambientes salinos (45 salares y 18 lagunas salinas) de diversas características físico-químicas e hidrogeológicas, por lo que no es posible generalizar un costo de producción para todos los proyectos potenciales. Hasta el primer semestre del 2023, la ENL considera que existen 18 salares con un potencial geológico para la extracción de litio a partir del estudio realizado por Troncoso et al. (2013), aunque no se estima el costo de producción de ellos. En nuestro estudio nos proponemos estimar no sólo el costo de estos salares, sino también el de otros ambientes salinos potenciales existentes en el país.

El primer paso es determinar los factores que influyen en los costos de producción de litio a partir de salmuera. Los principales factores son:

- Concentración de litio: Una mayor concentración de litio en la salmuera extraída de los salares permite obtener una mayor cantidad de litio por metro cúbico de salmuera procesada.
- Superficie del salar: Además de determinar la cantidad de salmuera máxima a ser extraída, permite aprovechar las economías de escala existentes.
- Relación entre litio y otros minerales: Una mayor proporción de magnesio y boro en las salmueras, en relación al litio, incrementa el costo de refinación de los productos de litio que requiere el mercado.
- Condiciones climáticas: Dado que se utilizan piscinas de evaporación para obtener soluciones concentradas en litio, climas más áridos permiten acortar los plazos de producción.

Risacher, Alonso y Salazar (1999) realizaron un estudio que reúne los factores antes dichos para diferentes ambientes salinos de Chile. A diferencia del estudio de Troncoso et al. (2013), Risacher, Alonso y Salazar (1999) analizaron muestras de 53 ambientes salinos, lo que permite realizar un análisis más exhaustivo de los potenciales proyectos del país. De estos ambientes, en nuestro estudio consideramos los 39 ambientes salinos en los que se encuentra disponible la superficie del salar. En nuestro análisis se omite el Salar de Atacama debido a que ya se encuentra en operación, por lo que el costo de oportunidad de invertir

en otro proyecto es, a priori, un costo hundido⁵. En el Apéndice 1 se sintetizan las características físicas de estos ambientes salinos.

Debido a la gran cantidad de muestras recogidas de cada ambiente salino por Risacher, Alonso y Salazar (1999), es necesario definir un criterio de las muestras que consideraremos en nuestro estudio. No todas las muestras recolectadas son representativas de la composición química de las salmueras de los ambientes salinos debido a que muchas provienen de fuentes superficiales. Por esta razón, decidimos quedarnos con el promedio de las tres muestras, de cada ambiente salino, con una mayor proporción de litio sobre el total de sólidos disueltos (TDS por sus siglas en inglés). En el Apéndice 2 se exponen los promedios propuestos de las composiciones químicas para cada ambiente salino estudiado por Risacher, Alonso y Salazar (1999).

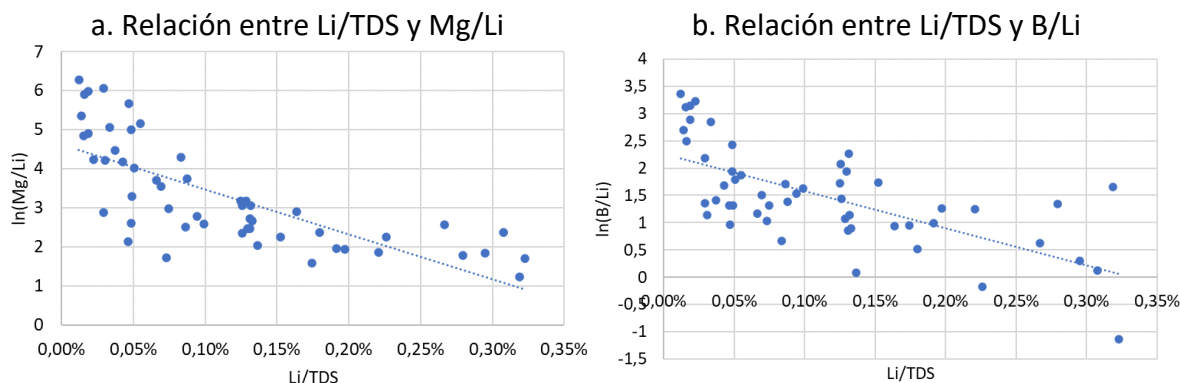
Para estimar los costos de producción a partir de las características de los ambientes salinos es necesario tener una muestra de salares en los que actualmente ya se extraiga litio. Ésta es una de las principales limitaciones de nuestro estudio ya que, según el informe de Jones, Acuña y Rodríguez (2021), al 2021 sólo se extraía litio desde siete ambientes salinos en el mundo: el Salar de Atacama, el Salar del Hombre Muerto, el Salar de Olaroz y cuatro lagos salados en China. Esta muestra pequeña no nos permite considerar todas las características de los salares en nuestro análisis, por lo que nos centramos en una característica, la concentración de litio sobre el TDS⁶ (Li/TDS). En la Figura 2 se observa que Li/TDS tiene una alta correlación con las proporciones de magnesio y boro (-0,74 y -0,67 respectivamente), lo que hace sentido si se tiene en cuenta que estos minerales son parte, al igual que el litio, del TDS. En relación a las condiciones climáticas, Li/TDS tiene una correlación con las precipitaciones y la temperatura promedio de -0,31 y 0,15, respectivamente. Si bien el signo de las correlaciones es el esperado, son relativamente bajas, por lo que no considerar estas características es una de las deficiencias de nuestro estudio. Por último, supondremos que

⁵ Esta afirmación no es del todo cierta si se considera que el costo de oportunidad es relevante en el caso que se desee expandir la capacidad productiva del Salar.

⁶ TDS: Total Dissolved Solids.

no existen economías de escala en la producción de litio, por lo que la superficie del salar no es relevante para estimar los costos.

Figura 2. Relaciones entre Li/TDS y otros minerales.



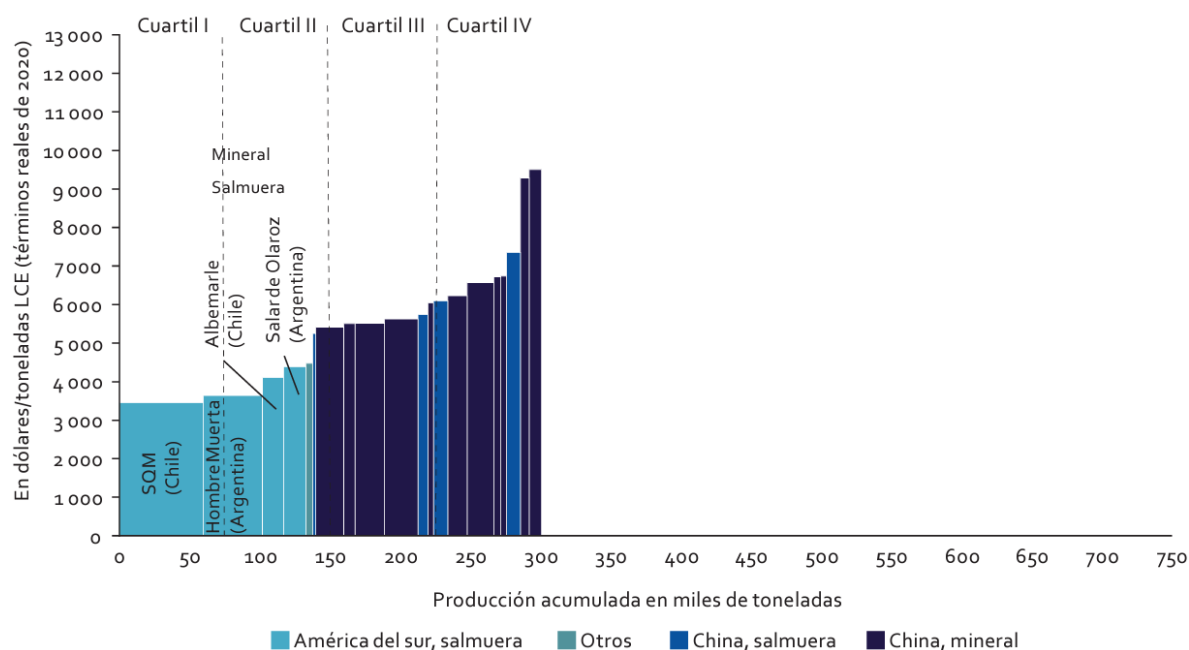
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Risacher, Alonso y Salazar (1999).

En la Figura 3 se exponen las estimaciones de Jones, Acuña y Rodríguez (2021) del OPEX por tonelada de LCE en 2020 de diferentes proyectos alrededor del mundo. Es importante destacar que estos costos consideran los impuestos ad valorem que tributan las empresas en sus países de operación, que en el caso de Chile es la tasa de rentas de arrendamiento con Corfo.

Un inconveniente del informe de Jones, Acuña y Rodríguez (2021) es que se centra en Latinoamérica, por lo que no detalla cuáles son los lagos salados considerados en China. El lago salado más importante de China es el lago Zabuye en el Tíbet. Se caracteriza por poseer una alta concentración de litio y una muy baja concentración de magnesio. A pesar de estas cualidades, su producción se ha dificultado debido a limitaciones geográficas (SSM, 2018). Dado que su proceso de producción es similar al de los salares en Latinoamérica y que su producción en 2017 estuvo en torno a las 3.138 toneladas de carbonato de litio (SSM, 2018), asumimos que esta laguna corresponde a la primera barra (de izquierda a derecha) de la producción de China por salmuera en la Figura 3. La otra región de China donde hay importantes lagos salados es Qinghai, donde se encuentran los lagos Xitai Ji Nai'er y Dongtai. A diferencia del lago Zabuye, estos lagos tienen una menor concentración de litio y una alta proporción de magnesio sobre litio, aunque sus producciones en 2017 fueron mayores a Zabuye (SSM, 2018). Dada la gran similitud entre estos lagos, asumimos que corresponden

a las dos barras siguientes de la Figura 3 correspondientes a la producción de China por Salmuera. Debido a que no se pudo diferenciar los costos entre los dos lagos de Qinghai, se utiliza el costo promedio de las dos barras antes dichas.

Figura 3. OPEX del carbonato de litio en 2020.



Fuente: Jones, Acuña y Rodríguez (2021).

