

01/04

VACA MUERTA Y MINERÍA

AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO

ÁREA DE PENSAMIENTO ESTRATÉGICO

JORGE NUÑEZ
DANIEL MARTÍNEZ

OBJETIVOS

EL COMPLEJO MINERO **05**

01 **07**

MINERÍA HIDROCARBURÍFERA

VACA MUERTA **10**

EL FRACKING **14**

EL SHALE **16**

FLUIDO DE FRACTURA (COMPUESTOS QUÍMICOS) **17**

FLUIDO DE FRACTURA (UTILIZACIÓN DEL AGUA) **19**

DISPONIBILIDAD DEL RECURSO AGUA POR CUENCA **20**

AGUA DE RETORNO (FLOWBACK) **23**

NORMATIVA APLICABLE EN NEUQUÉN -LEY 1875
(DECRETOS 1483/12 Y 1485/12) **25**

CONCLUSIONES **25**

02 **27**

PLAN DIRECTOR AGUA Y SANEAMIENTO EN VACA MUERTA

ASPECTOS GENERALES **29**

PROYECCIÓN POBLACIONAL **33**

PRESTACIÓN DEL SERVICIO Y REGULACIÓN **33**

DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE **34**

DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE DESAGÜES CLOACALES	38
DATOS PARA EL MODELO	40
SISTEMA DE AGUA POTABLE	43
SISTEMA DE DESAGÜES CLOACALES	46
INVERSIONES	50
OBSERVACIONES ACERCA DE LAS INVERSIONES DE AÑELO	53

03 **55**

MINERÍA METALÍFERA

LITIO EN LA ARGENTINA: OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS, DESARROLLO DE LA CADENA DE VALOR	59
ARGENTINA EN EL ESCENARIO GLOBAL DEL LITIO	72
LITIO AGUAS ARRIBA: EXPLORACIÓN, EXTRACCIÓN Y PRODUCCIÓN	76
EL LITIO: HACIA LA PRODUCCIÓN DE BATERÍAS	91
POLÍTICAS DEL SECTOR: EXPERIENCIAS INTERNACIONALES	115
ANÁLISIS DE LAS OPORTUNIDADES Y OBSTÁCULOS PARA EL DESARROLLO DE ESLABONAMIENTOS	123
CONCLUSIONES DE LA EXPLOTACIÓN DE LITIO	136

OBJETIVOS

El presente informe tiene como objetivos, en un primer capítulo abordar la utilización del recurso Agua siguiendo los lineamientos generales establecidos en los Objetivos de Desarrollo Sustentable 2030 (ONU) a la cual Argentina Adhirió en lo relacionado al cuidado y utilización del agua desde su fuente de origen en el ámbito de explotación del “Shale”, en la Provincia de Neuquén.

En un segundo capítulo se determinará la infraestructura necesaria, relacionado a los servicios de agua potable, desagües cloacales y desagües pluviales, para la localidad de Añelo, Provincia de Neuquén, teniendo en cuenta que la explotación de petróleo Shale Oil, Shale Gas por parte de YPF, tendrá como consecuencia, el desarrollo poblacional de la región y por lo tanto, de la infraestructura necesaria para tal desarrollo.

EL COMPLEJO MINERO

El complejo minero se encuentra presente en la mayor parte del territorio nacional, dado que sus fases se hallan en las cinco macrorregiones en las que ha sido segmentado y en una gran cantidad de microrregiones sobre un total de 52. Más aún, el complejo aparece entre los tres principales de las cinco macrorregiones: ocupa el primer lugar en la Patagonia, el segundo en Cuyo, NOA y Centro; y el tercero en el NEA.

Los datos presentados en la publicación “*Complejos productivos y territorio. Aportes para el estudio de la geografía económica del país*” (CEPAL, 2015) muestran que el complejo minero es el tercero (sobre un total de 29) en importancia a nivel nacional en términos de empleo (sólo detrás del complejo automotor y el turístico) con 180.875 puestos de trabajo. No obstante, si sólo se consideran las fases centrales de cada complejo (núcleo articulador en el caso de los complejos de base industrial, producción primaria y primera industrialización en los de base agrícola), el minero no figura entre los diez principales. Esto indica que una parte importante del empleo del complejo se lleva a cabo en otras fases. En efecto, de las dos fases restantes, comercialización y proveedores, la segunda tiene una importancia considerable y, además, exhibe

un patrón de distribución geográfica marcadamente distinto al del núcleo articulador.

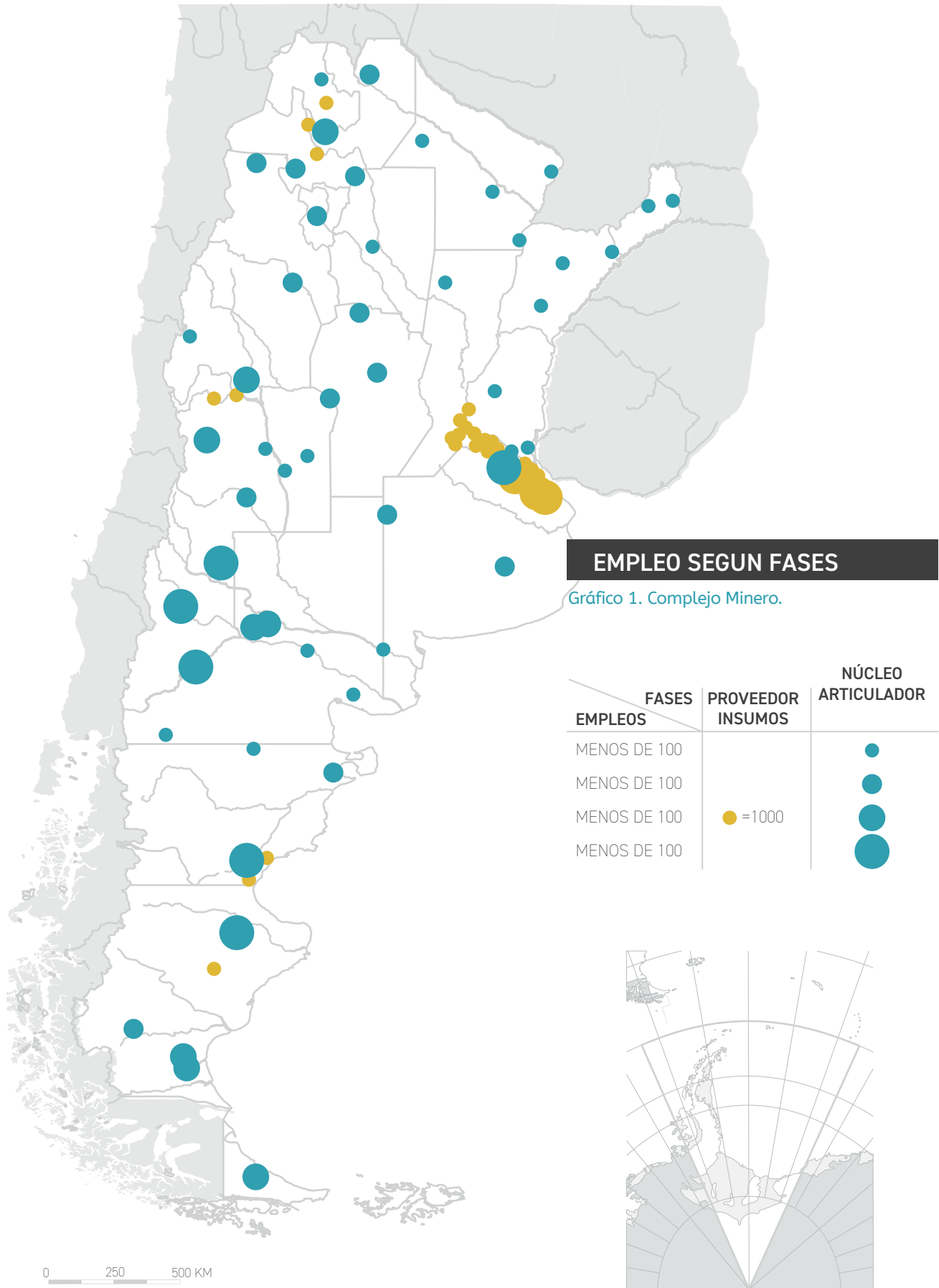
El grafico 1 muestra por un lado, el despliegue territorial del complejo, estrechamente vinculado a su heterogeneidad ; y por el otro, da cuenta de la desigual distribución de las fases: el núcleo articulador se halla en gran parte del país –destacándose en San Juan, Salta y Jujuy, Mendoza, Neuquén, Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego– mientras que los proveedores tienen una localización altamente selectiva en el Cordón Industrial La Plata-Buenos Aires-Rosario y en algunas pocas regiones productoras, como Salta, San Juan, Santa Cruz y Chubut.

Respecto a las actividades que componen al complejo, estas son muy específicas en complejidad y en el uso de tecnología. Incluye desde tareas de estudio geológico hasta herramientas de alta tecnología. Por la naturaleza de sus actividades y por su dependencia de la geografía de los recursos, acarrea una variada serie de actividades secundarias. Entre ellas tenemos a las destinadas a satisfacer tanto las necesidades de los trabajadores y técnicos que deben vivir cerca de las explotaciones mineras (a veces en campamentos o instalaciones temporarias), como también, los requerimientos técnicos y de insumos que implica extraer, procesar, transportar y almacenar lo extraído, entre otras cuestiones.

El complejo minero argentino comprende principalmente a la actividad extractiva, a las actividades industriales constituidas principalmente por la transformación de las materias primas y a los servicios correspondientes a la comercialización de sus productos. Las actividades del complejo tienen una larga tradición en el país, que desde el siglo XIX cuenta con producción de los eslabones primarios, y a lo largo del siglo XX fue avanzando de distinto modo en las etapas de industrialización de los insumos.

No obstante, una característica fundamental de este complejo es su heterogeneidad.

Una primera clasificación que da cuenta de dicha heterogeneidad distingue las actividades ligadas a los hidrocarburos (básicamente, petróleo y gas), por un lado, y el resto de la minería, por el otro. Estos dos grandes grupos tienen, como característica adicional, desiguales patrones de distribución geográfica en el territorio nacional.

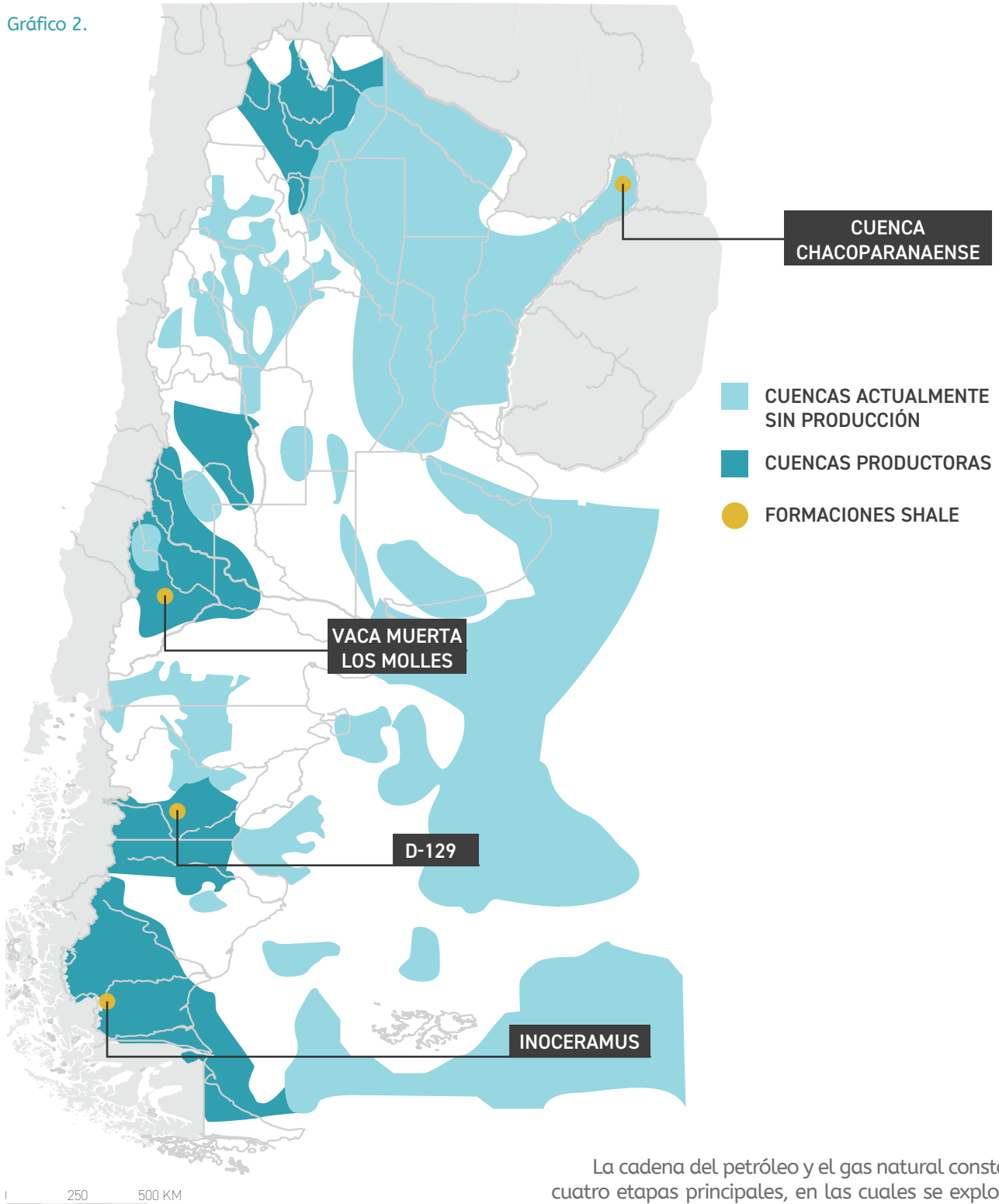


01

**MINERÍA
HIDROCARBURÍFERA**

CUENCAS HIDROCARBURÍFERAS

Gráfico 2.



La cadena del petróleo y el gas natural consta de cuatro etapas principales, en las cuales se explora y extrae el hidrocarburo, se transporta y luego se refina y distribuye. La producción minera hidrocarbúfera se articula a partir de cinco cuencas: Austral, Cuyana, Golfo San Jorge, Neuquina y Noroeste

Una particularidad de la industria del petróleo y del gas es que presenta una etapa común referida a la exploración y explotación de hidrocarburos líquidos y gaseosos (denominada upstream o exploración y desarrollo). Esta etapa supone una serie de actividades específicas altamente especializadas, generalmente desarrollada por empresas de servicios petroleros que son globales y propietarias o proveedoras de equipos (CIECTI, 2013).