En la Tabla 1 se exponen los OPEX de las cinco operaciones anunciadas y sus composiciones químicas según Vera et al. (2023). Para calcular los OPEX sin impuestos ad valorem se consideró el precio utilizado por el estudio (\$8.350), la tasa de arrendamiento progresiva que pagan las operaciones en Chile, el royalty de 3% del mineral extraído que se tributa a los gobiernos provinciales en Argentina y el impuesto al valor agregado de 13% en China⁷. Para el OPEX del Salar de Atacama se consideró un promedio ponderado, según la producción, del costo de SQM y Albemarle.

Tabla 1. Composiciones químicas y OPEX analizadas.

Nombre	País	Li/TDS	Mg/Li	B/Li	OPEX por tonelada de LCE (US\$ 2022)
Salar de Atacama	Chile	0,47%	6,15	0,28	\$2.916

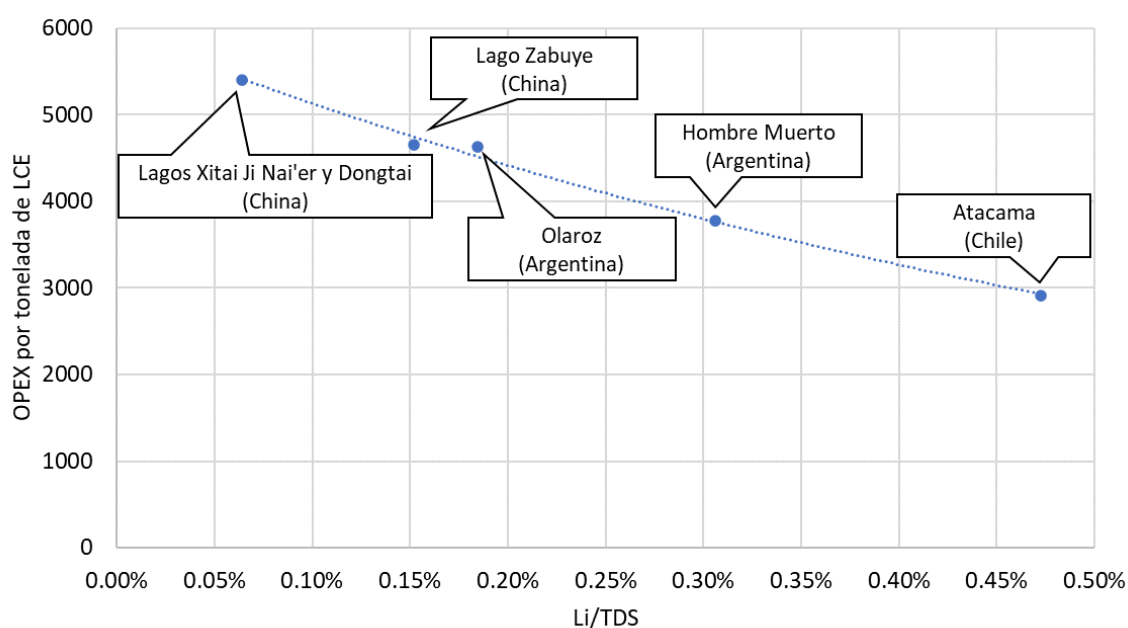
⁷ En Chile se debe pagar el impuesto al valor agregado solamente por la venta de litio al interior del país. Dado que el país prácticamente exporta todo el litio que produce, se omitió este impuesto.

Salar de Hombre Muerto	Argentina	0,31%	0,16	0,6	\$3.780
Salar de Olaroz	Argentina	0,18%	3,51	Sin data	\$4.628
Lago Zabuye	China	0,15%	0	2,39	\$4.650
Lagos Xitai Ji Nai'er y Dongtai	China	0,06%	64,29	1,48	\$5.437

Fuente: Jones, Acuña y Rodríguez (2021) y Vera et al. (2023).

En la Figura 4 se grafica la relación entre la proporción Li/TDS y el OPEX sin impuesto ad valorem. Se observa una relación exponencial entre estas características de los ambientes salinos, la cual se utilizará para crear una curva de costos OPEX según la proporción Li/TDS de los ambientes salinos en Chile. En la Tabla 2 se exponen tres estimaciones estadísticas para la relación analizada. Entre las tres estimaciones, el modelo exponencial es el que tiene un R^2 más alto.

Figura 4. OPEX estimado por tonelada de carbonato de litio (US\$ de 2020) ^a



Nota: ^a La línea es una tendencia exponencial.

Fuente: Elaboración propia a partir de CEPAL (2021) y Vera et al. (2023).

Tabla 2. Estimación estadística de curva de costos OPEX según Li/TDS.

Tipo de modelo	Lineal	Cuadrático	Exponencial
Variable objetivo	OPEX sin impuesto	OPEX sin impuesto	ln(OPEX sin impuesto)
Li/TDS	-604.686,6	-820.336,7	-151,3795

(Li/TDS) ²		39.247.360	
Constante	5.708,036	5.919,653	8,6971
R ²	0,9881	0,9942	0,9956

Fuente: Elaboración propia.

Al contrastar la proporción Li/TDS del Salar de Atacama de Vera et al. (2023) y Risacher, Alonso y Salazar (1999) se observa que la primera estimación es mayor. Esto se puede deber a que las muestras recogidas por Risacher, Alonso y Salazar (1999) son superficiales. Por esta razón, las proporciones Li/TDS de Risacher, Alonso y Salazar (1999) se multiplicaron por 1,5357⁸ para estimar el OPEX de 39 ambientes salinos del país.

Para estimar el CAPEX de los ambientes salinos se consideran diversos proyectos en estudio en el mundo, tanto de minería de salmuera como de mineral o roca. En la Tabla 3 se detallan la producción y costos de estos proyectos. Para determinar el CAPEX por tonelada de carbonato de litio se considera la producción total en la vida del proyecto estimada por cada estudio⁹. En la Figura 5 se observa una relación positiva entre el OPEX y el CAPEX por tonelada de LCE de los proyectos. Al desagregar por tipo de minería, se observa una pendiente diferente en la relación, por lo que es necesario considerar esa heterogeneidad en la estimación del CAPEX. En la Tabla 4 se exponen las estimaciones de diferentes modelos con el fin de hallar aquel que se ajuste de mejor forma a los datos. El Modelo 3 de la Tabla 4 considera la heterogeneidad recién nombrada, observando que los proyectos de minería de salmuera tienen una menor relación entre su CAPEX y OPEX que los proyectos de minería de mineral. Por otro lado, la inclusión de la producción en el Modelo 4 de la Tabla 4 mejora el ajuste de la estimación, lo que es evidencia de una posible existencia de economías de escala (punto que no se abordará en esta investigación).

Tabla 3. Descripción de los costos y la producción de los proyectos en Argentina.

Proyectos en estudio	Tipo de minería	Producción (tn/año)	OPEX (US\$/tn)	CAPEX (US\$ 000)	CAPEX (US\$/tn)
----------------------	-----------------	---------------------	----------------	------------------	-----------------

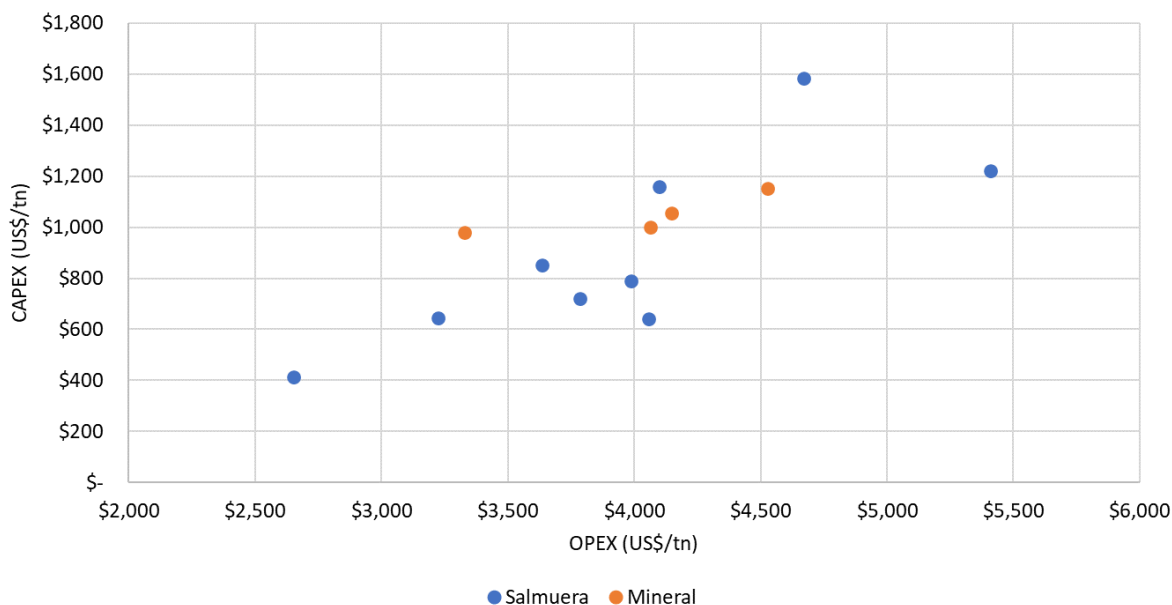
⁸ Esta constante se obtiene al dividir la proporción Li/TDS en el Salar de Atacama de Vera et al. (2023) por la de Risacher, Alonso y Salazar (1999).

⁹ El CAPEX por tonelada de LCE se calcula como $CAPEX(US\$/tn) = CAPEX(US\$ 000) / Producción\ total\ (tn)$.

Pastos Grandes (Millennial Lithium, 2021)	Salmuera	24.000	\$3.787	\$688.596	\$717
Sal de Vida (Rosko, Gunn y Weston, 2022)	Salmuera	44.700	\$2.657	\$730.620	\$409
Tres Quebradas (King y Dworzanowski, 2021)	Salmuera	20.000	\$3.226	\$543.561	\$641
Hombre Muerto Norte (Knight Piésold, 2019)	Salmuera	5.000	\$3.638	\$125.693	\$849
Hombre Muerto Oeste (Galan Lithium Limited, 2020)	Salmuera	20.000	\$3.990	\$629.379	\$787
Cauchari-Olaroz (Burga et al., 2020)	Salmuera	40.000	\$4.059	\$1.004.126	\$637
Cauchari (Worley y Flo Solutions, 2019)	Salmuera	25.000	\$4.104	\$776.868	\$1.156
Candelas (Galan Lithium Limited, 2021)	Salmuera	14.000	\$4.673	\$552.791	\$1.579
Rincón (Argosy Minerals Limited, 2018)	Salmuera	10.000	\$5.413	\$201.026	\$1.218
Falchani (DRA Pacific, 2020)	Mineral	63.000	\$4.531	\$2.392.331	\$1.150
Quebec (Ibarra-Gutiérrez et al., 2021)	Mineral	20.000	\$4.067	\$298.586	\$995
Sonora (Ausenco Engineering Canada, 2016)	Mineral	33.400	\$3.331	\$651.999	\$976
Desert Lion Energy (Fowler et al., 2018)	Mineral	20.000	\$4.150	\$336.605	\$1.052

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Relación entre CAPEX y OPEX de los proyectos en el mundo (US\$ 2022).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Estimación estadística de CAPEX a partir de OPEX y producción.

Modelos	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Variable objetivo	CAPEX	ln(CAPEX)	ln(CAPEX)	ln(CAPEX)
OPEX	0,3387			
ln(OPEX)		1,5855	0,4709	0,5671
Salmuera			-10,4511	-8,5806
ln(OPEX) x Salmuera			-1,2384	1,0069
ln(Producción)				-0,0953
Constante	-409,0337	-6,3286	-3,0434	3,2291
R ²	0,5833	0,6488	0,7575	0,7810

Fuente: Elaboración propia.

Escoger el último modelo para estimar el CAPEX plantea la relevancia de contar con un modelo que estime la producción de cada ambiente salino. Para esto, se define la producción como una fracción de las reservas minerales:

$$producción \text{ (tn de LCE/año)} = \frac{eficiencia * reservas}{vida de mina}$$

donde *eficiencia* es la tasa de recuperación de litio y *vida de mina* son los años de operación de los proyectos. Supondremos que *eficiencia* es 65% y *vida de mina* es 30 años¹⁰. Para estimar las reservas de carbonato de litio de cada proyecto utilizamos una función Cobb-Douglas:

$$reservas \text{ (tn de LCE)} = A * K^{\alpha} * L^{\beta}$$

donde *A* es la productividad total de los factores, *K* es el capital físico, *L* son los trabajadores, α es la elasticidad del capital y β es la elasticidad del trabajo. Al igual que en de Solminihaç, Gonzales y Cerda (2018), ajustaremos el capital por la ley del litio:

¹⁰ Estos parámetros se determinaron a partir de la revisión de diferentes proyectos que utilizan la técnica tradicional de evaporación.

$$reservas (tn de LCE) = A * \left(K * \frac{Li}{TDS} \right)^\alpha * L^\beta$$

Por simplicidad, supondremos que los trabajadores son una proporción c del capital ajustado y que el capital es una proporción d de las pertenencias mineras (km^2). Es decir que:

$$reservas (tn de LCE) = A * \left(K * \frac{Li}{TDS} \right)^\alpha * \left(c * K * \frac{Li}{TDS} \right)^\beta$$

$$reservas (tn de LCE) = A * \left(d * superficie * \frac{Li}{TDS} \right)^\alpha * \left(c * d * pertenencias * \frac{Li}{TDS} \right)^\beta$$

$$reservas (tn de LCE) = (A * c^\beta * d^{\alpha+\beta}) * \left(pertenencias * \frac{Li}{TDS} \right)^{\alpha+\beta}$$

$$reservas (tn de LCE) = A' * \left(pertenencias * \frac{Li}{TDS} \right)^\gamma$$

donde $A' = A * c^\beta * d^{\alpha+\beta}$ y $\gamma = \alpha + \beta$. Por lo tanto, nuestro modelo se basa en estimar los parámetros A' y γ , los cuales supondremos homogéneos entre todos los salares. A partir de los datos del proyecto Salar Blanco (Atacama Water y Worley, 2022), Sal de Vida (Rosko, Gunn y Weston, 2022) y Cauchari-Olaroz (Burga et al., 2020) se estima¹¹ que A' es 6.121.843,2235 y γ es 1,0142. El último paso es estimar las pertenencias mineras de los potenciales proyectos. Por simplicidad, se supondrá que es una función que depende de la superficie:

$$pertenencias (km^2) = B * superficie^\mu$$

Para estimar los parámetros del modelo se considera la realidad de los dos salares más emblemáticos de Chile. En el Salar de Atacama, que tiene una superficie de 3.000 km^2 , SQM y Albemarle arriendan, en conjunto, 1.638 km^2 de pertenencias mineras. Por otro lado, en el Salar de Maricunga, ambiente salino con una superficie de 145 km^2 , las empresas públicas

¹¹ Para estimar los parámetros se aplica logaritmo natural a cada lado de la ecuación y se realiza una estimación lineal con los datos disponibles.

y privadas tienen un total de 90 km² de pertenencias mineras. Con estos datos, se estima que B es 0,7657 y μ es 0,9578.

Considerando las tres ecuaciones recién expuestas relacionadas con la producción y las reservas, nuestro modelo estima que las reservas minerales en conjunto de los 39 ambientes salinos estudiados, sin incluir el Salar de Atacama, son de 24.186.531 toneladas de LCE y la producción anual es de 524.042 toneladas de LCE.

En resumen, nuestro estudio estima el OPEX por tonelada de LCE con un modelo exponencial utilizando la proporción Li/TDS de cada ambiente salino. Posteriormente, se estiman las reservas minerales y la producción de cada potencial proyecto con la superficie del salar y la proporción Li/TDS. Finalmente, se utiliza un modelo lineal para obtener el CAPEX por tonelada de LCE a partir del OPEX¹² y la producción estimada, obteniendo de esta forma el costo de producción total:

$$OPEX = e^{8,6971 - 151,3795 * \frac{Li}{TDS}}$$

$$pertenencias (km^2) = 0,7657 * superficie^{0,9578}$$

$$reservas (MM tn de LCE) = 6,1218 * \left(pertenencias * \frac{Li}{TDS} \right)^{1,0142}$$

$$producción (tn de LCE/año) = \frac{0,65 * reservas}{30}$$

$$CAPEX = e^{-5,3515} * OPEX^{1,5740} * producción^{-0,0953}$$

$$Costo de producción total = OPEX + CAPEX$$

En el Apéndice 3 se detalla el costo de producción de los 39 ambientes salinos estudiados para Chile.

Para calcular el costo promedio de la industria mundial de litio es necesario determinar un precio de largo plazo por tonelada de LCE debido a que todas las operaciones actuales

¹² Dado que los potenciales proyectos serían a partir de minería de salmuera, se simplifica la ecuación sumando los coeficientes del OPEX del modelo.

tributan algún impuesto ad valorem sujeto al precio o valor del producto. En la Tabla 5 se exponen diferentes estimaciones del precio realizadas por consultoras. Por simplicidad, se escogerá el precio de largo plazo de US\$ 20.000 por ser la estimación más conservadora. A partir de la Figura 3, nuestra estimación del CAPEX por tipo de minería y el precio de largo plazo, determinamos que el costo de producción promedio de la industria que se obtiene es de US\$ 8.702,4¹³ por tonelada de LCE (en dólares del 2022¹⁴), valor el cual incluye el impuesto ad valorem que tributan los proyectos en cada país.

Tabla 5. Estimaciones del precio de largo plazo del carbonato de litio.

Empresa consultora	Precio por tonelada de LCE
Morningstar (2023)	\$20.000
Benchmark Mineral Intelligence (DRA Pacific, 2023)	\$20.750
Wood Mackenzie's (Roth et al., 2022)	\$24.000
S&P Global (2022)	\$40.000

Fuente: Elaboración propia.

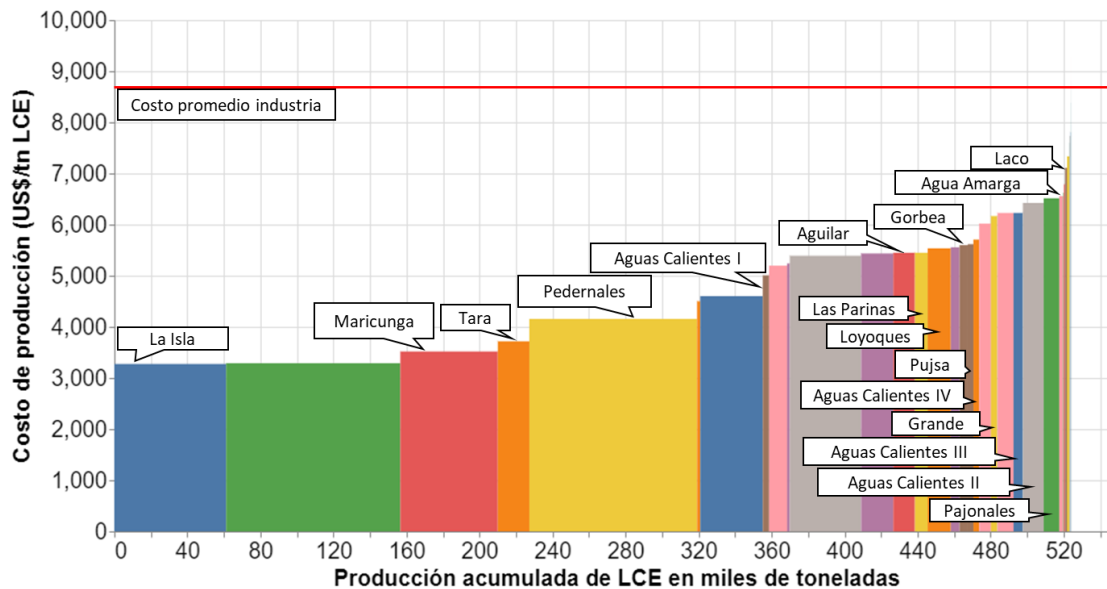
En la Figura 6 se exponen los costos de producción totales (OPEX más CAPEX) por tonelada de LCE de los 39 ambientes salinos estudiados sin incluir algún impuesto ad valorem o participación societaria. El costo de producción promedio de la industria (línea roja) es de US\$ 8.702,4. Por último, las etiquetas de datos señalan los 17 salares considerados, sin incluir el Salar de Atacama, por el gobierno en la Estrategia Nacional del Litio (ENL).

La primera conclusión que se puede extraer de la Figura 6 es que todos los ambientes salinos tienen un costo de producción menor al precio de largo plazo. Sin embargo, únicamente 37 proyectos son atractivos para los inversionistas ante la alternativa de operaciones en el extranjero. Los costos de producción de la Figura 6 no consideran ningún tipo de impuesto ad valorem, a diferencia del costo promedio de la industria que sí lo considera. En el caso que los potenciales proyectos en Chile tributen el mismo impuesto ad valorem que actualmente pagan los operadores en el Salar de Atacama, sólo dos proyectos en Chile serían atractivos para los inversionistas.