Por su parte, el nivel de reservas según cada una de las cuencas indica que la cuenca del Golfo San Jorge tiene el 67% de las reservas de petróleo y el 14% de las de gas, mientras que la cuenca Neuquina presenta el 22% y el 45%, respectivamente. En tercer

lugar aparece la cuenca Austral, con un tercio de las reservas de gas, luego la Cuyana (6% del petróleo) y finalmente la Noroeste (1% del petróleo, 8% del gas).

CUENCA	% RESERVA DE PETROLEO	% RESERVA DE GAS
Golfo San Jorge	67%	14%
Neuquina	22%	45%
Austral	4%	33%
Cuyana	6%	0%
Noroeste	1%	8%

Tabla 1. Niveles de Reserva por Cuenca.

VACA MUERTA

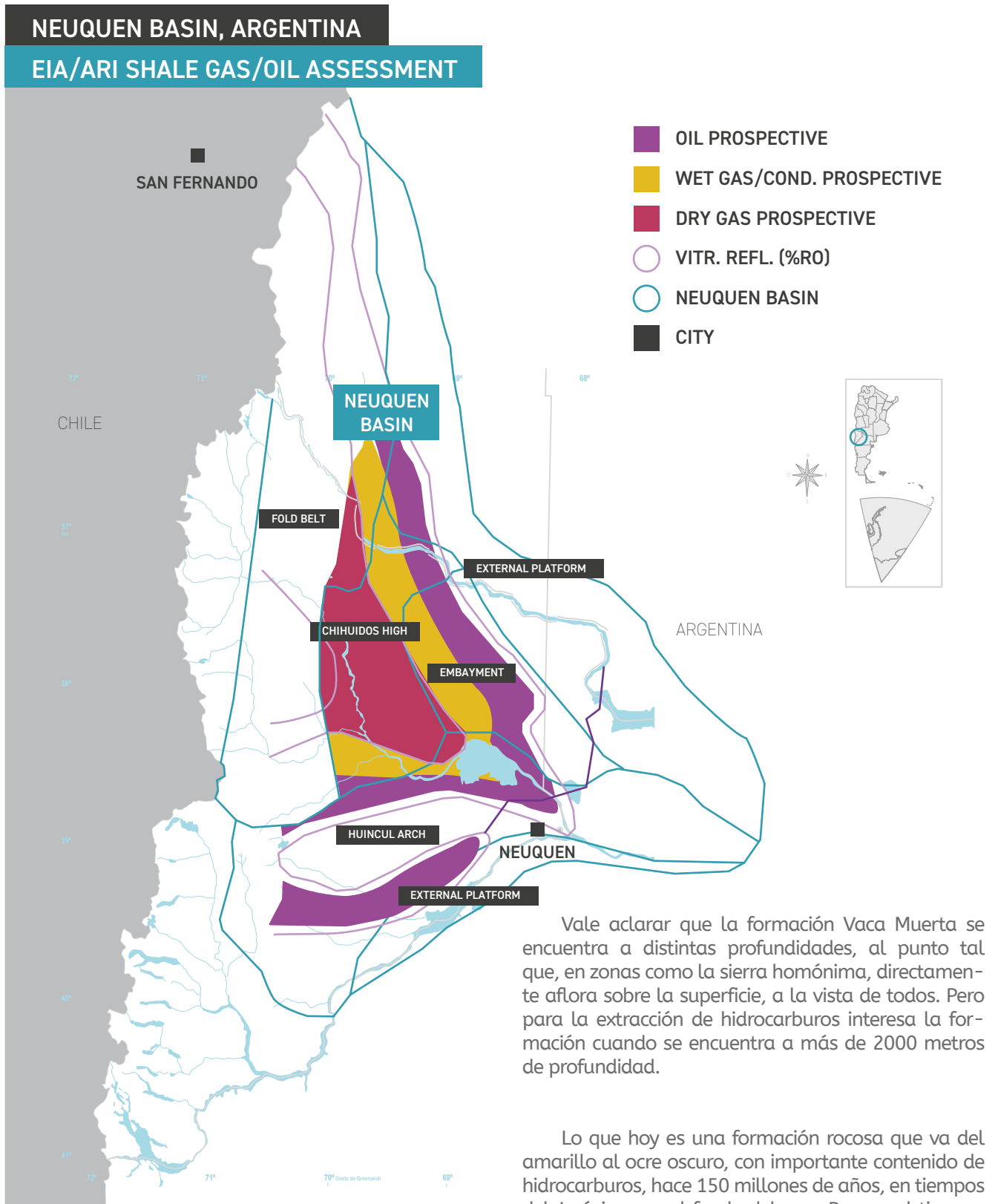
Aunque su nombre está en boca de todos desde hace varios años, es conocida desde hace casi 90 años en dónde está y por qué interesa tanto.

Los geólogos dividen el subsuelo en formaciones geológicas, de acuerdo con las características particulares de las rocas. Son características que las diferencian a unas de otras. Vaca Muerta, entonces, es el nombre de una formación geológica con características determinadas, que interesa especialmente por su contenido de gas y petróleo.

De hecho, es un tipo de formación (muy poco porosa y casi impermeable), denominada vulgarmente “shale” por su contenido de arcillas, y llamada por los geólogos roca generadora o roca madre, dado que allí se han originado hidrocarburos tras un extenso proceso geológico. Parte de esos hidrocarburos, luego, migró hacia otras formaciones más porosas y permeables, pero otra parte muy importante –la mayor– permanece allí. Tradicionalmente, la llamada explotación convencional de hidrocarburos se centró en extraer el petróleo y el gas almacenados en formaciones permeables, tras haber migrado desde la roca generadora. La explotación de los llamados no convencionales, como los de Vaca Muerta, consiste en tomarlos de la propia formación generadora.

Para los geólogos, identificar una roca generadora es de gran importancia, dado que abre la posibilidad de que exista un sistema petrolero; es decir, una roca generadora, una roca reservorio (a donde los hidrocarburos han migrado tras abandonar la roca generadora) y una roca sello, que mantiene atrapados a los hidrocarburos.

Por eso, cuando en los primeros años de la década del 20 del siglo pasado, el brillante geólogo estadounidense Charles Edwin Weaver describió en las laderas de la Sierra de la Vaca Muerta, en Neuquén, la presencia de una nueva roca generadora seguramente habrá sentido enorme satisfacción. Weaver, de hecho, recorría Neuquén y Mendoza desde hacía muy poco, contratado por la Standard Oil de California (hoy, Chevron), prospectando el prometedor territorio. Recién en 1931 publicó Weaver sus descubrimientos, entre ellos, el de lo que llamó Formación Vaca Muerta. Se trataba, claro, de algo fabuloso dado que esta hoy célebre formación es la roca generadora de la mayor parte del gas y el petróleo que se extrae históricamente de la Cuenca Neuquina.



Vale aclarar que la formación Vaca Muerta se encuentra a distintas profundidades, al punto tal que, en zonas como la sierra homónima, directamente aflora sobre la superficie, a la vista de todos. Pero para la extracción de hidrocarburos interesa la formación cuando se encuentra a más de 2000 metros de profundidad.

Lo que hoy es una formación rocosa que va del amarillo al ocre oscuro, con importante contenido de hidrocarburos, hace 150 millones de años, en tiempos del Jurásico, era el fondo del mar. Por aquel tiempo, la cordillera de los Andes no existía, y el Pacífico se entrometía en lo que hoy es territorio neuquino. Durante décadas, centurias y milenios, ese lecho marino iba colmándose de sedimentos minerales y gran cantidad de seres vivos, la mayor parte microscópicos.

Gráfico 3. La cuenca de neuquina, área de la formación de Vaca Muerta.

VACA MUERTA Y MINERÍA

ÁREA DE PENSAMIENTO ESTRATÉGICO

Los restos de esos seres vivos fueron la materia orgánica que, tras cocinarse durante millones de años, dieron origen al gas y al petróleo de Vaca Muerta. Cuando Hacemos un pozo de 3.000 metros para alcanzar la Formación Vaca Muerta, no hacemos más alcanzar aquel antiguo fondo oceánico, de los tiempos de los dinosaurios.

La Cuenca Neuquina (líneas azules) y el área aproximada de la Formación Vaca Muerta. En distintos colores, el hidrocarburo que contiene: petróleo, gas seco y gas húmedo (grafico 3).

Hace unos años, los argentinos tomamos conciencia de que era viable valerse del enorme recurso energético (gas y petróleo) que contiene la Formación Vaca Muerta. Como dijimos, conocíamos desde los tiempos de Weaver su potencial, pero ni la tecnología ni los costos permitían siquiera soñar con aprovecharlo. Hoy, esta situación se ha revertido.

La actividad para extraer estos recursos se ha vuelto intensiva y va en aumento. Nosotros no podemos “ir” a Vaca Muerta, ubicada a kilómetros de profundidad en las zonas de interés. Pero sí podemos “paramos” en la superficie, en donde sabemos que se encuentra, y luego perforar un pozo hasta alcanzarla (la perforación a 3.200 metros, por ejemplo, demanda unos 20 días).

Luego, es necesario generar permeabilidad para que el petróleo y el gas puedan escapar de la formación, que es tan compacta. Dicho de otro modo, abrir las vías para que fluya el hidrocarburo, algo que se logra mediante una técnica conocida como “estimulación hidráulica” o “fracking”, que consiste en la inyección a presión de una mezcla de agua, arena y algunos aditivos químicos, para que genere micro fisuras más angostas que el ancho de un pelo. Finalmente, el pozo queda operativo durante años o décadas.

Como dato final, existen otras rocas generadoras con potencial hidrocarbúfero, como Vaca Muerta. Son ejemplo de ello las formaciones Los Molles (se encuentra debajo de Vaca Muerta); Pozo D-129 (en la Cuenca del Golfo de San Jorge) y Los Monos (Cuenca del Noroeste), entre otras (grafico 4).

PERIOD EPOCH	AGE	
	<i>Paleocene???</i>	
CRETACEOUS	LATE	MAASTRICHTIAN
		CAMPANIAN
		SANTONIAN
		CONIACIAN
		TURONIAN
		CENOMANIAN
	EARLY	ALBIAN
		APTIAN
		BARREMIAN
		HAUTERIVIAN
		VALANGINIAN
		BERRIASIAN
JURASSIC	MALM	TITHONIAN
		KIMMERIDGIAN
		OXFORDIAN
	DOGGER	CALLOVIAN
		BATHONIAN
		BAJOCIAN
		AALENIAN
		TOARCIAN
	LIAS	PIENSBACHIAN
		SINEMURIAN
		HETTANGIAN
TRIASSIC		
PALAEOZOIC		

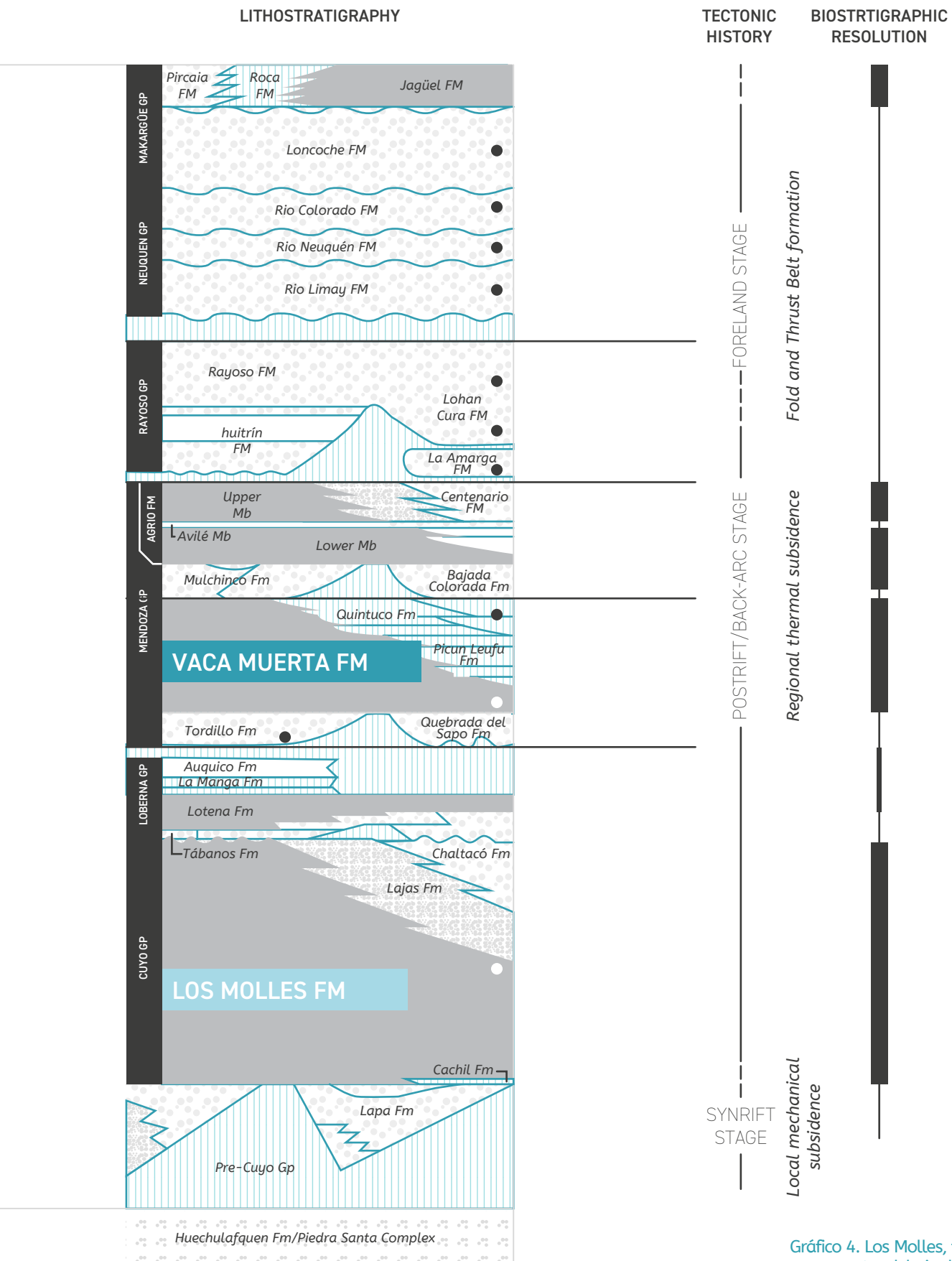


Gráfico 4. Los Molles, formación que se encuentra debajo de Vaca Muerta

EL FRACKING

El “*fracking*”, como se la menciona vulgarmente, no es otra cosa que una antigua y habitual técnica petrolera muy conocida, llamada “*estimulación hidráulica*”. Se aplica desde hace décadas a pozos convencionales, de Argentina y de todo el mundo y, más recientemente, para extraer gas y petróleo de formaciones “*no convencionales*”, como Vaca Muerta.

Extraer hidrocarburos no es una tarea nada sencilla. Un parámetro clave es la permeabilidad del yacimiento; es decir, en qué medida, los poros microscópicos que contienen gas y petróleo están interconectados entre sí.