¹³ Este costo considera tanto las operaciones a partir de salmuera como de roca. Se utiliza como supuesto que los inversionistas son indiferentes del tipo de extracción que se realice.

¹⁴ Los costos se ajustaron según el índice de precios del consumidor de Estados Unidos.

Figura 6. Costo de producción (OPEX+CAPEX) estimado para los ambientes salinos del país
(US\$ de 2022) ^a



Nota: ^a Las etiquetas de datos señalan los salares considerados por el gobierno en la ENL.

Fuente: Elaboración propia.

La conclusión preliminar que se obtiene del análisis de los costos de producción de los ambientes salinos del país en la Figura 6 demuestran la importancia del diseño del régimen tributario que los rige ante la competencia de posibilidades de inversión en países como Argentina, Bolivia y China.

4. Estimaciones

Como se expuso en la introducción, las alternativas de tributación se pueden simplificar a un impuesto ad valorem, o tasa de royalty a la venta, y a una participación societaria del fisco en los proyectos. En esta sección se estiman las curvas de Laffer para cada una de estos mecanismos de recaudación y se contrastan para definir el régimen que maximiza los ingresos que obtendría el fisco.

4.1. Curva de Laffer para impuesto ad valorem

La tasa de arrendamiento que actualmente pagan las operaciones del Salar de Atacama es progresiva con el precio de los productos de litio. Si bien la estructura de esta progresividad

es relevante, las decisiones de inversión en minería se basan en las estimaciones del precio de largo plazo, por lo que nuestro análisis se centra en la tasa de impuesto ad valorem efectiva sin importar la estructura de progresividad del impuesto (lo que permite generalizar las conclusiones). Suponiendo que la tasa de impuesto debe ser igual para todas las operaciones y considerando el impuesto a las utilidades de un 35%¹⁵, el problema de maximización del fisco se puede resumir en recaudar lo máximo posible sujeto a (s.a) el costo de oportunidad de invertir en el extranjero:

$$\underset{A\%}{Max} \sum_{i=1}^N ((P^{LP} - C_i) * 35\% + P^{LP} * A\% * (1 - 35\%)) * Q_i \quad s. a. \quad C_i + P^{LP} * A\% \leq \bar{U}$$

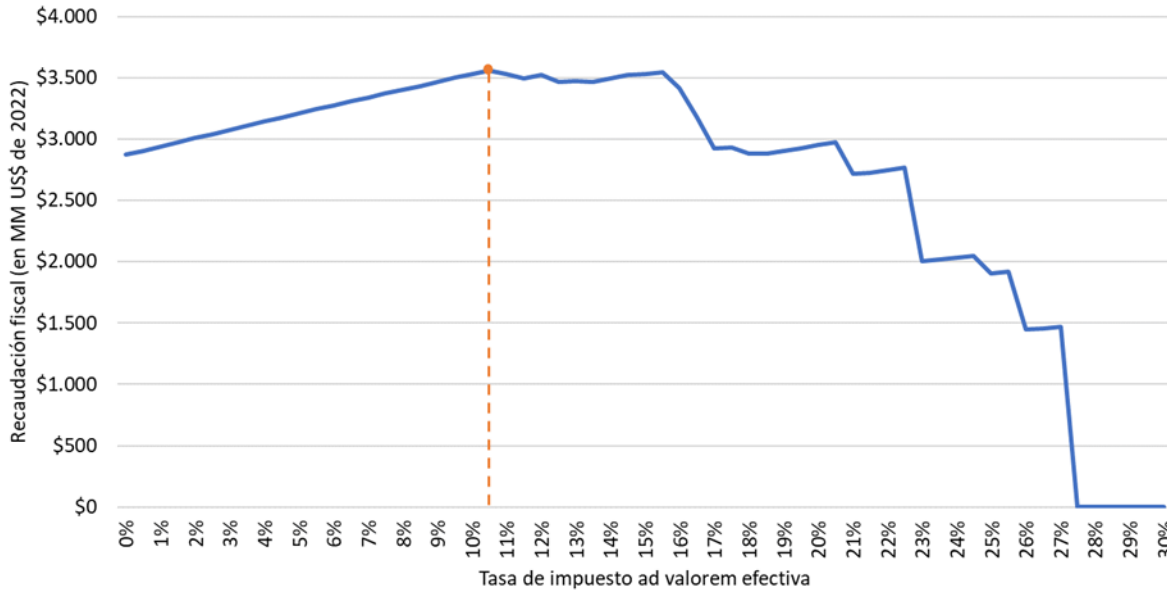
donde $i = \{1, 2, 3, \dots, N\}$ son los salares analizados, P^{LP} es el precio de largo plazo, C_i es el costo de producción por tonelada de LCE del salar i , $A\%$ es la tasa de impuesto ad valorem a fijar, Q_i es la producción en toneladas de LCE anuales del salar i y \bar{U} es el precio umbral que define el costo de oportunidad. P^{LP} es igual al precio de US\$ 20.000 por tonelada de LCE determinado anteriormente y \bar{U} es el costo promedio de la industria de US\$ 8.702,4 por tonelada de LCE.

En la Figura 7 se expone la recaudación del fisco a cada nivel de la tasa de impuesto ad valorem. Se observa claramente el *trade-off* característico de la curva de Laffer, es decir, un incremento de la recaudación fiscal a medida que incrementa la tasa de impuesto hasta llegar a un máximo, que en este caso corresponde a US\$ 3.578 millones con una tasa de impuesto ad valorem del 10,94%. Considerando el impuesto a la renta del 35%, la tasa de impuesto efectiva¹⁶ es de 43,83%. La tasa de impuesto ad valorem óptima es inferior al 26,86% de la tasa de arrendamiento actual del Salar de Atacama considerando un precio de US\$ 20.000.

¹⁵ Es decir, estamos suponiendo que los dueños de las operaciones retiran todas las utilidades.

¹⁶ La tasa de impuesto efectiva es igual a los impuestos recaudados dividido por la utilidad de la empresa sin considerar impuestos.

Figura 7. Curva de Laffer para impuesto ad valorem (US\$ de 2022).



Fuente: Elaboración propia.

El resultado anterior tiene como supuesto que la tasa de impuesto ad valorem tiene que ser igual para todas las operaciones que se lleven a cabo. En la realidad, es posible imponer diferentes tasas de impuestos ad valorem según características de los proyectos e incluso, en el extremo, imponer una tasa diferente para cada proyecto. Si consideramos esta opción, el problema de maximización del fisco se modifica a:

$$\text{Max}_{A\%_i} \sum_{i=1}^N ((P^{LP} - C_i) * 35\% + P^{LP} * A\%_i * (1 - 35\%)) * Q_i \quad \text{s. a. } C_i + P^{LP} * A\%_i \leq \bar{U}$$

que es igual a maximizar la recaudación por cada proyecto individualmente. Dado que la función de recaudación es estrictamente creciente a $A\%_i$, la restricción $C_i + P^{LP} * A\%_i = \bar{U}$ está activa. Despejando se obtiene que:

$$A\%_i^* = \frac{\bar{U} - C_i}{P^{LP}}$$

Con este esquema de impuestos ad valorem se obtiene una recaudación fiscal de US\$ 4.355 millones y una producción total de 523.281 toneladas de LCE¹⁷. La tasa de impuesto ad

¹⁷ Esta cifra corresponde a la suma de la producción de los 37 salares atractivos para los inversionistas dado el costo promedio mundial de la industria.

valorem más alta sería de 27,14% en el Salar de La Isla y la más baja sería de 7,97% en el Salar del Laco^{18,19}. La tasa de impuesto efectiva de este esquema tributario es de 53,09%. La ecuación de la tasa de impuesto ad valorem óptima muestra la importancia de la estimación del precio de largo plazo en la definición del régimen tributario.

4.2. Curva de Laffer para participación societaria

El segundo mecanismo que tiene el fisco para recaudar ingresos de los proyectos del litio es participar en estas operaciones como accionista. Suponiendo que la participación debe ser igual en todas las operaciones y considerando el impuesto a las utilidades de un 35%, el problema de maximización del fisco se puede resumir en:

$$\underset{S\%}{Max} \sum_{i=1}^N ((P^{LP} - C_i) * (35\% + (1 - 35\%) * S\%)) * Q_i \quad s. a. C_i + (P^{LP} - C_i) * S\% \leq \bar{U}$$

donde $S\%$ es la participación societaria del Estado. La Figura 8 presenta la curva de Laffer de la recaudación fiscal excluyendo la producción del Salar de Atacama. La recaudación máxima es de US\$ 3.698 millones y se obtiene con una participación societaria del 15,97%. Una observación a destacar es que los ingresos fiscales con esta alternativa son levemente mayores a los US\$ 3.578 millones que se obtiene con la tasa de impuesto ad valorem única, lo que se refleja también en la tasa de impuesto efectiva que se incrementa a 46,9%.

A diferencia del impuesto ad valorem, la participación societaria por esencia puede ser diferente en cada operación que se realice, por lo que el problema de maximización es:

$$\underset{S\%_i}{Max} \sum_{i=1}^N ((P^{LP} - C_i) * (35\% + (1 - 35\%) * S\%_i)) * Q_i \quad s. a. C_i + (P^{LP} - C_i) * S\%_i \leq \bar{U}$$

Como la función de recaudación es estrictamente creciente, la restricción del costo de oportunidad está activa, es decir, $C + (P^{LP} - C) * S\%_i = \bar{U}$. Por lo tanto, la participación societaria óptima por proyecto es:

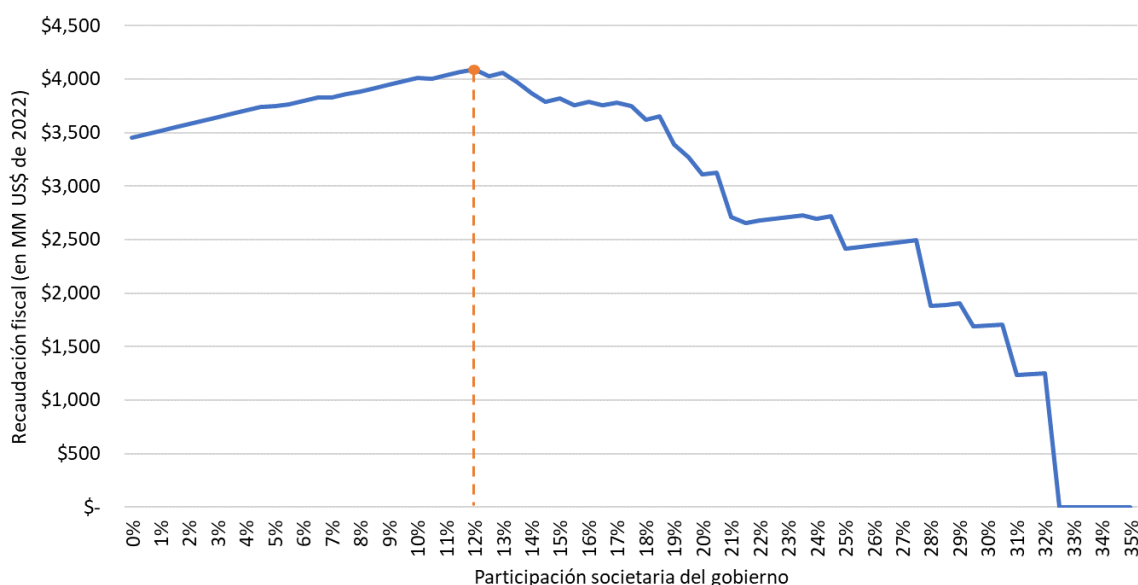
¹⁸ Existen otros siete potenciales proyectos de menor tamaño con una tasa de impuesto ad valorem óptima más baja, pero se expone al Salar del Laco por ser uno de los salares considerados en la ENL.

¹⁹ En el Apéndice 4 se detalla la tasa de impuesto ad valorem y la recaudación fiscal que se obtendría para cada uno de los proyectos analizados.

$$S\%_i^* = \frac{\bar{U} - C_i}{(PLP - C_i)}$$

Con este esquema de participación la recaudación fiscal asciende a US\$ 4.355 para todos los salares considerados. La participación societaria más alta es de un 32,45% en el Salar de La Isla, que tiene el menor costo, y la participación más baja es de un 12,36% en el Salar del Laco^{20,21}. Con este esquema, la tasa de impuesto efectiva es de 53,09%. Es importante destacar que con este nivel de participación societaria el Estado no tendría el control mayoritario en ninguno de los proyectos. Esto se contrapone al objetivo de la ENL de tener el control en los salares que considere estratégicos.

Figura 8. Curva de Laffer para participación societaria (US\$ de 2022).



Fuente: Elaboración propia.

En resumen, se observa que la recaudación por participación societaria es igual a la recaudación que se obtiene con un impuesto ad valorem si se diseña un régimen particular a cada potencial proyecto. Dado que las tasas óptimas dependen de factores determinísticos como el precio umbral del costo de oportunidad y el precio de largo plazo,

²⁰ Al igual que en el análisis del impuesto ad valorem óptimo, se expone al Salar del Laco por ser el salar con la menor participación societaria de los considerados en la ENL.

²¹ En el Apéndice 4 se detalla la participación societaria y la recaudación fiscal que se obtendría para cada uno de los proyectos analizados.

es interesante analizar si nuestra conclusión depende de estos parámetros. Para que la recaudación por participación societaria sea mayor a la recaudación por impuesto ad valorem se debe cumplir que:

$$((P^{LP} - C_i) * (35\% + (1 - 35\%) * S\%_i^*)) * Q_i > ((P^{LP} - C_i) * 35\% + P^{LP} * A\%_i^* * (1 - 35\%)) * Q_i$$

$$(P^{LP} - C_i) * (1 - 27\%) * \frac{\bar{U} - C_i}{(P^{LP} - C_i)} > P^{LP} * \frac{\bar{U} - C_i}{P^{LP}} (1 - 27\%)$$

$$1 = 1$$

La derivación matemática recién expuesta demuestra que la recaudación por participación societaria y por impuesto ad valorem serán siempre equivalentes si se diseña un sistema impositivo particular para cada proyecto.

¿Es posible aumentar la recaudación con una combinación de los mecanismos de impuesto ad valorem y de participación societaria? Si suponemos que se quiere implementar la participación societaria óptima, cualquier tasa de impuesto ad valorem superior a 0% hará que el costo total del proyecto sea mayor al costo de oportunidad, por lo que deja de ser atractivo para el inversionista. Es decir, si se desea implementar ambos mecanismos simultáneamente, las tasas de impuesto ad valorem y de participación societaria deben ser inferiores a sus óptimos, recaudando como máximo lo mismo que cada mecanismo por separado.

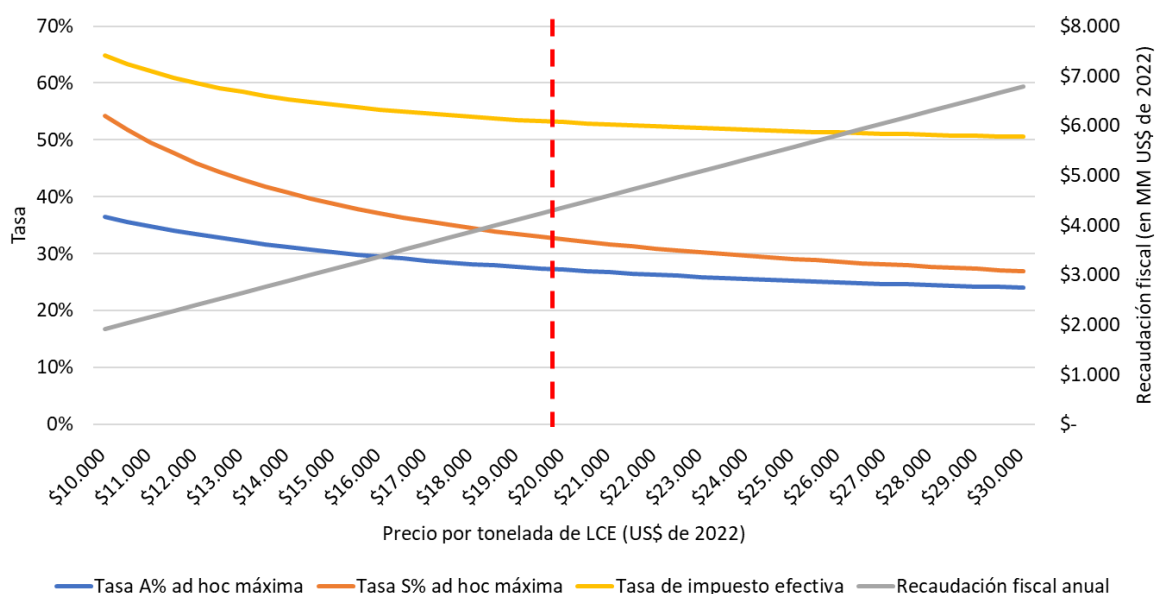
4.3. Análisis de sensibilidad del modelo

En esta sección se sensibilizarán diversos parámetros de nuestro modelo con el fin de analizar el efecto que puede tener la variación de estos en las tasas y la recaudación óptima. Específicamente, se sensibilizan los supuestos relacionados con el precio de largo, el costo de oportunidad y la vida de mina, y se analiza su efecto en la tasa de impuesto ad valorem ad hoc máxima, la participación societaria ad hoc máxima, la tasa de impuesto efectiva y la recaudación fiscal anual²².

²² Se considera la tasa de impuestos ad valorem y la participación societaria máxima a modo de ejemplo. Se especifica cuando la dinámica sea diferente a otros niveles de las tasas.

La Figura 9 expone el efecto en el modelo que tiene considerar diferentes niveles del precio de largo plazo. A precios bajo los US\$ 20.000 por tonelada de LCE se observa un mayor cambio en las tasas óptimas, a diferencia de precios mayores donde las variaciones son más marginales. En la Tabla 5 de la sección 3 se indica que se espera que el precio de largo plazo esté por sobre los US\$ 20.000, por lo que nuestro modelo es robusto ante diferentes estimaciones del precio de largo plazo que tenga el mercado y los inversionistas.

Figura 9. Variación de las tasas y la recaudación ante cambio del precio de largo plazo.



Fuente: Elaboración propia.

Si bien la dinámica de las tasas es decreciente a medida que aumenta el precio de largo plazo, esto sólo ocurre si los costos de producción de los potenciales proyectos se encuentran bajo un umbral²³. Si los costos de los proyectos son altos, considerar un precio de largo plazo mayor genera que incrementen las tasas óptimas. Esto ocurre debido a que el precio incide también en el costo de oportunidad de los proyectos. A pesar de esto, se sigue observando que, a precios mayores a US\$ 20.000, los cambios de las tasas óptimas son marginales, por lo que nuestro modelo sigue siendo robusto en este aspecto.

²³ El costo de producción umbral donde ocurre el cambio en la dinámica es US\$ 5.150 para la tasa de impuesto ad valorem y US\$ 6.262 para la participación societaria.

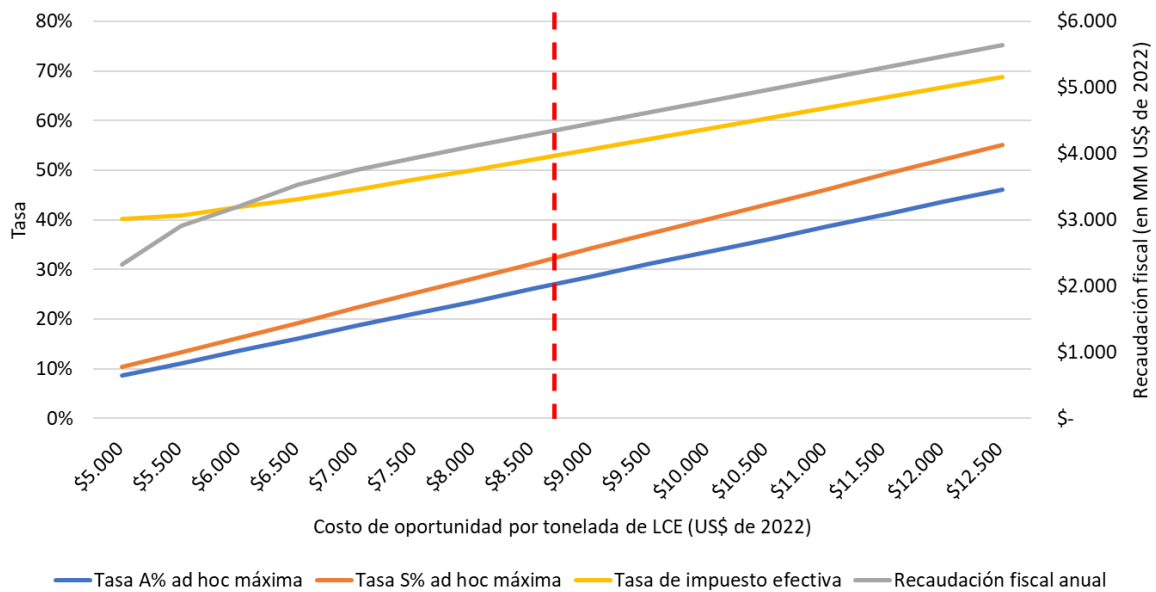
La Figura 10 expone el efecto en el modelo de un cambio en el costo de oportunidad del inversionistas. A diferencia del precio de largo plazo, se aprecia que este costo sí es un supuesto determinante en los resultados del modelo. Un incremento de US\$ 1.000 en el costo de oportunidad genera un incremento de la tasa de impuesto ad valorem óptima en 5 puntos porcentuales y de la participación óptima en 6 puntos porcentuales²⁴. Considerando los costos de los proyectos de la Figura 3 de la sección 3²⁵, un 65% de los proyectos en operación tienen un costo entre US\$8.500 y US\$10.500. Si se considera este rango como los probables costos de oportunidad, la desviación de las tasas óptimas máximas respecto a nuestro modelo es de hasta 9 y 10,8 puntos porcentuales para el impuesto ad valorem y la participación societaria, respectivamente. Si bien los cambios porcentuales en las tasas es alto (en torno a un 33%), la recaudación incrementa en sólo un 14%, lo que disminuye el riesgo relacionado con la elección del costo de oportunidad.