Cuando esa interconexión es buena, se dice que la roca es permeable, dado que los hidrocarburos pueden moverse por el interior de la roca. Es el caso de los reservorios que llamamos “*convencionales*”.

Por el contrario, cuando la interconexión es mala o directamente nula, decimos que se trata de rocas de baja o nula permeabilidad. Es entonces cuando hablamos de formaciones de hidrocarburos “*no convencionales*”, como Vaca Muerta (shale de la Cuenca Neuquina) o Las Lajas Inferior (tight del Alto Valle de Río Negro, por ejemplo).

La estimulación hidráulica (*fracking*) nació hace unos 80 años, a fines de los años 40. La idea era mejorar la permeabilidad de los yacimientos convencionales de gas.

El concepto es simple: mediante la inyección de un “*fluido de fractura*” se abren fisuras microscópicas en la roca, que se apuntalan con granitos de arenas especiales para que no vuelvan a cerrarse. Por los espacios entre los granos de arena, y a lo largo de las fisuras, pueden fluir el gas o el petróleo, incluso de formaciones completamente impermeables.

Sobre él proceso de *fracking* se vierten y han vertido comentarios negativos. No tienen sustento técnico, pero dichas en lenguaje pseudo científico suenan alarmistas: que se usan cientos de químicos peligrosos; que contaminan las napas de agua; que generan terremotos; que se utilizan explosivos capaces de pulverizar la roca...

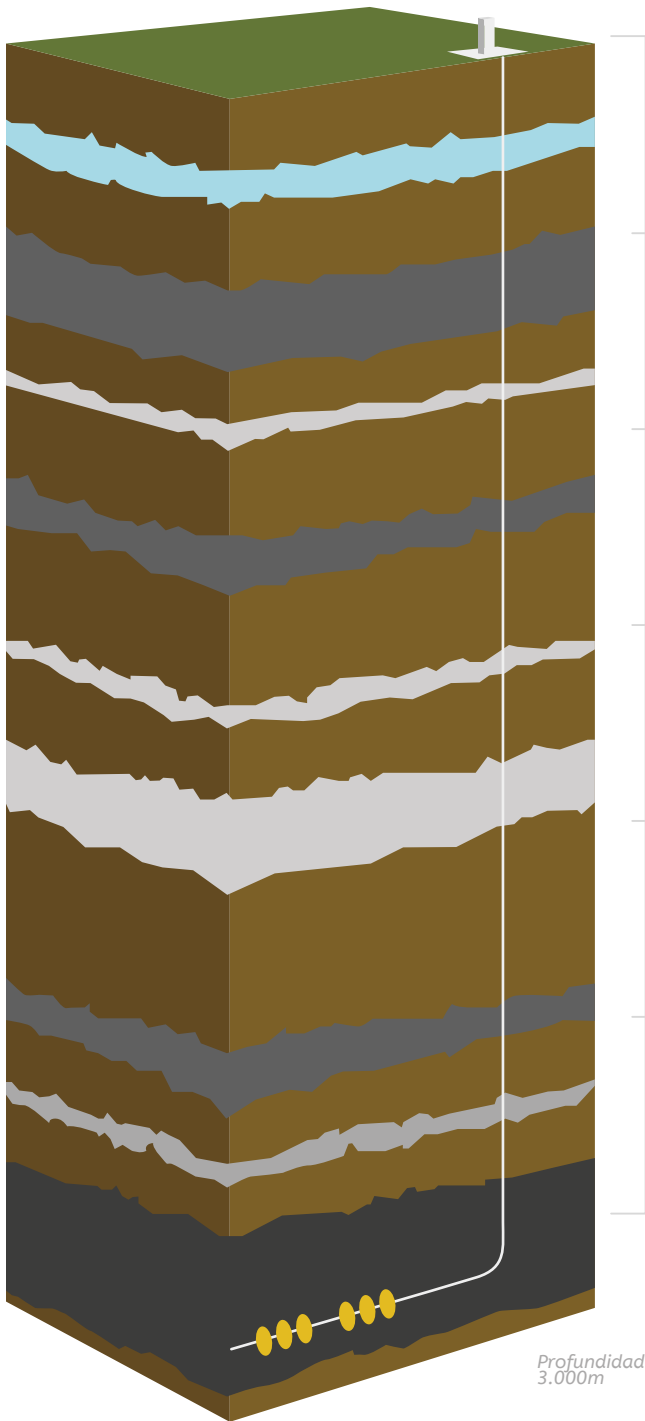
La realidad es que no se “*pulveriza*” la roca ni se fractura con explosivos, como es frecuente leer por medios poco informados. Tampoco hay ejemplos de acuíferos contaminados ni se han registrado terremotos en Neuquén, por culpa del *fracking*, desde que se desarrolla la Formación Vaca Muerta. Sólo se utiliza presión, a través de un medio líquido, que es el “*fluido de fractura*” (grafico 5).

La operación de fractura se inicia una vez que el pozo ha sido “*punzado*”. Es el momento de preparar e inyectar el fluido, formado en un 99,5% por agua y agente de sostén (arenas), y un 0,5% de aditivos químicos (alrededor de una docena).

En el grafico 6 se observa el punzado del caño camisa en la zona de extracción del SHALE, para generar las fisuras en la zona donde se encuentran los hidrocarburos. Los orificios de punción tienen aproximadamente 1 CM de diámetro, por donde circulara el fluido de fractura.

En el grafico 7 se aprecia corte con el encamisado y orificios preparados para la inyección del fluido de fractura.

El fluido de fractura tiene como objetivo generar las fisuras en la zona de ataque como se puede apreciar en los gráficos 8,9,10 y 11.



RADIO MÁXIMO DE FISURAS

Lateral: 150 a 200 mm
Vertical: 80 m

Gráfico 5. Esquema del fracking.

ESQUEMA DEL FRACKING

LAS OPERACIONES SE REALIZAN A MILES DE METROS DE PROFUNDIDAD, LEJOS DE CUALQUIER ACUÍFERO DE AGUA DULCE

El radio máximo de las fisuras no excede los 250m.

El espesor de las fisuras tiene un máximo de 1mm.

El mayor crecimiento de las fisuras se da en forma horizontal.

500

1.000

1.500

2.000

2.500

3.000

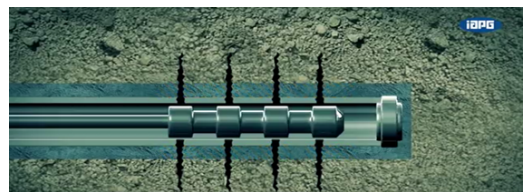


Gráfico 6. Punzado del caño camisa en la zona de extracción del SHALE.

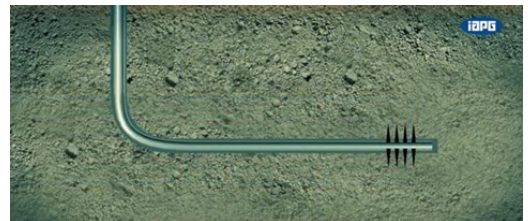


Gráfico 7. Corte y orificios preparados para la inyección del fluido de fractura.



Gráfico 8. Radio de fisura.



Gráfico 9. Radio de fisura.



Gráfico 10. Dimensión de las fisuras provocados por el líquido de fractura.

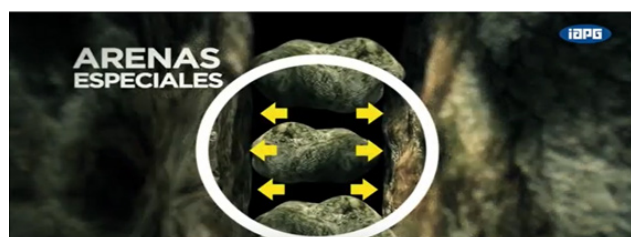


Gráfico 11. Arena dentro del interior de las fisuras.

Al inyectarse el fluido, la arena queda en el interior de las fisuras, impidiendo que se cierren al bajar la presión, como se observan en el grafico 11.

Como se dijo, por esas fisuras comienzan a fluir, primero, el agua excedente de la operación, llamada “agua de retorno” o “flowback” y, más tarde, el gas y el petróleo. Es cuando el pozo entra en producción.

En la Argentina, que posee recursos shale tan importantes como los de Estados Unidos, el fracking ya se está aplicando tanto a formaciones tight (desde 2005) como a formaciones shale (desde 2010) con resultados más que prometedores.

De hecho, hoy, el 25% del gas natural que produce nuestro país proviene de esas formaciones, así como el 8% del petróleo.

Más allá de las cifras, es importante tener en cuenta que se trata de una técnica segura, probada y conocida que, como toda actividad humana, no está exenta de riesgos, aunque todos ellos perfectamente manejables.

Como se expresó, algunas cuestiones que hacen a la aplicación del fracking generan lógica inquietud en la comunidad. Es por eso que en este informe encontrará información y respuestas a inquietudes que abarcan temas como el uso del agua, el uso de químicos, la protección de los acuíferos y la probabilidad de sismicidad inducida.

EL SHALE

Muchas veces se plantean dudas sobre dos cuestiones referidas a la estimulación hidráulica y el agua. Una, la necesidad de atravesar los acuíferos superficiales de agua dulce, cuando los hay, para llegar a los hidrocarburos. Otra, si las fisuras en la roca que se producen por acción de la estimulación hidráulica pueden alcanzar los acuíferos superficiales y contaminarlos con hidrocarburos o con los fluidos de estimulación.

Para el primer caso, atravesar acuíferos durante la perforación es algo que incumbe a los hidrocarburos no convencionales, pero también a los convencionales. La perforación vertical, de hecho, es una práctica muy consolidada en la industria, ya que hace más de un siglo se practica habitualmente. A medida que se avanza en la perforación, el pozo se va encamisando mediante una combinación de tuberías protectoras y cemento (en inglés se la denomina casing). Una vez terminado el encamisado y fraguado el cemento, se corren por dentro de la tubería unos perfiles que permiten visualizar si hay alguna falla de hermeticidad en el pozo. De haberla, esta es reparada. Solo una vez que se ha comprobado fehacientemente la hermeticidad del encamisado se procede a realizar el resto de los trabajos en el pozo; entre ellos, la continuación de la perforación a las profundidades donde se encuentran los hidrocarburos. Una vez alcanzada dicha profundidad, se vuelve a entubar y cementar el pozo. Y, finalizada la entubación y nuevamente comprobada la hermeticidad del pozo respecto de sus paredes, se procede a inyectar agua y arena a presión. En el grafico 12 se puede apreciar el método de protección del acuífero.



Gráfico 12. Método que se usa para proteger el acuífero.

Hubo raras excepciones en las que el agua subterránea se vio afectada por instalaciones defectuosas del encamisado protector. Pero estas situaciones se resolvieron de inmediato, sin ningún impacto significativo en el agua subterránea.

En cuanto a la posibilidad de que las fisuras que provoca la estimulación hidráulica alcancen los acuíferos superficiales se trata de una situación que tiene bajísimas o, directamente, nula posibilidad de ocurrir.

En nuestro país, las rocas que contienen gas y petróleo de esquisto se encuentran entre los 2.500 y 4.500 metros de profundidad. Los acuíferos para agua de uso doméstico, por lo general se encuentran, a menos de 300 metros bajo la superficie. No existe ningún trayecto físico entre las formaciones de esquistos y los acuíferos. Por el contrario, hay kilómetros de

roca, en general impermeable. Además, las fisuras, producto de la estimulación, difícilmente superen los 100 metros de longitud, con tendencia a que se hagan cada vez más pequeñas. Por lo tanto, la inyección de agua a alta presión no produce contaminación del agua potable.

Como dato extra se puede mencionar que en Estados Unidos, donde existen casi 40.000 pozos de shale, no se ha documentado ningún caso de contaminación de acuíferos superficiales por estimulación hidráulica.

En el gráfico 13 se puede observar un corte de protección del acuífero constituida por tres capas de encamisado con tubería especial, el espacio entre estas tuberías de rellena con cemento inyectado a presión.

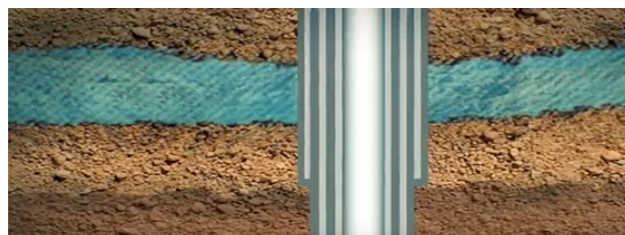


Gráfico 13. Protección del acuífero con encamisado especial.

FLUIDO DE FRACTURA (COMPUESTOS QUÍMICOS)

EN EL CASO DE LA EXTRACCIÓN DE LOS HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES, COMO REGLA GENERAL, EL FLUIDO UTILIZADO PARA GENERAR FISURAS EN LA ROCA ESTÁ COMPUESTO, FUNDAMENTALMENTE, POR AGUA (95%), ARENA (4,5%) Y ENTRE 8 Y 15 COMPUESTOS QUÍMICOS (MENOS DEL 1 %).

Se trata de compuestos conocidos, que suelen aparecer en los hogares, en productos de limpieza, en alimentos industrializados, cosméticos, etc. Incluso, en los hogares se utilizan en concentraciones mucho mayores que en la industria de los hidrocarburos.

En la actualidad, en una operación típica para shale oil en Vaca Muerta los químicos representan el 0,7 % del fluido de estimulación hidráulica. De ese total, la mitad es ácido clorhídrico (presente en nuestro estómago para poder realizar la digestión y utilizado para desinfectar las piletas de natación). Otro 25% es un polímero natural, llamado goma guar, presente en helados, mousses

y cosméticos. Y el resto de los aditivos componen el otro 25 %.

La tabla 2 es una lista de los grupos de químicos más comunes. Se explican las funciones en la industria de los hidrocarburos y en el hogar, y se comparan sus concentraciones para cada caso.

TIPO DE SUSTANCIA	FUNCIÓN EN LA INDUSTRIA	FUNCIÓN EN EL HOGAR
Hipoclorito de sodio (lavandina)	Acondicionamiento del agua, control microbiano	Desinfectante, agente blanqueador, tratamiento del agua. Uso médico
Glutaraldehído	Control microbiano	Desinfectante. Producto utilizado para esterilizar equipamiento médico y odontológico
Hidróxido de sodio (soda cáustica)	Ajuste de pH para el fluido de fractura	Preparación de alimentos, jabones, detergentes, blanqueadores dentales
Ácido clorhídrico (ácido muriático) (33%)	Disolver carbonatos, bajar el pH	Para destapar cañerías. Presente en el estómago
Carbonato de sodio (natrón)	Ajuste de pH para el fluido de fractura	Limpiadores, lavavajillas, pasta de dientes, acuarios, cuidado del cabello
Bicarbonato de sodio	Ajuste de pH para el fluido de fractura	Polvo leudante, limpiadores, pasta de dientes, polvo de bebés, acuarios
Ácido acético (vinagre)	Estabilizador de hierro para la mezcla de ácido clorhídrico	Preparación de comidas, productos de limpieza
Cloruro de potasio	Control de la expansión de arcillas	Sal de mesa dietética, uso médico, suplemento para mascotas
Goma guar	Gelificante (polímero)	Cosméticos, productos horneados, helado, dulces, sustituto de trigo
Sales de Borato/ ácido bórico	Para reticular el fluido de fractura	Cosméticos, spray para cabello, antiséptico, detergentes
Enzima hemi celulósica	Ruptor de gel. Rompe las cadenas poliméricas.	Aditivo de vinos, pasta de soja, procesos industriales de alimentos, aditivo de alimentos de granja
Enzimas	Ruptor de gel. Rompe las cadenas poliméricas.	Detergentes, jabones para ropa, removedores de manchas, limpiadores, café instantáneo
Surfactantes	Tensioactivos: Para reducir las tensiones superficiales y interfaciales	Detergentes, lavavajillas, shampoo, gel de duchas
Sílica (arena)	Agente de sostén	Vidrio, limpiadores en polvo, artículos de artística
Resina acrílica	Agente de sostén (recubrimiento de granos de agente de sostén)	Desinfectante, colorante, empaque de alimentos

Algunos de los compuestos químicos enumerados, dependiendo de la concentración en que se encuentren, pueden resultar tóxicos, tanto en el hogar como en las operaciones de gas y petróleo. Por eso la industria se preocupa especialmente de que no entren en contacto con el medio ambiente, confinándolos en tuberías y piletas especialmente diseñadas durante las operaciones e inyectándo-

los en pozos viejos, a grandes profundidades, en su disposición final aunque, en esta última etapa, la mayoría de ellos prácticamente se ha degradado.

CONCENTRACIÓN EN EL HOGAR	CONCENTRACIÓN EN EL FLUIDO DE FRACTURA
0,1% a 20%	0,01% a 0,02%
	0.01%
0,1% a 5%	0,04% a 0,08%
	0.33%
0,5% a 85%	0,0% a 0,025% (Muy raramente utilizado)
1% a 100%	0,0% a 0,006% (Muy raramente utilizado)
1% a 5%	0.003%
0,5% a 40%	0,0% a 0,91%
0,5% a 20%	0,0% a 0,25%
0,1% a 5%	0,0% a 0,001%
0.1% 25%	0,0% a 0,0005%
Aprox. 0,1%	0,0% a 0,0005%
0,5% a 2,0%	0,02%
1% a 100%	4,0% a 6,0%
<0,01% a 2%	0,0% a 0,002% (no se usa siempre)

FLUIDO DE FRACTURA (UTILIZACIÓN DEL AGUA)

Las técnicas para extraer hidrocarburos de esquistos y lutitas requieren de agua, en cantidades que dependen de las características de la formación en la que se encuentran los hidrocarburos y el tipo de pozo. El rango, por lo tanto, es amplio: arranca en 4.500 m3 y llega a los 30.000 m3 por pozo. Hoy, sin embargo, lo habitual para pozos verticales –que son la mayoría– es utilizar entre 4.500 y 6.000 m3 de agua, y para los horizontales hasta 12.000 m3. Y la tendencia es a requerir cada vez menos, gracias a la evolución de la tecnología, que busca mayor eficiencia.

Este número, difícil de dimensionar para quien no trabaja habitualmente en cuestiones técnicas, debe ser contrastado con la disponibilidad de agua del lugar. Si tomamos como ejemplo la provincia de Neuquén, en donde se concentra la mayor actividad, de explotarse la formación Vaca Muerta intensivamente, el requerimiento sería menor al 1% anual del recurso hídrico neuquino, frente a un 5% que se llevan el agro, la industria y la población en general y al 94% que pasa a otras jurisdicciones. Por lo tanto, esta actividad está lejos de comprometer el abastecimiento de agua. En el siguiente punto se detallará la disponibilidad del recurso por cuenca, que constituyen la cuenca del Río Neuquén.

Como dato extra es importante saber que el abastecimiento de agua para la industria está estrictamente regulado por las provincias que, en general, solo permiten el uso de agua de cursos superficiales (ríos y lagos) y no de acuíferos de agua dulce.

Tabla 2. Grupos de químicos más comunes.

DISPONIBILIDAD DEL RECURSO AGUA POR CUENCA

La Provincia del Neuquén posee una importante red hidrográfica, la mayor parte de la superficie es árida, ríos alóctonos, que se alimentan en la cordillera, con largo canal sin afluentes hasta desembocar en el océano. Por la magnitud de los caudales y la calidad de sus aguas, las cuencas hídricas de la provincia pueden considerarse como las más importantes del país de aguas enteramente nacionales. En la tabla 3 se describen las características de disponibilidad del recurso agua por cuencas que componen la cuenca del Río Neuquén.

En la tabla 4 se expresa la demanda actual en porcentajes en relación con el Caudal Mínimo Anual, en el cual queda en evidencia la disponibilidad remanente de esta cuenca según uso del recurso que es el 98%.

En la tabla 5 se presenta la oferta del recurso para la misma cuenca.

En la tabla 7 se expresa la demanda actual en porcentajes en relación con el Caudal Mínimo Anual de la cuenca del Limay, en el cual queda en evidencia la disponibilidad remanente de esta cuenca según uso del recurso que es el 98% de igual manera que la cuenca del Río Colorado.

En la tabla 8 se presenta la oferta del recurso para la cuenca del Río Limay.

En la tabla 10 se expresa la demanda actual en porcentajes en relación con el Caudal Mínimo Anual de la cuenca del Río Neuquén, en el cual se observa la importante incidencia de uso de riego del orden del 56%, y una disponibilidad del recurso remanente del 42%.

DE ESTO SURGE CON CLARIDAD, QUE CUANDO SE PLANTEA LA VIABILIDAD DE UNA CAPTACIÓN DE AGUA PARA CUALQUIER DESARROLLO, NO PUEDE EFECTUARSE UNA EVALUACIÓN A PARTIR DE LA DISPONIBILIDAD EN VOLUMEN DEL AGUA, SINO QUE DEBE EFECTUARSE A PARTIR DEL CAUDAL INSTANTÁNEO A PARTIR DEL CUAL PRETENDE EFECTUARSE LA EXPLOTACIÓN, Y TENIENDO EN CUENTA LA SIMULTANEIDAD DE CAPTACIONES O NO Y DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA INVOLUCRADA.

De la experiencia internacional y Nacional de la cuenca Hidrocarburífera, No Convencional, surgen las primeras conclusiones preliminares teniendo en cuenta que la explotación del SHALE se encuentra en pleno desarrollo.

- Para una perforación convencional: Ejecución entre 500 y 700 m3 de agua Estimulación hidráulica hasta 1.000 m3 de agua.
- Para una perforación no convencional: Ejecución entre 500 y 700 m3 de agua Estimulación hidráulica entre 45.000 m3 a 60.000 m3 de agua por perforación estimulada, considerando 30 etapas por pozo y una demanda de 1.500 m3 de agua por etapa de estimulación en promedio.

CUENCA RÍO COLORADO

SUPERFICIE DE LA CUENCA RÍO COLORADO EN KM2	DEMANDA ACTUAL			
	ABAST. HUMANO	RIEGO M3/AÑO	INDUSTRIAL M3/AÑO	TOTAL M3/AÑO
48.122	3.590.496	8.342.804	9.852.933	21.786.233

Tabla 3. Disponibilidad del recurso: agua.

	DEMANDA ACTUAL				CAUDAL MÍNIMO	
	ABASTECIMIENTO HUMANO	RIEGO M3/AÑO	INDUSTRIAL M3/AÑO	DISPONIBILIDAD REMANENTE	CAUDAL MÍNIMO M3/S	CAUDAL MÍNIMO ANUAL M3/AÑO
	0,28%	1%	1%	98,27%	40	1.261.440.000

Tabla 4. Demanda actual y caudal mínimo-Cuenca Río Colorado

CUENCA RÍO LIMAY

OFERTA	
MODULO M3/S	ANUAL M3/AÑO
150	4.730.400.000

Tabla 5. Oferta del recurso

DEMANDA ACTUAL					
SUPERFICIE DE LA CUENCA RIO LIMAY EN KM2	ABASTECIMIENTO HUMANO	RIEGO M3/AÑO	INDUSTRIAL M3/AÑO	TOTAL M3/AÑO	
61.450	33.362.784	67.785.282	6.121.754	107.269.820	

Tabla 6. Disponibilidad del recurso: agua

DEMANDA % CONSIDERANDO UN CAUDAL MINIMO ANUAL	DEMANDA ACTUAL				CAUDAL MINIMO	
	ABASTECIMIENTO HUMANO	RIEGO M3/AÑO	INDUSTRIAL M3/AÑO	DISPONIBILIDAD REMANENTE	CAUDAL MINIMO M3/S	CAUDAL MINIMO ANUAL M3/AÑO
	0,50%	1%	0,1%	98,38%	210	6.622.560.000

Tabla 7. Demanda actual y caudal mínimo-Cuenca Rio Limay.

CUENCA RÍO NEUQUÉN

OFERTA	
MODULO M3/S	ANUAL M3/AÑO
746	23.525.856.000

Tabla 8. Oferta del recurso.

DEMANDA ACTUAL					
SUPERFICIE DE LA CUENCA RIO LIMAY EN KM2	ABASTECIMIENTO HUMANO	RIEGO M3/AÑO	INDUSTRIAL M3/AÑO	TOTAL M3/AÑO	
39.242	66.374.352	1.757.950.796	5.435.963	1.829.761.111	

Tabla 9. Disponibilidad del recurso: agua

DEMANDA % CONSIDERANDO UN CAUDAL MINIMO ANUAL	DEMANDA ACTUAL				CAUDAL MINIMO	
	ABASTECIMIENTO HUMANO	RIEGO M3/AÑO	INDUSTRIAL M3/AÑO	DISPONIBILIDAD REMANENTE	CAUDAL MINIMO M3/S	CAUDAL MINIMO ANUAL M3/AÑO
	2,10%	55,7%	0,2%	42,0%	100	3.153.600.000

Tabla 10. Demanda actual y caudal mínimo-Cuenca Rio Neuquén.

OFERTA	
MODULO M3/S	ANUAL M3/AÑO
300	9.460.800

Tabla 11. Oferta del recurso.

- Si se cumplen las proyecciones de pozos perforados para 2023 que trazó el gobierno provincial en el Plan Quinquenal, la demanda de agua en Vaca Muerta se duplicará y alcanzará casi los 30 millones de metros cúbicos anuales, un volumen récord en la Cuenca Neuquina.
- En el año 2018 se perforaron 336 pozos no convencionales en la formación y para 2023 las proyecciones, se alcanzará la marca de 650 pozos perforados por año.

De acuerdo a las operadoras, se utiliza entre 1.500 y 2.000 metros cúbicos (m3) de agua por etapa de fractura.

Hoy en el shale en la mayoría de los casos se realizan ramas laterales que atraviesan la roca generadora con poco más de 30 etapas de fractura, por lo que se podría estimar que el consumo promedio de agua por pozo está aproximadamente entre 45.000 y 60.000 metros cúbicos.

Se puede calcular entonces que, para los 336 pozos perforados en el 2018 pasado que tuvieron recetas similares en cuanto a etapas de fractura, el consumo de agua para pozos no convencionales fue superior a los 15.120.000 metros cúbicos de agua.

Está claro que uno de los objetivos principales de la industria es la optimización y reducción de costos operativos y probablemente la receta se siga ajustando.

SIN EMBARGO, SI EL DISEÑO MÁS POPULAR ENTRE LAS OPERADORAS SE MANTIENE CERCA DE LAS 30 ETAPAS DE FRACTURA Y ENTRE LOS 1.500 Y 2.000 M3 DE AGUA POR ETAPA, EL CONSUMO ANUAL SERÁ DE 29.250.000 METROS CÚBICOS, PARA EL AÑO 2023, PARA LA PERFORACIÓN DE 650 POZOS.

Es importante destacar que el consumo de agua anual en 2018 representó el 0,13% del caudal mínimo que pueden erogar los ríos Neuquén, Limay y Colorado en conjunto. Y es que, en el peor escenario, según datos del ministerio de Energía de Neuquén y el Instituto Argentino de Petróleo y Gas (IAPG), el caudal acumulado de los ríos en un año supera los 11.000 millones de metros cúbicos.

SI SE LOGRA CUMPLIR CON LAS PROYECCIONES Y LA ACTIVIDAD EN LA FORMACIÓN SE DUPLICA, EL CONSUMO DE AGUA EN 2023 REPRESENTARÁ EL 0,26% DE LA CAPACIDAD DE LOS RÍOS. POR LO TANTO, QUEDA CLARO QUE EL DESARROLLO DE LOS HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES NO PONE EN RIESGO EL RECURSO HÍDRICO PROVINCIAL. ESTA VENTAJA NATURAL ES UNA DE LOS PRINCIPALES CLAVES QUE DESTACAN LOS OPERADORES NACIONALES E INTERNACIONALES QUE TIENEN ACTIVOS EN LA CUENCA NEUQUINA. EN ALGUNAS DE LAS PRINCIPALES CUENCAS DEL MUNDO EL ABASTECIMIENTO DE AGUA ES UN FACTOR LIMITANTE PARA EL DESARROLLO.

En definitiva algunas empresas acumulan agua virgen en tanques y otras la obtienen a través de FLEXI PIPE, como es el caso de YPF, lo cual puede observarse en la imagen 1.

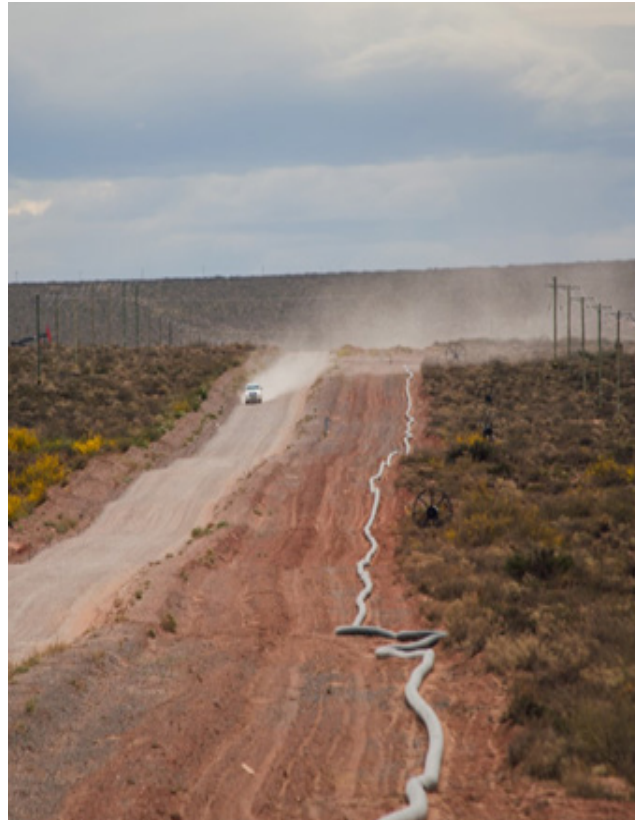


Imagen 1. Flexi Pipe.