Finalmente, la Figura 11 expone el efecto en el modelo de un cambio en la vida de mina u operación considerada para los proyectos. Se observa que no genera cambios significativos en las tasas óptimas, pero sí en la recaudación. Esto ocurre ya que, dados los parámetros estimados en el modelo, un cambio en la producción tiene un efecto relevante en el CAPEX, y por ende en las tasas, sólo si es un incremento importante (mayor al que puede generar un cambio en la vida de operación). En relación a la recaudación, existe un cambio en el valor presente de los ingresos que recibe el Fisco, pero no en la recaudación total que obtiene de un proyecto determinado. Estas conclusiones son extrapolables a los cambios de otros parámetros del modelo relacionados con la producción como son la tasa de recuperación de litio o la proporción de las pertenencias mineras en relación a la superficie de los salares.

²⁴ El efecto sobre la participación societaria óptima varía según el costo de producción del proyecto. El valor expresado corresponde al proyecto con el menor costo.

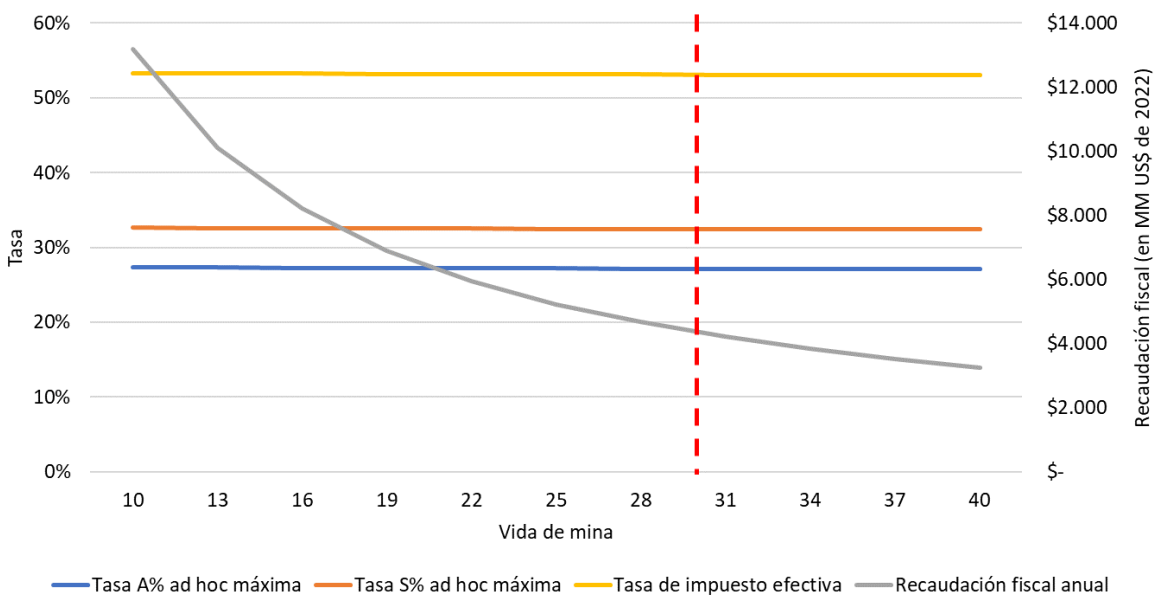
²⁵ Para calcular el impuesto ad valorem de estos proyectos se consideró un precio de US\$ 20.000.

Figura 10. Variación de las tasas y la recaudación ante cambio del costo de oportunidad.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Variación de las tasas y la recaudación ante cambio de la vida de mina.



Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

Uno de los objetivos de la Estrategia Nacional del Litio (ENL) anunciada por el presidente Gabriel Boric es maximizar las rentas que obtendrá de la explotación del litio, permitiendo de esta forma financiar inversiones sociales, tecnológicas y productivas. Existen diferentes mecanismos de recaudación que puede ser considerados, pero este estudio se centró en dos: el impuesto ad valorem que se ha utilizado hasta el momento en Chile, y la participación societaria del Estado planteada en la ENL. Un aspecto a considerar al diseñar este sistema impositivo es la denominada curva de Laffer, la cual describe que, si bien un mayor impuesto implica mayor recaudación por cada proyecto, la carga tributaria hace que se realicen menos proyectos. En nuestra investigación consideramos que los potenciales proyectos de explotación de litio sólo serán atractivos para los inversionistas si tienen un costo de producción inferior al costo promedio mundial de la industria.

Nuestro análisis primero consistió en diseñar un modelo de costos a partir de características químicas de los ambientes salinos del país. Para esto, se ajustó un modelo exponencial para estimar el costo de operación (OPEX) a partir de la relación entre el litio sobre el total de sólidos disueltos de los ambientes salinos. Posteriormente, se estimó la inversión en capital (CAPEX) con el OPEX calculado.

Una vez calibrado el modelo, se estimó la recaudación que se obtiene con cada uno de los mecanismos de recaudación. Si no se pudiera discriminar entre potenciales proyectos, la recaudación total con el mecanismo de impuesto ad valorem y de participación societaria sería de US\$ 3.578 millones y US\$ 3.698 millones, respectivamente. En cambio, si se diseña un sistema de recaudación particular a cada potencial proyecto, el mecanismo de participación societaria es igual al del impuesto ad valorem, incrementando la recaudación a US\$ 4.355 millones con una producción anual, sin incluir el Salar de Atacama, de 523.281 toneladas de carbonato de litio equivalente (LCE) entre todos los ambientes salinos considerados en el estudio. Por último, se concluye que no existe una combinación de impuesto ad valorem y participación societaria que permita incrementar la recaudación que se obtiene con cada mecanismo por separado.

Este estudio buscó discutir de forma técnica diversos aspectos que se deben considerar al determinar los regímenes de recaudación de ingresos fiscales que se impongan en los potenciales proyectos de extracción y producción de litio. Si bien en nuestra investigación nos centramos en cómo maximizar la recaudación, hay que considerar que existen otras implicancias de la participación societaria que no hemos abordado como son las consecuencias de tener el control de los proyectos, la asunción de riesgos, el rol del Estado en la asociación (participar en la producción, ser sólo accionista, etc.), entre otros aspectos.

Una ENL exitosa debería viabilizar numerosos nuevos proyectos de explotación de litio en Chile, pero la inmensa mayoría de ellos comenzaría a producir después de 2030. En este caso, Chile podría remontar la producción de litio post 2030 y retomar al menos parte del liderazgo perdido. En cambio, si la ENL no es exitosa, es decir, si no gatilla nuevas inversiones, Chile seguirá perdiendo progresivamente importancia en el mercado mundial después de 2030, a pesar de tener las mayores reservas de litio del mundo.

Este trabajo demuestra que, de persistir un requerimiento por parte del Estado de obtener mayoría societaria en las asociaciones que realice para explotar el litio, es probable que haya muy pocos negocios que se concrete en los próximos años. Para poder crear un Chile más próspero y distribuir la riqueza de forma justa, como prometió el Presidente en el anuncio de la ENL, es necesario definir mecanismos que permitan recaudar más y a su vez hacer atractivos los proyectos para los inversionistas.

Referencias

Argosy Minerals Limited. (2018). PEA Results Rincon Lithium Project. Recuperado el 30 de agosto de 2023 en https://www.argosyminerals.com.au/sites/default/files/presentation_file/agy-asx-20181130-pea-nov2018.pdf.

Atacama Water y Worley. (2022). Definitive Feasibility Study Update Minera Salar Blanco - Lithium Project Stage One III Región, Chile. Recuperado el 30 de agosto de 2023 en <https://www.bearinglithium.com/wp-content/uploads/2021/10/NI-43-101-DFS-Dated-January-7-2022-webfinal.pdf>.

Ausenco Engineering Canada. (2016). Technical Report on the Prefeasibility Study for the Sonora Lithium Project, Mexico. Recuperado el 30 de agosto de 2023 en <https://americanlithiumcorp.com/wp-content/uploads/2023/05/PEA-Report-TLC.pdf>.

Bloomberg Línea. (2023). Argentina está lista para ser el tercer productor de litio más grande del mundo para 2030, dice JPMorgan. Recuperado el 16 de junio de 2023 en <https://www.bloomberglinea.com/english/argentina-poised-to-be-worlds-third-largest-lithium-producer-by-2030-jpmorgan-says/>.

Burga, E., Burga, D., Weber, D., Sanford, A., y Dworzanowski, M. (2020). NI 43 – 101 Technical Report Updated Feasibility Study and Mineral Reserve Estimation to Support 40,000 tpa Lithium Carbonate Production at the Cauchari-Olaroz Salars, Jujuy Province, Argentina. Recuperado el 30 de agosto de 2023 en https://www.lithiumamericas.com/_resources/pdf/investors/technical-reports/cauchari-olaroz/LAC-NI-43-101-Updated-DFS-FINAL-Oct-19-2020.pdf.

de Solminihac, H., Gonzales, L. E., y Cerda, R. (2018). Copper mining productivity: lessons from Chile. *Journal of Policy Modeling*, 40(1), 182-193.

DRA Pacific. (2020). Falchani Lithium Project NI 43-101 Technical Report - Preliminary Economic Assessment. Recuperado el 30 de agosto de 2023 en https://minedocs.com/20/Falchani_PEA_03192020.pdf.

DRA Pacific. (2023). Tonopah lithium claims project NI 43-101 technical report – Preliminary economic assessment. Recuperado el 13 de julio de 2023 en <https://americanlithiumcorp.com/wp-content/uploads/2023/05/PEA-Report-TLC.pdf>.

Fowler, G., Utiger, M., Mackenzie, B., Duinker, R., Cronwright, M., Geldenhuys, A., Mwiya, S. y von Wielligh, A. (2018). NI 43-101 Technical Report Preliminary Economic Assessment for Desert Lion Energy Lithium Project. Recuperado el 30 de agosto de 2023 en <https://americanlithiumcorp.com/wp-content/uploads/2023/05/PEA-Report-TLC.pdf>.

Galan Lithium Limited. (2020). Compelling Preliminary Economic Assessment Results for 100% owned Hombre Muerto West (HMW) Project in Catamarca, Argentina. Recuperado el 13 de julio de 2023 en [https://minedocs.com/21/Hombre-Muerto-West-\(HMW\)-PEA-12212020.pdf](https://minedocs.com/21/Hombre-Muerto-West-(HMW)-PEA-12212020.pdf).

Galan Lithium Limited. (2021). Excellent Preliminary Economic Assessment Results for Candelas Project in Catamarca, Argentina. Recuperado el 30 de agosto de 2023 en <https://wcsecure.weblink.com.au/pdf/GLN/02459769.pdf>.

GHD. (2019). Preliminary Economic Assessment (PEA) - Pozuelos - Pastos Grandes Project: NI 43-101 Technical Report. Recuperado el 13 de julio de 2023 en https://www.miningnewsfeed.com/reports/PozuelosPastosGrandes_PEA_01172019.pdf.

Gobierno de Chile. (2023a). Presidente Gabriel Boric anuncia Estrategia Nacional del #LitioPorChile y su gente. Recuperado el 16 de junio de 2023 en https://www.youtube.com/watch?v=0yaldIhwj_8&t=44s.

Gobierno de Chile. (2023b). Estrategia Nacional del Litio: Por Chile y su gente. Recuperado el 16 de junio de 2023 en https://s3.amazonaws.com/gobcl-prod/public_files/Campañas/Litio-por-Chile/Estrategia-Nacional-del-litio-ES_14062023_2003.pdf.

Ibarra-Gutiérrez, S., Bouchard, J., Laflamme, M., y Fytas, K. (2021). Project economics of lithium mines in Quebec: A critical review. *The Extractive Industries and Society*, 8(4), 100984.

Jones, B., Acuña, F. y Rodríguez, V. (2021). Cambios en la demanda de minerales: Análisis de los mercados del cobre y el litio, y sus implicaciones para los países de la región andina. Recuperado el 16 de junio de 2023 en https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47136/1/S2100341_es.pdf.

King, M. y Dworzanowski, M. (2021). Feasibility Study (FS) - 3Q Project: NI 43-101 Technical Report. Recuperado el 13 de julio de 2023 en <https://minedocs.com/21/Tres-Quebradas-FS-11252021.pdf>.

Knight Piésold. (2019). NI 43-101 Preliminary economic assessment report for the Hombre Muerto Norte project. Recuperado el 13 de julio de 2023 en <https://www.lithiumsouth.com/wp-content/uploads/HMN-Final-Report-190808.pdf>.

McKinsey & Company. (2023). Battery 2030: Resilient, sustainable, and circular. Recuperado el 16 de junio de 2023 en <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/battery-2030-resilient-sustainable-and-circular>.

Millennial Lithium. (2021). Corporate Presentation - June 2021. Recuperado el 13 de julio de 2023 en https://www.millenniallithium.com/_resources/presentations/corporate-presentation.pdf.

Morningstar. (2023). Plunge in lithium stocks creates opportunity for investors. Recuperado el 13 de julio de 2023 en <https://www.morningstar.com.au/insights/stocks/235447/plunge-in-lithium-stocks-creates-opportunity-for-investors>.

Risacher, F., Alonso, H., y Salazar, C. (1999). Geoquímica de aguas en cuencas cerradas: I, II, III regiones - Chile. Recuperado el 16 de junio de 2023 en <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/32750>.

Rosko, M., Gunn, M., y Weston, S. (2022). Sal de Vida Project: NI 43-101 Technical Report. Recuperado el 13 de julio de 2023 en https://minedocs.com/22/SaldeVida_TR_03312022.pdf.

Roth, D., Tahija, L., Iasillo, E., Martina, K., Chow, B., Mutler, W., Bahe, K., Kaplan, P., Cluff, T. y Shannon, B. (2022). Feasibility Study National Instrument 43-101 Technical Report for the Thacker Pass Project. Recuperado el 13 de julio de 2023 en <https://minedocs.com/19/Thacker-Pass-FS-11022022.pdf>.

SSM. (2018). Decryption of China's four major salt lakes, five major refining technical routes! Everything about lithium extraction from the salt lake is here!. Recuperado el 16 de junio de 2023 en <https://news.metal.com/newscontent/100911546/decryption-of-chinas-four-major-salt-lakes-five-major-refining-technical-routes-everything-about-lithium-extraction-from-the-salt-lake-is-here/>.

S&P Global (2022). Commodities 2023: Lithium prices likely to see support from tight supply, bullish EV demand. Recuperado el 16 de junio de 2023 en <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/metals/122222-lithium-prices-likely-to-see-support-in-2023-from-tight-supply-bullish-ev-demand>.

Troncoso, V., Ercilla, O., Carrasco, R., y Vivallo, W. (2013). Estudio del potencial de litio en salares del norte de Chile. Recuperado el 16 de junio de 2023 en https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2017/09/Mercado-Internacional_Potencial-del-Litio-en-salares-del-norte-de-chile.pdf.

U.S. Geological Survey. (2023). Mineral Commodity Summaries 2023: Lithium. Recuperado el 16 de junio de 2023 en <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-lithium.pdf>.

Vera, M. L., Torres, W. R., Galli, C. I., Chagnes, A., y Flexer, V. (2023). Environmental impact of direct lithium extraction from brines. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(3), 149-165.

Worley y Flo Solutions. (2019). Prefeasibility Study of the Cauchari JV Lithium Project, Jujuy Province, Argentina. Recuperado el 30 de agosto de 2023 en https://www.datocms-assets.com/53992/1649845451-cauchari-pfs-final_nov-2019.pdf.

Apéndice 1

Sigla	Nombre	Región	Altura (m)	Superficie de salar (km2)	Precipitaciones (mm/año)	Evaporación potencial (mm/año)	Temperatura media (°C)
CHR	Lago Chungará	XVI	4.530	0	338	1.230	1,9
COT	Lagunas Cotacotani	XVI	4.495	0	379	1.070	1,9
LAA	Río Lauca	XVI	4.200	0	369,5	1.200	4,2
SUR	Salar de Surire	XVI	4.260	144	250	1.280	2,7
COP	Salar de Coposa	I	3.730	85	150	1.300	5
HCO	Salar del Huasco	I	3.778	51	150	1.260	5
LGU	Laguna Lagunilla	I	3.900	0,2	150	1.490	4,6
MIC	Salar de Michincha	I	4.125	2,5	200	1.620	3,5
PIN	Salar de Pintados	I	980	51	0,8	2.000	18,5
AC1	Salar de Aguas Calientes 1	II	4.280	15	150	1.500	1
AC2	Salar de Aguas Calientes 2	II	4.200	134	150	1.500	1
AC3	Salar de Aguas Calientes 3	II	3.950	46	150	1.500	1
AC4	Salar de Aguas Calientes 4	II	3.665	19,5	180	1.630	2
ALC	Salar de Alconcha	II	4.250	3,8	200	1.620	3,5
ASC	Salar de Ascotán	II	3.716	243	125	1.630	5,8
ATA	Salar de Atacama	II	2.300	3.000	25	2.000	14
CAR	Salar de Carcote	II	3.690	108	125	1.630	5,8
CPR	Salar de Capur	II	3.950	27	150	1.500	1
HEL	Laguna Helada	II	4.300	5,8	180	1.500	0
IMI	Salar de Imilac	II	2.949	9,8	40	2.000	10
LAC	Salar del Laco	II	4.250	16,2	200	1.500	1
LAZ	Laguna de la Azufrera	II	4.250	0	180	1.630	1
LEJ	Laguna Lejía	II	4.325	0	150	1.500	1
LOY	Salar de Loyoques	II	4.150	80	150	1.500	1
MIN	Laguna Miñiques	II	4.120	0	180	1.500	2
MIS	Laguna Miscanti	II	4.120	0	180	1.500	2
MUE	Laguna Chivato Muerto	II	4.295	0	200	1.500	0
PAJ	Salar de Pajonales	II	3.537	104	115	1.350	5
PSA	Salar de Pujsa	II	4.500	18	150	1.500	1
PUN	Salar de Punta Negra	II	2.945	250	50	2.000	10
TAR	Salar de Tara	II	4.400	48	150	1.500	0
TRI	Laguna Trinchera	II	4.290	0,4	200	1.500	0
TUY	Laguna Tuyajto	II	4.010	0	180	1.500	1
AGI	Salar de Aguilar	III	3.320	71	100	1.100	2

AMA	Salar de Agua Amarga	III	3.558	23	120	1.100	2
AZU	Salar de la Azufrera	III	3.580	3,3	120	1.100	3
BAY	Laguna del Bayo	III	4.250	0	140	1.000	-2
BRA	Lagunas Bravas	III	4.250	0	140	1.000	-2
ESC	Laguna Escondida	III	4.353	3,8	140	1.000	-1
FRA	Laguna del Negro Francisco	III	4.110	0	200	1.000	-1
GOR	Salar de Gorbea	III	3.950	27	140	1.000	-1
GRA	Salar Grande	III	3.950	29	130	1.000	-2
IGN	Salar Ignorado	III	4.250	0,7	140	1.000	-2
INF	Salar de los Infieles	III	3.520	6,7	100	1.100	2
ISL	Salar de La Isla	III	3.950	152	130	1.000	0
JIL	Lagunas del Jilguero	III	4.150	3,4	140	1.000	-2
LAV	Laguna Verde	III	4.350	0	170	1.000	1
LGN	Salar de la Laguna	III	3.494	0,55	120	1.100	3
MAR	Salar de Maricunga	III	3.760	145	120	1.200	4
PAR	Salar de las Parinas	III	3.987	40	140	1.000	0
PED	Salar de Pedernales	III	3.370	335	100	1.200	4
PIE	Salar de Piedra Parada	III	4.150	28	140	1.000	-2
WHE	Salar de Wheelwright	III	4.220	6,3	140	1.000	1