POLÍTICA DE GESTIÓN RESPECTO DE LA DEMANDA DE AGUA

- Prelación de uso, establecidas en el Artículo 5 de la Ley 899 Código de Aguas de la Provincia del Neuquén. Abastecimiento Humano, Irrigación, Terapéuticos – Termales, Industriales, Energía Hidráulica, Estanques y Piletas.
- En todos los casos se limitan las captaciones de agua, el caudal captado no puede superar el 50 % del caudal afluente. Subsecretaría de Recursos Hídricos.
- Se prohíbe el uso de agua subterránea con aptitud para abastecimiento humano o irrigación para la actividad hidrocarburífera no convencional Art. 9 Anexo XVI del Dto. 2656/99 Reg. Ley 1875. Aprobado por Decreto 1483/12.

AGUA DE RETORNO (FLOWBACK)

Cuando se utilizan técnicas de estimulación hidráulica, una parte del fluido que se inyecta regresa, luego, a la superficie (en general, alrededor del 30%, entre las dos y las cuatro primeras semanas).

Esta “*agua de retorno*” o flowback no es potable, ya que contiene el remanente de los aditivos químicos utilizados –buena parte se degrada o queda en la formación estimulada–, cloruros, sales y un alto contenido de carbonatos.

Las regulaciones en este sentido son muy estrictas: esta agua de retorno no puede entrar en contacto con el medio ambiente en ninguna etapa de la operación. Y debe ser tratada, obligatoriamente, y sin excepción. Esto quiere decir que el manejo se realiza con el máximo cuidado en tanques sellados (las antiguas piletas a cielo abierto no están permitidas).

Una vez tratada el agua puede ser reciclada y reutilizada en nuevas etapas de estimulación o se la confina en pozos sumideros, que son construidos bajo los mismos parámetros de seguridad que los pozos de producción, de manera que se garantiza su aislamiento respecto del medio ambiente.

Es importante destacar que el tratamiento de agua y su eventual reciclado o confinamiento son procedimientos habituales desde hace décadas en la industria de los hidrocarburos. Y una vez más, bajo ningún punto de vista el agua es liberada a cursos de agua, como sí ocurre con otras ramas de la industria.

En una primera instancia, cuando el pozo es puesto a fluir inmediatamente después de fracturar, el llamado “*fluido de retorno*” o “*flowback*” está constituido por el fluido de fractura inyectado con cierto nivel de degradación, más los retornos de taponos rotados, cemento y agente sostén. Lógicamente, el volumen de flowback es siempre menor o igual al volumen inyectado. En shales de la cuenca neuquina se han observado porcentajes estadísticos de retorno del orden del 30% promedio del volumen inyectado en una instancia inicial.

De todos modos, al cabo de un período de diez a veinte días en el que el corte de agua cae rápidamente,

se observa que el agua producida presenta mayor contenido salino. Se llama flowback a la producción de agua inicial.

Asumiendo los valores promedio de consumo en fracturas hidráulicas y el plazo de retorno mencionado, se puede obtener una estimación del agua de retorno, asumiendo la necesidad de perforación de 45.000M³, en esta hipótesis el agua de retorno sería de 13.500M³ es decir un 30% del fluido inyectado. El resto del agua es decir el 70% restante queda retenido en la formación lo que equivale a 31.500 M³.

DEL TOTAL DE FLOWBACK 13.500 M³, UN 22% DEL TOTAL ES REUTILIZABLE PARA REINYECCIÓN EN POZOS EN PRODUCCIÓN, LUEGO DEL TRATAMIENTO ADECUADO, QUE EQUIVALE A 2.970M³. EL 69% DEL AGUA DE RETORNO SON VERTIDOS A POZOS SUMIDERO 9.315 M³ Y FINALMENTE UN 9% ES TRATADO PARA DISPOSICIÓN FINAL POR TERCEROS 1.215 M³.

La composición del flowback depende fundamentalmente de las características del fluido de inyección. Es posible considerar que los aditivos químicos utilizados se pierden en su mayoría: los polímeros se descomponen por efecto de la temperatura, los biocidas se consumen y degradan y los surfactantes son absorbidos por la superficie de la roca; sólo los inhibidores de incrustaciones precipitan y van retornando con la producción.

Los parámetros de conductividad y sólidos disueltos suelen cuantificar de manera conjunta la salinidad presente. La conductividad y su inversa, la resistividad, valoran la capacidad de conducir corriente eléctrica, que en soluciones acuosas es proporcional a la concentración de sólidos disueltos. Los sólidos disueltos incluyen a todas las sustancias orgánicas e inorgánicas en forma molecular, ionizada o en suspensión como coloides. En términos operativos se lo determina como aquellos sólidos de diámetro menor a 2 µm.

A modo orientativo, el agua potable suele presentar conductividades del orden de los 1.000 µS/cm (con valores máximos de hasta 10.000 µS/cm) y el agua de mar de 500.000 µS/cm. Por su parte, se define como agua dulce a aquella con menos de 1.000

mg/l de sólidos disueltos, EPA define como fuente de agua de consumo humano a aquella con menos de 10.000 mg/l y el agua de mar suele presentar rangos de entre 30.000 y 40.000 mg/l. Si bien los valores de conductividad cuantificados aquí no alcanzan los niveles de agua de mar, los sólidos disueltos sí los superan y presentan condiciones de salmuera.

Por su parte, se clasifica como sólido en suspensión a aquella sustancia de diámetro mayor a 2 μm que no sedimenta. Los sólidos sedimentables en 10 min y 2 hs se distinguen por su tamaño: aquellos de diámetro entre 2 μm y 10 μm sedimentan más lentamente que aquellos de diámetro mayor. Los análisis expuestos presentan sólidos en suspensión del orden de los 700 mg/l y no presentan material sedimentable. Es probable que esto último se deba al sitio de tomado de la muestra y no a la naturaleza real del efluente.

La tipificación de la salinidad presente se clasifica según algunos parámetros adicionales. Por un lado, la alcalinidad representa la capacidad de neutralizar sustancias ácidas. Los componentes que más contribuyen a la alcalinidad son los carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-) los cuales están comúnmente asociados a iones de calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}). En los análisis expuestos no se han cuantificado concentraciones de carbonatos, aunque sí se valoraron concentraciones relativamente importantes de bicarbonatos.

La dureza, por su parte, evidencia la concentración de iones como calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}) y en menor medida, de hierro (Fe^{+}) y manganeso (Mn^{+}). Se define como dureza “temporal” o dureza “de carbonatos” a aquella que puede ser eliminada por ebullición. La dureza “no temporal” o “no de carbonatos” suele representar la presencia de iones cloruros o sulfatos. Es destacable cuándo supera la dureza a la alcalinidad, lo que evidencia un nivel de dureza no temporal significativo, con predominancia de cloruros de magnesio, sodio, calcio y potasio. Los aniones prevaletentes en las muestras presentadas son cloruros (Cl^-) y bicarbonatos (HCO_3^-). Por su parte, las dos muestras presentan concentraciones mayoritarias de cationes de calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}) y sodio (Na^{+}). El resto de los cationes analizados (hierro, bario y potasio) presentan concentraciones dispares entre ambas muestras.

En yacimientos no convencionales la inyección en pozos sumidero es el destino del agua producida más frecuente. Un pozo sumidero es una instalación destinada a inyectar agua residual en formaciones no productivas, que poseen condiciones de entrapamiento estructural que garantizan la estanqueidad de los fluidos de modo de imposibilitar su vinculación con otras aguas subterráneas.

Uno de los aspectos más delicados de la inyección en pozos sumideros desde la perspectiva ambiental, es asegurar la estanqueidad de los fluidos inyectados. Esto tiene implícito en primera instancia, la posibilidad de asegurar la aislación hidráulica del pozo por el estado de integridad de las cañerías y de su cementación. Esta aislación aseguraría el efectivo ingreso del fluido inyectado a la formación objetivo.

El segundo aspecto sobre la estanqueidad de los fluidos es garantizar la ausencia de fallas o estructuras geológicas que permitan la migración del agua inyectada hacia otras formaciones, que puedan generar impactos sobre la calidad de acuíferos existentes.

Los pozos inyectoros suelen ser pozos productores fuera de servicio que se reconvierten. Si bien esta conversión supone pruebas hidráulicas para verificar su hermeticidad, no es posible ignorar que los pozos más antiguos son los más vulnerables a problemas de corrosión. De este modo, suelen presentar dificultades en cuanto a integridad y adhesión de los cementos de aislación.

El IAPG ha elaborado una Práctica Recomendada de “Aseguramiento y control de barreras de aislación en pozos inyectoros”. La misma establece pautas de verificación de la integridad de las cañerías, monitoreo en el tiempo y plan de intervenciones en caso de anomalías, con el objetivo de proteger acuíferos de agua dulce. Este documento ha sido adoptado y ampliado por la provincia de Neuquén mediante la Disposición N° 29/2012 de la Subsecretaría de Hidrocarburos dependiente del Ministerio de Energía, Ambiente y Servicios Públicos.

NORMATIVA APLICABLE EN NEUQUÉN -LEY 1875 (DECRETOS 1483/12 Y 1485/12)

Un punto fundamental, es la correcta aplicación de la normativa aplicable en relación con el cuidado del ambiente y sus respectivos recursos, agua, suelo, flora, etc. La Provincia de Neuquén es junto con la Provincia de Mendoza, pioneras en el desarrollo de Leyes y Decretos que regulan la utilización de recursos naturales. A continuación, se enlazan de forma digital las normativas aplicables como sus respectivas modificaciones, que regulan y controlan las distintas explotaciones. Se aclara que las mismas están en concordancia con lo solicitado en los ODS 2030, se dicen que son pioneras ya que estas normas fueron dictadas con anterioridad a la creación de los ODS 2030, sin dudas esto surgió por la necesidad de regular la explotación petrolera sea esta convencional o no convencional en el territorio. Los artículos fundamentales de la ley fueron numerados en el punto anterior, pero se transcriben para que sean utilizados de ejemplo de regulación en otros territorios del país, que afronten una situación similar indistintamente de la explotación que se realice, ejemplo minería.

LEY 1875/90 Y 2267/98

https://www.dropbox.com/s/gm0kajfgmlicanm/Ley%201875_90%20y%202267_98.pdf?dl=0

DECRETO 1483/12

https://www.dropbox.com/s/qaoywz3sacoluhc/Decreto%201483_12.pdf?dl=0

DECRETO 1485/12

https://www.dropbox.com/s/nkkmp4ecdrhyls/Decreto%201485_12.pdf?dl=0

CONCLUSIONES

RECURSO AGUA

- *Volumen real requerido para la estimulación hidráulica «fracking» es menor al volumen hipotético inicialmente calculado*
- *Volumen requerido para la explotación no convencional es considerablemente menor al de las demandas de otras actividades*
- *La demanda no corresponde a un riesgo en relación al volumen que ofrecen las cuencas hidrológicas de la provincia*
- *Existen regulaciones provinciales que velan por la conservación del recurso hídrico y la priorización del abastecimiento humano*

AGUA DE RETORNO (FLOWBACK)

- *Flowback tratado casi en su totalidad*
- *Vertido superficial prohibido*
- *Vertido mediante inyección profunda regulado bajo estrictos requisitos según normativa aplicable de la Provincia de Neuquén y Nacional*
- *Se fomenta la reutilización del Flowback*

02

**PLAN DIRECTOR
AGUA Y SANEAMIENTO
EN VACA MUERTA**

Desde el punto de vista de proyección de la infraestructura necesaria, el informe se realiza a modo de Plan Director y contempla tres ejes básicos del servicio sanitario que comprenden:

- *Proyección y Plan de Agua Potable*
- *Proyección y Plan de Desagües Cloacales*
- *Proyección y Plan de Desagües Pluviales*

En definitiva, el informe tiene como objetivo resumir diagnóstico general de la situación de los servicios de Agua Potable, Desagües Cloacales y Pluviales de la localidad, y plantear los objetivos necesarios sobre infraestructura sanitaria en el período comprendido entre los años 2019 - 2029.

En la actualidad Añelo cuenta con infraestructura sanitaria instalada, teniendo en cuenta esta situación, es recomendable establecer la siguiente división para el presente informe:

INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

- *Utilizar la infraestructura instalada que funcione correctamente*
- *Rehabilitar y optimizar las obras existentes*

INFRAESTRUCTURA A REALIZAR

- *Ampliación de obras Existentes*
- *Obras nuevas*
- *Establecer las obras necesarias para sustentar la demanda proyectada*

Del análisis de los puntos precedentes se establecerán las prioridades y consideraciones a tener en cuenta en el desarrollo de un plan de infraestructura sanitaria que satisfaga el desarrollo de la ciudad, destacando los siguientes puntos

- *Establecer un Orden de Prelación de Obras*
- *Inversiones a realizar por Etapas de Ejecución*
- *Cuantificar la Inversión*

ASPECTOS GENERALES

UBICACIÓN

Añelo, se encuentra ubicada a 100km al norte de la capital provincial, sobre la margen izquierda del río Neuquén. Entre el río y la barda se forma un valle que sirve de asiento a la localidad y que a través del riego se ha podido utilizar la tierra para la labranza.

Su altura media es de 396 metros sobre el nivel del mar. Es una localidad ubicada en el departamento Añelo, en el centro-este de la provincia del Neuquén. Es capital del departamento homónimo que con una superficie de 11.655 Km² constituye el departamento más extenso de la provincia, representando el 12,4% del total provincial.

A pocos kilómetros se encuentra el Complejo Hidroeléctrico Cerros Colorados, que a través del dique Portezuelo Grande regula el caudal del río Neuquén.

Esta localidad se encuentra en inmediaciones del yacimiento petrolífero Vaca Muerta, que es el principal yacimiento para extracción de petróleo y gas por métodos no convencionales (shale) en Argentina.

ESQUEMA URBANO

La Localidad de Añelo se extiende sobre ambos márgenes de las Rutas Provinciales N° 7 y 17, entre la meseta y el Río Neuquén.

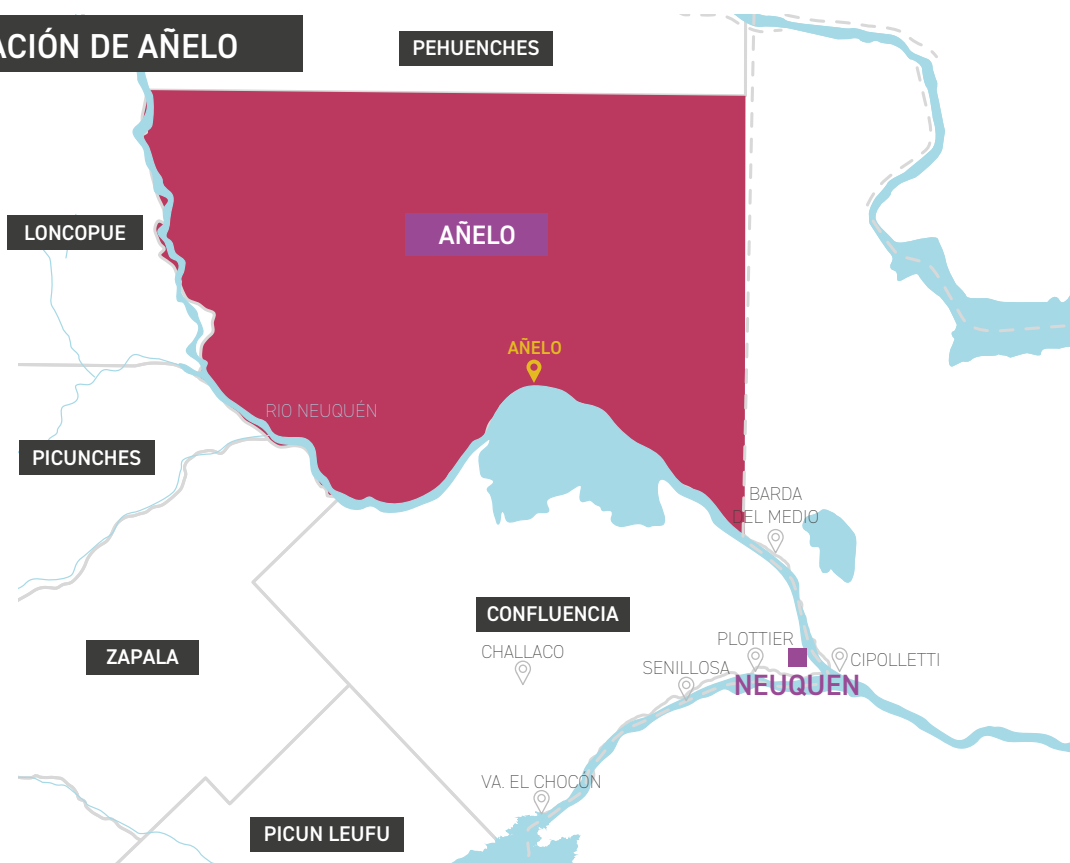
En la actualidad, su expansión se halla contenida por tres importantes barreras físicas, al norte las bardas y La Ruta Provincial N° 7 y al sur, el canal de riego, y luego el río Neuquén.

Hacia el norte de la ruta provincial N° 7, la planta urbana se desarrolla en forma muy acotada entre los bordes físicos que plantean esta arteria y bardas, con un escaso número de manzanas urbanizadas destinadas al uso industrial y de servicios. Hacia el sur de la Ruta Provincial N° 7 y contenida hasta el presente por el canal de riego se extiende prácticamente toda la planta urbanizada.

La planta responde a un trazado predominantemente ortogonal, con algunas variaciones de la trama y cambios de dirección. Estos últimos generan algunas diagonales de escaso desarrollo, pero que se constituyen en la única variación a la trama ortogonal. Esto ocurre con mayor nivel de extensión en las arterias de borde sur de planta urbana, adyacentes al canal de riego.

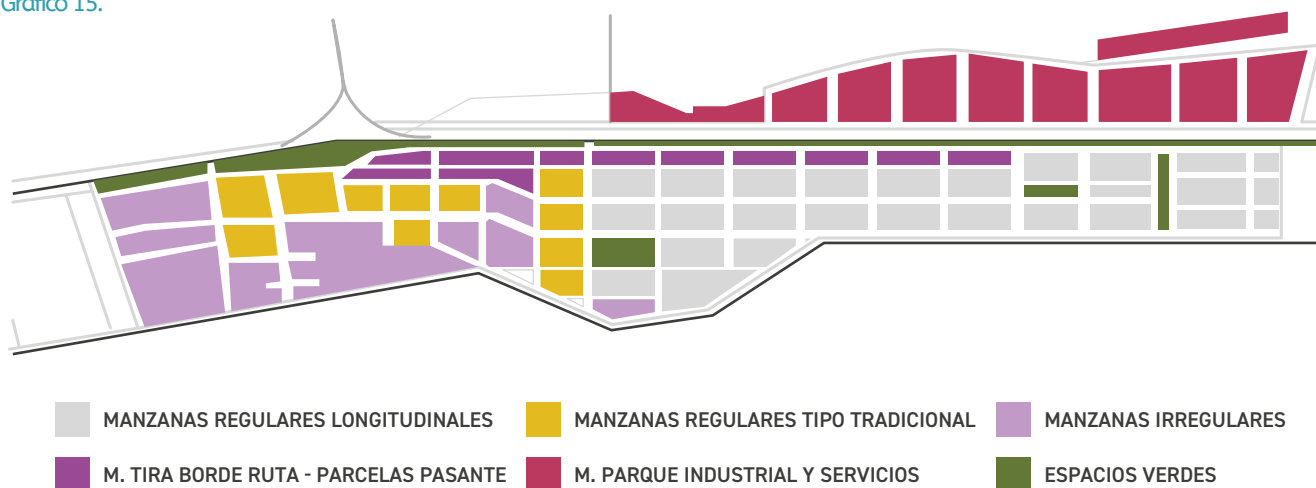
UBICACIÓN DE AÑELO

Gráfico 14.



ESTRUCTURA PARCELARIA

Gráfico 15.



El rápido crecimiento de la localidad, la dinámica de la actividad petrolera, la falta de oferta de suelos aptos para la instalación de actividades industriales y la baja rentabilidad de la agricultura de baja escala, configuran un escenario que presiona sobre los usos de las tierras con infraestructura de riego y donde se desarrollan actividades productivas. Ha habido avance en el desmonte de chacras con fines de desarrollo urbanístico y/o instalación de bases de servicios petroleros. Los incentivos económicos operan fuertemente en este sentido.

Se identifica como un problema la toma de tierras que se hace habitualmente con *“cierto grado de especulación y extorsión”*. Las tomas se realizan *“espontáneamente”* tanto dentro como fuera del tejido, sobre todo en zonas de concesión petrolera.

En lo que refiere a la consolidación del casco urbano, desde la Subsecretaría de Tierras durante el año 2013 se concretó la cesión de la titularidad de alrededor de 220 lotes en la zona urbana en favor del municipio. Está en manos del mismo regularizar la situación particular de cada uno de los ocupantes/propietarios/u otros de cada lote específico.

Tal situación impacta de forma directa en la capacidad recaudatoria del municipio y atenta contra los alcances y la posibilidad de aplicación real de futuras normativas (contralor y sanción), ya que la localidad no cuenta con normas de usos del suelo y de ordenamiento.

Este contexto genera conflictos en el uso de los suelos: convivencia de actividades que generan riesgos a la población, avances sobre áreas productivas y áreas expuestas a riesgos naturales.

Desde el Concejo Deliberante se aprobó una Ordenanza en Noviembre de 2013 que tiene por objeto dar respuesta al déficit habitacional destinado a cubrir la logística de recursos humanos para el sector petrolero; promover el arraigo de la familia del petrolero para que resida de forma efectiva en la localidad y forme parte de su vida social y comunitaria; proporcionar un lugar de desarrollo operativo para muchas empresas; que los particulares y empresas no se confundan en una misma zona; que se diferencien las zonas urbanas e industriales; y evitar los perjuicios que las actividades industriales puedan provocar a la población y al medio ambiente.

En este sentido se redefinen los usos de áreas según el plano de zonificación que estipula la ordenanza, quedando zonas reservadas para expansión urbana al este y oeste del actual casco urbano, a lo que se suman las áreas sobre la meseta.

En los casos de las áreas que se encuentran entre la línea de barda y el río, en muchos casos se trata de tierras productivas (algunas con producción actualmente) y con infraestructura de riego. El sentido de reservarlas para uso residencial tiene que ver con el incentivo actual a desmontar parcelas para usos *“industriales”* (bases logísticas para servicios petroleros), cuando estos usos están definidos en la zona sobre la meseta al oeste de la ruta 7.

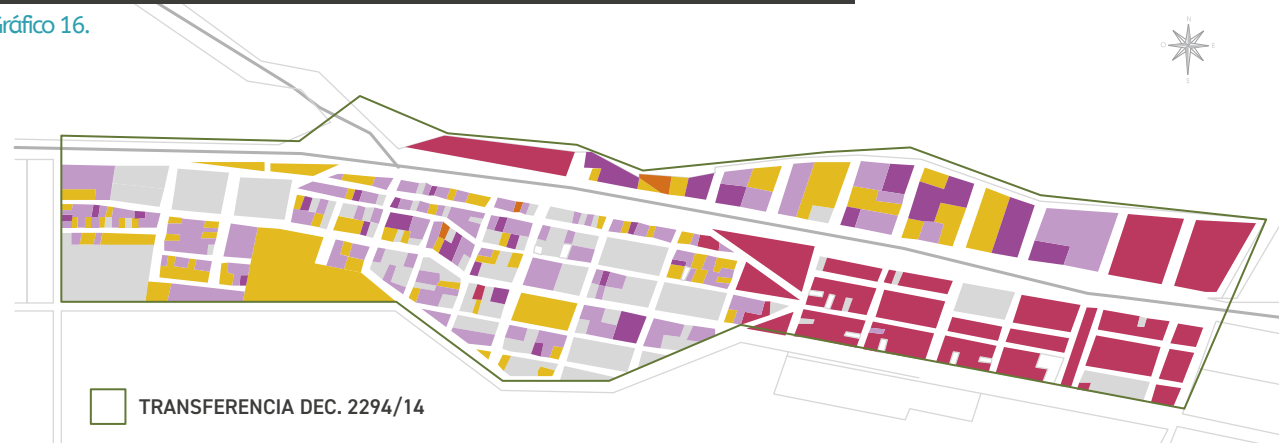
Otro incentivo que opera en función de ampliar las zonas destinadas a reserva de expansión urbana tiene que ver con la propiedad de la tierra y el financiamiento de la infraestructura de servicios. Las tierras ubicadas bajo la meseta son de propiedad privada, con fuertes incentivos al desarrollo inmobiliario, desde el punto de vista municipal y teniendo en cuenta el crecimiento esperado, el desarrollo de estos sectores con fines residenciales reduce los costos de *“urbanización”* que debe enfrentar el municipio, porque se solicita a los desarrolladores privados las obras de servicios (red de gas, cloacas, agua y electricidad), en las zonas sobre la meseta estas inversiones se financian con fondos públicos (municipales, provinciales y/o nacionales).

Este cambio de usos está generando una fuerte especulación inmobiliaria, se están comercializando lotes que aún no cuentan con aprobación ni factibilidad de servicios por parte de los organismos encargados. Según diferentes fuentes de información se están volcando al mercado alrededor de 400 lotes en el corto plazo, y más de 4500 en menos de un año. Como criterio se está planteando en principio desarrollar las parcelas sobre las rutas 7 y 17.

Es posible pensar, el alcance de obras con algún criterio en etapas, relacionado no con el tiempo, sino con al ritmo de crecimiento de la población, es decir, pensar obras y/o *“anillos”* de infraestructura y ocupación de las superficies redefinidas como uso residencial, en función de etapas acordes a la cantidad de habitantes de la localidad, adaptando el ritmo de crecimiento y las obras a la posible ocupación y expansión de las áreas urbanas residenciales.

TITULARIDAD DE LAS TIERRAS DEL CASCO URBANO

Gráfico 16.



ESTADO DE LA TIERRA



CLIMA, HIDROGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA

El clima en Añelo es continental y árido. Las precipitaciones son muy escasas y sin estacionalidad. Las temperaturas se caracterizan por una importante oscilación tanto diaria como anual, con veranos cálidos, con una media de 24 °C en enero e inviernos fríos, promediando 6°C en julio, con heladas nocturnas que pueden causar hasta -11°C. La temperatura media anual es de 15°C.

A pesar de encontrarse en una latitud bastante elevada su escasa humedad (promedio anual del 52%) evita la aparición de nevadas, produciéndose estas aproximadamente cada 5 años.

La localidad se encuentra limitada natural y jurisdiccionalmente por el río Neuquén, cuya cuenca se ubica en el noroeste de la provincia homónima, y tiene una extensión aproximada de 32.500 km².

Su régimen hidrológico natural, de rasgo pluvionival, se caracteriza por poseer doble onda de crecida. La primera de ellas ocurre en época invernal, cuando se produce del 80 al 90% del total de las precipitaciones que anualmente se contabilizan en la cuenca. Una parte importante de ellas, en forma de nieve, se acumula en la parte alta de la cuenca. La porción que precipita en forma de lluvia en la parte media y baja es la que produce la onda invernal,

caracterizada por poseer un pico de gran magnitud con relación al volumen que transporta.

La segunda onda de crecida, más moderada que la invernal, es habitual hacia fines de la primavera, que tiene origen fundamental en la fusión de la nieve acumulada. Los estiajes son habituales en el comienzo del otoño. El módulo medio del río en Paso de los Indios es de 310 m³/seg.

El régimen hidrológico del río principal no se altera hasta un punto ubicado en la parte inferior de la cuenca denominado Portezuelo Grande. En este sitio se ha emplazado un azud derivador de caudales a dos cuencas laterales consecutivas: Los Barreales y Mari Menuco, sobre la margen derecha. Entre ambos reservorios se ubica la obra de control Loma de la Lata, que posibilita que el lago Mari Menuco posea nivel constante, circunstancia que permite aumentar la eficacia de la central hidroeléctrica Planicie Banderita, sitio desde el que, mediante un canal de restitución, se reintegra el agua al curso del río, aunque con un régimen visiblemente diferente al que naturalmente poseía arriba de la derivación. Todas estas obras integran el denominado Complejo Cerros Colorados.

Además del aprovechamiento hidroeléctrico, todas estas obras poseen un efecto de regulación de las crecidas que pueden provocar graves daños aguas abajo.

Posteriormente a la construcción de este complejo, y ante la posibilidad que alguna tormenta supere el caudal del diseño de Portezuelo Grande, y no se pueda regular la crecida aguas abajo, se desarrolló el proyecto El Chihuido. Ha sido calculado a partir de la máxima crecida probable del río Neuquén, calculada a partir de una tormenta ocurrida en 1945 con un caudal instantáneo de 17.700 m³/seg. De esta forma permitiría amortiguar la crecida, con lo cual el caudal máximo del río aguas abajo del dique Ballester resultaría del orden de 1.500 m³/seg, el cual sería conducido adecuadamente sin provocar daños en su recorrido.

La ciudad se encuentra ubicada sobre la margen izquierda del río Neuquén. Entre el río y la barda se forma un valle que sirve de asiento a la localidad y que a través del riego se ha podido utilizar la tierra para la labranza. Su altura media es de 396 metros sobre el nivel del mar.

Dentro de la geografía cercana de las bardas, se encuentra la formación rocosa de Los Pilares o Monigotes, de aproximadamente 25 metros de altura.