Apéndice 2

Sigla	Nombre	Li/TDS	Mg/Li	B/Li
CHR	Lago Chungará	0,0291%	428,8007	3,8993
COT	Lagunas Cotacotani	0,0466%	287,6593	2,6168
LAA	Río Lauca	0,0484%	147,9346	11,3922
SUR	Salar de Surire	0,1915%	7,0377	2,7008
COP	Salar de Coposa	0,0833%	73,8795	1,9382
HCO	Salar del Huasco	0,0989%	13,2659	5,0944
LGU	Laguna Lagunilla	0,0140%	210,9830	14,7557
MIC	Salar de Michincha	0,0120%	534,8177	28,7336
PIN	Salar de Pintados	0,1523%	9,5307	5,6441
AC1	Salar de Aguas Calientes 1	0,1743%	4,8454	2,5912
AC2	Salar de Aguas Calientes 2	0,0694%	34,6547	4,5270
AC3	Salar de Aguas Calientes 3	0,0875%	42,6330	4,0077
AC4	Salar de Aguas Calientes 4	0,1247%	23,9747	5,6129
ALC	Salar de Alconcha	0,0155%	127,7867	22,6733
ASC	Salar de Ascotán	0,3189%	3,4064	5,2338
ATA	Salar de Atacama	0,3077%	10,6254	1,1370
CAR	Salar de Carcote	0,1309%	15,2570	2,3516
CPR	Salar de Capur	0,0372%	87,2595	4,0831
HEL	Laguna Helada	0,2205%	6,4444	3,4828
IMI	Salar de Imilac	0,0290%	17,8717	8,9241
LAC	Salar del Laco	0,0506%	55,6999	5,9686
LAZ	Laguna de la Azufrera	0,0186%	392,7929	17,8881
LEJ	Laguna Lejía	0,0548%	172,9629	6,5133
LOY	Salar de Loyoques	0,1260%	10,4418	4,2296
MIN	Laguna Miñiques	0,0183%	135,6722	23,1170
MIS	Laguna Miscanti	0,0225%	69,4882	25,2991
MUE	Laguna Chivato Muerto	0,0490%	26,6402	3,7358
PAJ	Salar de Pajonales	0,0662%	40,4348	3,2206
PSA	Salar de Pujsa	0,1310%	11,8320	9,5954
PUN	Salar de Punta Negra	0,1287%	23,8607	2,9186
TAR	Salar de Tara	0,2796%	5,8718	3,8160
TRI	Laguna Trinchera	0,0462%	8,5132	3,7271
TUY	Laguna Tuyajto	0,0305%	68,0236	3,1103
AGI	Salar de Aguilar	0,1326%	14,2814	2,4391
AMA	Salar de Agua Amarga	0,0747%	19,5904	3,7107
AZU	Salar de la Azufrera	0,0426%	64,4694	5,3740
BAY	Laguna del Bayo	0,0482%	13,3838	6,9832
BRA	Lagunas Bravas	0,1971%	6,9017	3,5341
ESC	Laguna Escondida	0,0334%	156,0266	17,2077

FRA	Laguna del Negro Francisco	0,2668%	12,8731	1,8785
GOR	Salar de Gorbea	0,1294%	11,7977	6,9839
GRA	Salar Grande	0,0943%	16,0942	4,6559
IGN	Salar Ignorado	0,0159%	364,4001	12,1515
INF	Salar de los Infieles	0,1635%	17,9842	2,5390
ISL	Salar de La Isla	0,3228%	5,4694	0,3197
JIL	Lagunas del Jilguero	0,0862%	12,2525	5,4948
LAV	Laguna Verde	0,1798%	10,6115	1,6836
LGN	Salar de la Laguna	0,1257%	21,0217	7,9509
MAR	Salar de Maricunga	0,2950%	6,2480	1,3566
PAR	Salar de las Parinas	0,1364%	7,6364	1,0882
PED	Salar de Pedernales	0,2260%	9,4886	0,8427
PIE	Salar de Piedra Parada	0,1319%	21,1508	3,1284
WHE	Salar de Wheelwright	0,0730%	5,5464	2,8099

Apéndice 3

Sigla	Nombre	Li/TDS ajustado	Costo de producción estimado (US\$ de 2022)	Producción estimada (toneladas)
SUR	Salar de Surire	0,19%	\$4.601	34.221
COP	Salar de Coposa	0,08%	\$6.228	8.813
HCO	Salar del Huasco	0,10%	\$6.018	6.387
LGU	Laguna Lagunilla	0,01%	\$9.269	4
MIC	Salar de Michincha	0,01%	\$8.633	40
PIN	Salar de Pintados	0,15%	\$5.196	9.896
AC1	Salar de Aguas Calientes 1	0,17%	\$5.007	3.456
AC2	Salar de Aguas Calientes 2	0,07%	\$6.423	11.404
AC3	Salar de Aguas Calientes 3	0,09%	\$6.228	5.104
AC4	Salar de Aguas Calientes 4	0,12%	\$5.706	3.176
ALC	Salar de Alconcha	0,02%	\$8.379	78
ASC	Salar de Ascotán	0,32%	\$3.288	95.412
CAR	Salar de Carcote	0,13%	\$5.435	17.588
CPR	Salar de Capur	0,04%	\$7.334	1.276
HEL	Laguna Helada	0,22%	\$4.500	1.743
IMI	Salar de Imilac	0,03%	\$7.733	371
LAC	Salar del Lago	0,05%	\$7.109	1.062
LOY	Salar de Loyoques	0,13%	\$5.536	12.647
PAJ	Salar de Pajonales	0,07%	\$6.515	8.499
PSA	Salar de Pujsa	0,13%	\$5.616	3.089
PUN	Salar de Punta Negra	0,13%	\$5.390	39.080
TAR	Salar de Tara	0,28%	\$3.717	17.280
TRI	Laguna Trinchera	0,05%	\$7.956	27
AGI	Salar de Aguilar	0,13%	\$5.449	11.862
AMA	Salar de Agua Amarga	0,07%	\$6.556	2.218
AZU	Salar de la Azufrera	0,04%	\$7.590	190
ESC	Laguna Escondida	0,03%	\$7.805	170
GOR	Salar de Gorbea	0,13%	\$5.597	4.523
GRA	Salar Grande	0,09%	\$6.166	3.516
IGN	Salar Ignorado	0,02%	\$8.805	15
INF	Salar de los Infieles	0,16%	\$5.239	1.480
ISL	Salar de La Isla	0,32%	\$3.274	61.247
JIL	Lagunas del Jilguero	0,09%	\$6.621	400
LGN	Salar de la Laguna	0,13%	\$6.169	100
MAR	Salar de Maricunga	0,29%	\$3.518	53.384
PAR	Salar de las Parinas	0,14%	\$5.449	6.991
PED	Salar de Pedernales	0,23%	\$4.155	91.900
PIE	Salar de Piedra Parada	0,13%	\$5.555	4.777
WHE	Salar de Wheelwright	0,07%	\$6.785	616

Apéndice 4

Sigla	Nombre	Tasa de impuesto ad valorem óptima	Participación societaria óptima	Recaudación fiscal (MM US\$ de 2022)
SUR	Salar de Surire	20,51%	26,63%	\$275,67
COP	Salar de Coposa	12,37%	17,97%	\$56,66
HCO	Salar del Huasco	13,42%	19,20%	\$42,40
MIC	Salar de Michincha	0,35%	0,61%	\$0,16
PIN	Salar de Pintados	17,53%	23,68%	\$73,82
AC1	Salar de Aguas Calientes 1	18,48%	24,65%	\$26,43
AC2	Salar de Aguas Calientes 2	11,40%	16,79%	\$71,09
AC3	Salar de Aguas Calientes 3	12,37%	17,97%	\$32,81
AC4	Salar de Aguas Calientes 4	14,98%	20,96%	\$22,08
ALC	Salar de Alconcha	1,62%	2,78%	\$0,33
ASC	Salar de Ascotán	27,07%	32,40%	\$893,87
CAR	Salar de Carcote	16,34%	22,43%	\$127,02
CPR	Salar de Capur	6,84%	10,80%	\$6,79
HEL	Laguna Helada	21,01%	27,11%	\$14,22
IMI	Salar de Imilac	4,85%	7,90%	\$1,83
LAC	Salar del Laco	7,97%	12,36%	\$5,89
LOY	Salar de Loyoques	15,83%	21,89%	\$90,05
PAJ	Salar de Pajonales	10,94%	16,22%	\$52,20
PSA	Salar de Pujsa	15,43%	21,46%	\$21,75
PUN	Salar de Punta Negra	16,56%	22,67%	\$283,99
TAR	Salar de Tara	24,93%	30,62%	\$154,48
TRI	Laguna Trinchera	3,73%	6,20%	\$0,13
AGI	Salar de Aguilar	16,27%	22,36%	\$85,49
AMA	Salar de Agua Amarga	10,73%	15,97%	\$13,53
AZU	Salar de la Azufrera	5,56%	8,96%	\$0,96
ESC	Laguna Escondida	4,49%	7,36%	\$0,83
GOR	Salar de Gorbea	15,53%	21,56%	\$31,93
GRA	Salar Grande	12,68%	18,33%	\$22,82
INF	Salar de los Infieles	17,32%	23,46%	\$10,98
ISL	Salar de La Isla	27,14%	32,45%	\$574,64
JIL	Lagunas del Jilguero	10,41%	15,56%	\$2,41
LGN	Salar de la Laguna	12,67%	18,32%	\$0,65
MAR	Salar de Maricunga	25,92%	31,45%	\$487,85
PAR	Salar de las Parinas	16,27%	22,36%	\$50,38
PED	Salar de Pedernales	22,74%	28,70%	\$781,34
PIE	Salar de Piedra Parada	15,74%	21,79%	\$33,92
WHE	Salar de Wheelwright	9,59%	14,51%	\$3,61