En la parte superior de la imagen se observa la barda y el inicio de la planicie, la ciudad atravesada por la ruta. En la parte inferior se ve un brazo del río Neuquén.



Imagen 2. Vista aérea de la Localidad.

PROYECCIÓN POBLACIONAL

Teniendo en cuenta la fecha del presente informe y con el fin de diseñar las necesidades de infraestructura de agua potable y desagües cloacales, es necesario proyectar la población a un horizonte de 15 años aproximadamente.

La estimación realizada corresponde al tejido urbano de Añelo y define dos categorías poblacionales, distinguiendo aquellos individuos que tienen residencia permanente en Añelo (población fija) y quienes residen en otra localidad, pero desarrollan su actividad laboral en la localidad de Añelo y, debido a ello, utilizan la infraestructura y servicios del tejido urbano (población flotante).

LA ESTIMACIÓN PREVÉ UNA POBLACIÓN TOTAL DE 50.332 AL AÑO 2034, DE LOS CUALES LA POBLACIÓN RESIDENTE SERÁ DE 45.757 HABITANTES Y POBLACIÓN FLOTANTE 4.576 HABITANTES LO QUE REPRESENTA EL 10% SOBRE EL TOTAL DE POBLACIÓN RESIDENTE. EL CENSO A REALIZARSE EN EL AÑO 2020, CONFIRMARÁ O NO LA PRESENTE ESTIMACIÓN.

PRESTACIÓN DEL SERVICIO Y REGULACIÓN

En AÑELO la prestación de los servicios de agua potable y desagües cloacales es prestado por el Municipio, y regulada por el EPAS.

El Ente Provincial de Agua y Saneamiento fue creado a través de la Ley N° 1763, en agosto de 1988, bajo la figura de organismo descentralizado y autárquico, dependiente de la Subsecretaría de Estado y Recursos Naturales, que tiene como misión regular, controlar y garantizar la provisión de agua potable y saneamiento a toda la provincia de Neuquén.

El 25 de noviembre del año 1980, mediante la Ley provincial N° 1250, se aprueba el convenio suscripto entre la empresa Obras Sanitarias de la Nación y la Provincia del Neuquén para que ésta tome a su cargo la prestación de los servicios de provisión de agua potable y desagües cloacales localizados en su territorio.

Casi un año después, el 21 de agosto de 1981, a través de la Ley provincial N° 1314, se crea la “Administración Provincial del Agua”, conocida como APA, organismo centralizado del Ministerio de Obras y Servicios Públicos. Esta Administración estaba for-

mada por el Servicio Provincial de Agua Potable y Saneamiento, la Dirección General de Hidráulica y la Dirección General de Aguas Subterráneas y Perforaciones.

Actualmente, el organismo estatal neuquino es responsable directo de prestar servicio de agua potable y saneamiento en las localidades de Neuquén, Senillosa, El Chocón, Chos Malal, Taquimilán, Andacollo y Junín de los Andes. Además, de ser el encargado de proveer agua en bloque a los municipios de Cutral Co y Plaza Huincul, quienes tienen a su cargo la distribución domiciliar.

Respecto al resto de la provincia, el EPAS, en una labor mancomunada con los municipios y cooperativas, es quien asiste técnicamente a los mismos para la realización de obras de servicios de agua potable y saneamiento, en especial las relacionadas con las instalaciones electromecánicas.

Al mismo tiempo, el Ente provee acciones de control de calidad en agua potable y residuos cloacales asiduamente tanto en Neuquén Capital como en las localidades del interior.

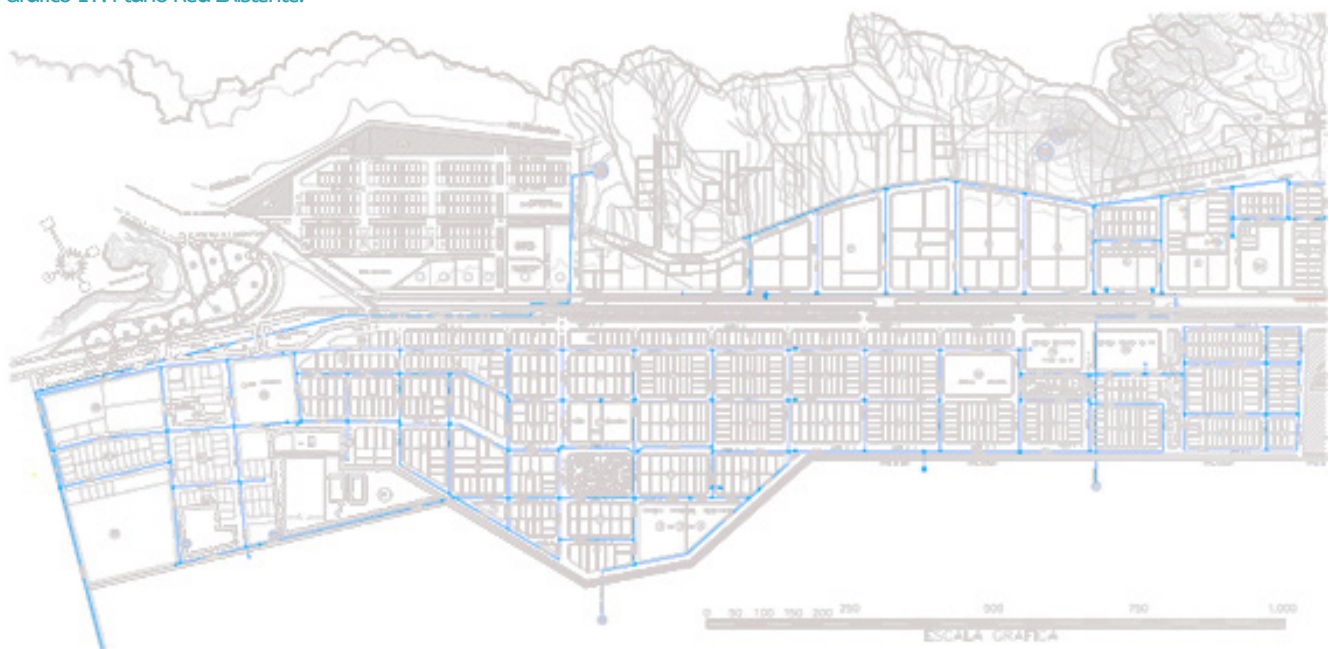
Las principales funciones del EPAS son planificar, estudiar, proyectar, construir, comprar, transferir, renovar, ampliar y explotar sistemas de tratamiento y provisión de agua potable, y recolección y tratamiento de líquidos cloacales y residuales. Además, tiene como función planificar toda obra complementaria o conexas con la prestación de los servicios públicos a su cargo.

El organismo estatal se encarga de garantizar:

- *La provisión de agua potable y el funcionamiento del sistema cloacal y las plantas depuradoras hasta la línea municipal.*
- *El cumplimiento de las exigencias planteadas en las normas de calidad del agua potable.*
- *La aplicación de la normativa sobre calidad de los vuelcos de establecimientos industriales al sistema colector.*

DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE

Gráfico 17. Plano Red Existente.



El Servicio de Agua Potable es prestado por el Municipio de Añelo.

CAPTACIÓN DE AGUA

Para la captación de agua se utiliza como fuente de abastecimiento de agua, el subálveo del Río Neuquén, con perforaciones.

El agua de las perforaciones es extraída por electrobombas, que previo clorado impulsan el agua hasta las cisternas, y desde allí a la red pública. El agua proveniente de la captación de agua por pozos filtrantes no requiere tratamiento posterior, excepto la cloración.

El sistema se resume con los siguientes indicadores:

- Cantidad total de perforaciones: 4
- Cantidad de Pozos de agua en funcionamiento: 4
- Caudal de agua por pozo (aprox.) 20 m³/h

- Caudal total de agua suministrada a la red (aprox.) 70 m³/h
- No hay medición de caudales, se determinan en forma estimativa
- Caudal aproximado de agua para camiones 50.000 m³/mes
- Material red de agua 70% PVC – 30% fibrocemento
- Antigüedad red de agua 30 años lo más antiguo – 3 meses lo más reciente aproximadamente

El sistema de cloración existente, ubicado luego de las 3 nuevas perforaciones, se compone de un tanque y una bomba dosificadora que bombea en forma constante, independientemente del caudal que transporta la cañería. Por este motivo no se puede garantizar una correcta y constante dosificación de cloro en la red.



Imagen 3. Esquema alimentación agua.

ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE

Existen dos reservas una que abastece a la planta urbana ubicada al sur, y otra que abastece exclusivamente a la zona del ex parque industrial y de servicios.

- *Cantidad de reservas = 2*
- *Capacidad reserva 1 = 240 m³*
- *Capacidad reserva 2 = 100 m³*

Red de distribución de agua potable

- *Habitantes por vivienda: 3.7 habitantes/vivienda*
- *Longitud de red: 19.423 metros*
- *Metros de red por conexión: 14,90 m/conexión*

A continuación, se detalla los diámetros en la que se desarrollan los 19.423 metros de la red de agua

- *DN 110: 5.804m*
- *DN 90: 170m*
- *DN 75: 7.667m*
- *DN 63: 2.551m*
- *DN 50: 3.231m*
- *DN 250: 2.000m aproximadamente (Impulsión, desde río a tanque)*

La cobertura de conexiones domiciliarias a la red de agua está en un 84% de los hogares. La red cubre prácti-

camente toda la localidad. Se estima que entre el 70% y el 80% de las casas cuenta con tanque de reserva individual.

La prestación del servicio cubre las 24 hs del día. Las interrupciones en el servicio son debidas a interrupciones en la provisión de energía eléctrica para alimentación de las electrobombas de captación en las perforaciones, o falta de agua en las reservas debido a la escasa producción.

Dentro del radio cubierto en general, la mayor parte del año no se presentan problemas salvo en época estival. No obstante, se deberán verificar ciertas mallas para poder distribuir mejor las presiones y la distribución de caudales, teniendo en cuenta los importantes desniveles existentes en el terreno.

MEDICIÓN DE AGUA POTABLE

El servicio no cuenta con un sistema de medición de caudales, no tiene macro medición, ni micro medición. Los valores indicados son estimados.

El abastecimiento de agua potable, a muy bajo costo para el usuario, permite el uso indiscriminado del agua para consumo humano, riego, lavados, etc.

DOTACIÓN

Teniendo en cuenta que no hay registros de los caudales producidos o consumidos, se ha analizado y determinado la dotación de consumo, que es el promedio del volumen de agua que se suministra por habitante y por día a lo largo de un año.

Es decir, la producción diaria (volumen total) de agua consumida dividida por el número de habitantes. Las unidades utilizadas son l/h/día.

Al establecerse la dotación es muy importante considerar el sistema de provisión que deberá prevalecer. En particular si la provisión es con micromedidores domiciliarios y tarifas adecuadas o sin ellos. La experiencia demuestra que frecuentemente la adopción generalizada de medidores (servicio

medido) proporciona reducciones permanentes en el consumo del orden del 25 a 50 %.

Para la proyección de la demanda se establece una dotación de:

- 200 – 250 Litros / Habitantes / Día para Servicios Con Medidor
- 400 – 500 Litros / Habitantes / Día para Servicios Sin Medidor

El producto de la población servida por la dotación unitaria da el caudal demandado por los usuarios domiciliarios.

El caudal industrial corresponde al caudal de agua potable, requerido por la industria y el comercio. Estos caudales deben incrementarse con el valor del agua no contabilizada y/o con el valor del agua utilizada en la producción para obtener los caudales de diseño.

Para la proyección de la demanda se opta por calcular sobre servicios sin medidor.

COEFICIENTES DE PICO MÁXIMO

La demanda sufre una variación horaria y estacional que surge del análisis de los diagramas de consumo. Esta variación se pondera mediante coeficientes de pico máximo.

Coeficiente del día de mayor consumo 1: Es el que se obtiene de la relación entre la demanda media del día de mayor consumo y la demanda media anual.

Coeficiente de la hora de máximo consumo 2: Es la relación entre la demanda máxima horaria y la demanda media del día de mayor consumo.

La producción de agua potable y la red deben calcularse considerando los dos coeficientes $\alpha = \alpha_1 \cdot \alpha_2$

Para el dimensionamiento de la capacidad de captación de agua y de la red domiciliaria, debe considerarse el producto de $= 1.2$

Para el dimensionamiento del servicio se utilizó el pico para una población servida mayor de 15.000 habitantes, corresponde:

- $\alpha_1 = 1,30$
- $\alpha_2 = 1,50$
- $\alpha = \alpha_1 \cdot \alpha_2 = 1,95$

CALIDAD DEL AGUA

La Provincia de Neuquén mediante el EPAS y el Ministerio de Salud toman muestras físicas, químicas y bacteriológicas, cada 15 días alternadamente. No se toman muestras para análisis de materiales pesado.

El 100% de las muestras y análisis establecen que el agua es potable y apta para consumo humano.

No obstante, y a los fines de verificar la calidad del agua en distintos puntos del sistema, se han realizado una serie de tomas y fueron analizadas por un laboratorio privado de la ciudad de Neuquén, en el marco del programa de ciudades sustentables del BID, YPF, Nación.

En las muestras se realizaron las siguientes determinaciones:

- Físicoquímico
- Hierro
- Manganeso
- Metales Pesados
- Aceites y Grasas
- Hidrocarburos Totales

- *Bacteriológico*

La Ley 18284, (Modificado por R 494 /94), que corresponde al Código Alimentario Argentino, en su artículo 982, determina que el Agua Potable de suministro público y de uso domiciliario, aquella que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que la hagan peligrosa para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente.

Del resultado de los análisis de las perforaciones y punto de muestreo se observó que los resultados cumplen con las características indicadas en el Código Alimentario.

Se destaca una disparidad en los valores de Cloro residual activo, que evidencia la deficiencia en el sistema de cloración, tanto estructural como operativa.

DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE DESAGÜES CLOACALES

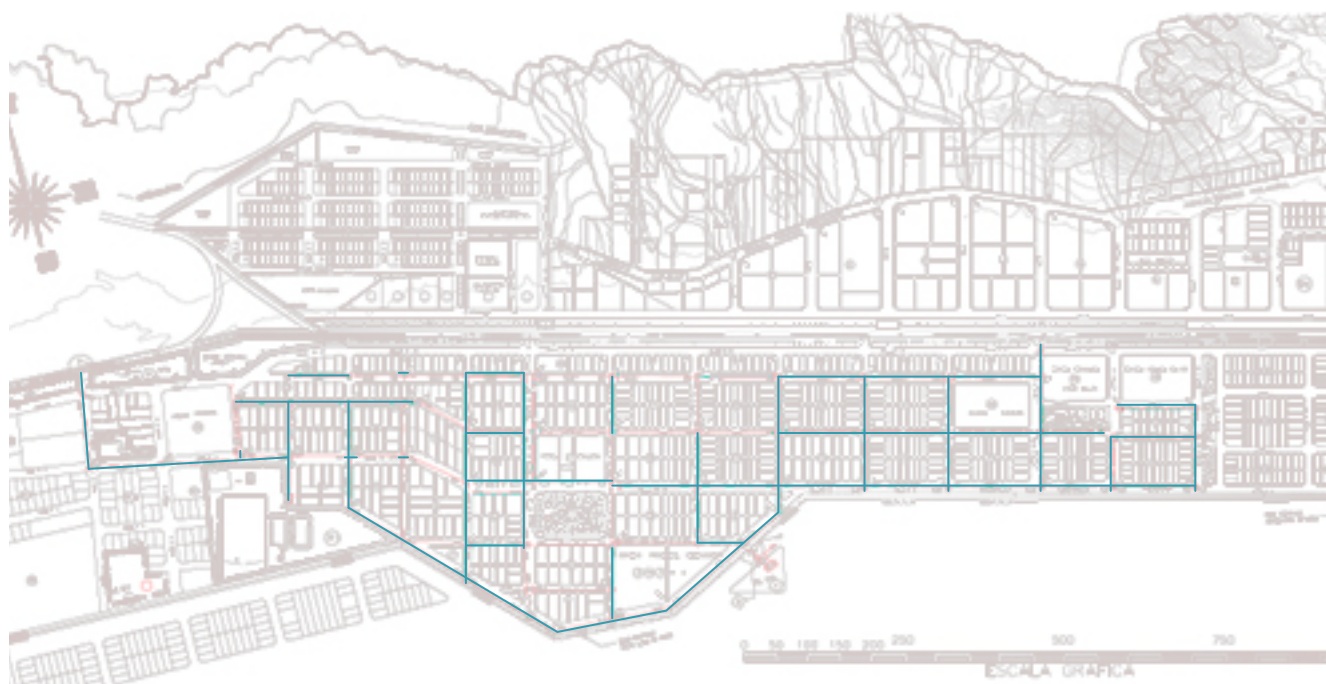
El Servicio de Desagües Cloacales es prestado por el Municipio de Añelo.

Recolección de los desagües cloacales domiciliarios

- *Habitantes por vivienda: 3.7 habitantes/vivienda*
- *Longitud de red: 16.000 metros*
- *Metros de red por conexión: 12 m/conexión*
- *Material de la red cloacal: PVC con bocas de registro de H°A°*
- *Antigüedad de red cloacal: 7 años el 80% de la red y el otro 20% 2 meses*

El valor de la cobertura actual de usuarios co-

Gráfico 18. Plano de Red de Cloaca Existente.



nectados alcanza aproximadamente el 62%.

La red cloacal abarca gran parte del tejido actual, restando aún que los vecinos realicen las conexiones domiciliarias y cieguen los pozos ciegos y cámaras sépticas.

El municipio cuenta con un plan aprobado y acordado con la provincia para brindar cobertura de red cloacal al 100% del tejido en la zona histórica, con lenta aplicación

La población no conectada a la red posee pozos absorbentes que poseen un tiempo variable de saturación. Existe un servicio de vaciado con camiones.

ESTACIÓN ELEVADORA

La totalidad de los efluentes son bombeados para ingresar en la planta. La estación elevadora está ubicada cruzando el canal de riego. La misma se compone de una cámara en donde ingresa el líquido y posee un canasto para la recolección de basura.

Las bombas son de eje vertical y están ubicadas en una cámara seca aledaña, con una profundidad aproximada de 7 metros. Ambas cámaras, en forma de semicírculo, conforman una estructura cilíndrica de aproximadamente 5 a 6 metros de diámetro.

El conjunto presenta importantes deficiencias desde el punto de vista civil. El sistema eléctrico tanto en la alimentación como en el tablero necesita mejoras que permitan minimizar los cortes de energía por vandalismos, fallas, etc.

Debido a esta conformación, el sistema de bombeo presenta importantes problemas ya que se inunda la cámara de bombas, por desbordes de la estación por salida de servicio, o por anegamientos pluviales, y sale de servicio con el consiguiente problema que genera.

TRATAMIENTO DE LOS LÍQUIDOS CLOCALES

La Planta Depuradora existente tiene una capacidad para tratar los efluentes cloacales de 10.000 habitantes, y está compuesta por lagunas aeróbicas de mezcla completa seguida de una laguna de sedimentación, con cloración de los líquidos antes de ser volcados al cuerpo receptor, que es el río Neuquén.

Actualmente deben repararse 2 de los equipos de aireación, verificar el equipamiento eléctrico y realizar una limpieza de las lagunas ya que presentan una importante carga de sedimentos que han generado el crecimiento de malezas y juncos dentro de ellas.



Imagen 4.

DATOS PARA EL MODELO

Teniendo en cuenta la descripción de la situación actual del servicio, y recopilada la información de distintas fuentes, en este punto se realiza una enumeración de las variables a tener en cuenta para el armado de modelo de proyección. Dicho modelo es uso habitual en el ámbito de los servicios sanitarios, con la finalidad de proyectar demanda actual y futura de los servicios en cuestión.

DATOS SERVICIOS ACTUALES

POBLACIÓN

- *Población último censo nacional [Habitantes]*
- *Número de habitantes por vivienda s/censo*
- *Tasa de crecimiento (%)*
- *Población total*

DATOS DE LOS SERVICIOS

- *Prestadores actuales*

Los datos de población y vivienda se toman del último Censo Nacional realizado a fin de tener una base oficial de estos valores. La actualización de los mismos al año en curso puede hacerse de diferentes maneras:

- *Buscando datos estimados o medidos de población y vivienda obtenidos por el Municipio a partir de encuestas encaradas por ellos mismos.*
- *Utilizando los datos proporcionados por el INDEC en sus proyecciones para una o más décadas posteriores a la del año de realización del Censo sobre la base de las tasas obtenidas de periodos intercensales anteriores. Esta información siempre disponible, pero a nivel partido o departamento, a veces en miles de habitantes que resulta poco útil en poblaciones con tasa de crecimiento demográfico baja, y no se dispone a nivel localidad.*

- *Realizar una proyección de la población por algunos de los métodos estudiados y estimar de este modo la población actual. Este fue el método escogido en este estudio.*

Otro tanto ocurre con el número de viviendas, ya que es poco frecuente encontrar datos actualizados al respecto. Esta cantidad se suele estimar a partir del número de conexiones de uno u otro servicio, sabiendo que el mismo puede ser menor o a lo sumo igual al número de viviendas.

ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

- *Fuente abastecimiento*
- *Longitud de la red de agua existente [km.]*
- *Área servida con red de agua [ha]*
- *Población servida por red [habitantes]*
- *Conexiones existentes totales*
- *Conexiones con medidor instalado*
- *Conexiones con medidor leído*
- *Volumen facturado agua [m³/año]*
- *Volumen producido agua [m³/año]*
- *Capacidad de producción instalada [m³/año]*
- *Porcentaje de agua no contabilizada [%]*

DESAGÜES CLOCALES

- *Cuerpo receptor*

- Longitud de la red cloacal existente [km.]
- Área servida con red cloacal [ha]
- Población servida por red [habitantes]
- Conexiones existentes totales
- Caudal de efluente cloacal [m³/h]
- Capacidad de tratamiento [m³/día]
- Porcentaje de medición [%]
- Población Total con servicio Agua [hab.]
- Población Con servicio Medido [hab.]
- Población Con servicio Agua no medido [hab]
- Población Con servicio Cloacas [hab]
- Dotación promedio [lts/hab.día]

El concepto de cobertura de servicio empleado en este Modelo parte de relacionar el número de conexiones del mismo con respecto al número de viviendas existentes.

El “*número de conexiones*” y el “*número de cuentas*”, puede ser distinto en localidades grandes por la presencia de terrenos baldíos con frente a la red (si la red pasa por el frente de un terreno se considera que el propietario debe pagar la obra ejecutada, aunque no haga uso del servicio) o viviendas que no realizan la conexión por contar en su terreno con pozo absorbente y no querer realizar las obras necesarias (al igual que en el caso del terreno baldío, se adopta el mismo criterio), o menor cuando existen muchos edificios en propiedad horizontal y una sola conexión involucra a varias cuentas.

CAUDALES DEMANDADOS

Para él cálculo de la demanda, se utilizaron las siguientes variables

- Dotación servicio medido [lts/hab.día]
- Dotación servicio no medido [lts/hab.día]
- Factor por agua no contabilizada [%]
- Factor por aguas parásitas

- Caudal de agua medio a entregar [m³/día]
- Caudal de agua medio consumido [m³/día]
- Efluente unitario medio de cloacas [lts/hab.día]
- Caudal demandado cloacal [m³/día]
- Caudal no residencial [m³/día]
- Factor por pérdidas

CAUDALES DEMANDADOS

- Población servida [hab]
- Cobertura [%]
- Total conexiones de agua
- Conexiones a cargo total concesionario
- Conexiones Nuevas en redes nuevas

- *Conexiones Nuevas en redes existentes*
- *Porcentaje de conexiones medidas*
- *Total medidores instalados*
- *Incremento de medidores*
- *Medidores a instalar en conexiones Nuevas*
- *Medidores a instalar en red existente*
- *Caudal de agua medio a entregar [m3/día]*
- *Caudal a Producir (incluye pico diario) [m3/día]*
- *Dotación real [lts/hab.día]*
- *Capacidad instalada [m3/día]*
- *Saldo producción [m3/día]*
- *Porcentaje acumulado redes de agua a rehabilitar (2)*
- *Redes existentes a rehabilitar [km]*
- *Porcentaje acumulado redes de agua a renovar (2)*
- *Redes existentes a renovar [km]*
- *Redes a construir [km]*
- *Recambio de Medidores (c/ 10 años)*
- *Ampliación planta potabilizadora [m3/día]*

El total de conexiones de agua es igual a las conexiones existentes al inicio más las que se incorporan de año en año al servicio. Las conexiones surgirán de aplicar el porcentaje de cobertura estimado para las obras, a la población existente según la proyección de población adoptada. Parte de las mismas se colocarán en la red existente y el resto en red nueva, ya que se parte de considerar que toda red nueva incluye sus correspondientes conexiones.

El criterio para obtener el número de medidores en la red es similar al usado para obtener el número de conexiones.

El número de medidores a instalar en conexiones nuevas es directamente igual al número de conexiones nuevas, y el número de medidores a instalar en redes existentes es igual a la diferencia entre el incremento de medidores – que surge de las metas de medición fijadas – y el número de medidores colocados en conexiones nuevas.

El caudal a producir se define a continuación.

QP Caudal a producir [M3/DÍA]

Se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$QP = Qe * \alpha$$

Donde α es el factor de pico diario, y que es igual al caudal del día de máximo consumo dividido en el caudal promedio anual.

La dotación real por su parte es el cociente entre el caudal a producir y la población servida.

La capacidad instalada parte de un valor de origen que es dato del actual prestador del servicio, y varía a lo largo del tiempo si se amplía la capacidad de la planta potabilizadora, este último surge de acuerdo a saldo de producción si este es negativo o positivo, y a partir de allí la necesidad o no de ampliar la fuente de abastecimiento.

La cantidad de red a renovar o rehabilitar es un valor que se adopta partiendo de considerar en primer lugar la antigüedad de la red existente.

PROYECCIÓN SERVICIOS DE CLOACA

- *Cobertura*
- *Total conexiones de cloaca*
- *Incremento de conexiones*
- *Conexiones nuevas en redes nuevas*
- *Conexiones nuevas redes existentes*
- *Caudal demandado cloacal*
- *Capacidad de tratamiento necesaria*
- *Capacidad de tratamiento instalada*
- *Saldo tratamiento (+ sobra; - falta)*
- *Porcentaje acumulado redes de cloaca a rehabilitar*
- *Redes existentes a rehabilitar*
- *Porcentaje acumulado redes de cloaca a renovar*
- *Redes existentes a renovar*
- *Redes a construir*
- *Ampliaciones planta*

Las ampliaciones de la planta depuradora surgen del saldo de tratamiento.

DETERMINACIÓN DE LAS OBRAS A EJECUTAR

Teniendo en cuenta lo analizado en la etapa de diagnóstico y en función de las variables descriptas en los puntos anteriores, se plantean la ejecución de las siguientes obras en este período.

Se destaca que, si bien las obras se han indicado en un año preciso, las mismas se deberán ejecutar conforme la demanda poblacional así lo requiera, pudiendo adelantarse o atrasarse.

SISTEMA DE AGUA POTABLE

EJECUCIÓN DE POZOS DE AGUA

Se ejecutarán 4 nuevas perforaciones para extracción de agua a la vera del cauce del río en el año 2020 las que se suman a las 3 ya existentes. Las mismas tendrán una profundidad aproximada de 25 metros y estarán equipadas con una electrobomba sumergible apta para bombear un caudal de 50 m³/h cada una.

En la salida del pozo se proveerá e instalará una válvula mariposa, una válvula de retención, una junta de desarme y un medidor de caudal.

Los niveles y los caudales de cada perforación se transmitirán a un Centro de Control, para permitir al operador tomar las decisiones adecuadas en tiempo real.

Los equipos electrobombas instalados en las perforaciones, tendrán funcionamiento automático, en función del nivel de la nueva cisterna y el nivel mínimo de funcionamiento del nivel de líquido en la perforación. Las perforaciones se conectarán a la cañería de impulsión existente de 250mm de diámetro.

CONSTRUCCIÓN DE NUEVA CISTERNA Y AMPLIACIÓN IMPULSIÓN

La cisterna tendrá una capacidad de 1.200 m³, se construirá en hormigón armado, sobre nivel de piso, y estará ubicada al pie de la barda, a cota aproximadamente 30 m.

Conjuntamente con la construcción de la nueva cisterna, se deberá extender la cañería de impulsión existente para poder abastecer a la misma.

La cañería de impulsión será de PVC o polietileno, tendrá una longitud aprox. de 1400 m, y un diámetro de 250 mm. Su construcción deberá realizarse en el año 2021.

MEJORAS EN EL SISTEMA DE CLORACIÓN

Se implementará un nuevo sistema de cloración, que se ubicará en la nueva cisterna a construir. La cloración será automática en función del caudal bombeado. Se utilizará hipoclorito de sodio a granel.

Se contará con los elementos de seguridad para los operarios, como ser ducha lava ojos. Se construirá junto con la nueva cisterna.

MEJORAS EN EL SISTEMA DE IMPULSIÓN

Para impulsar el agua potable al Tanque Elevado sobre la meseta se construirá una estación de bombeo y su correspondiente cañería de impulsión.

La estación de Bombeo estará compuesta por tres electrobombas centrífugas horizontales, cada una para elevar un caudal de 100 m³/h, a una altura total dinámica de 55 M.C.A., dos será para funcionar y la tercera será de reserva.

La cañería de impulsión será de PVC o polietileno, tendrá una longitud aprox. de 900 m, y un diámetro de 250 mm.

CONSTRUCCIÓN DE TANQUE DE RESERVA ELEVADO

Para alimentar la población que se radicará sobre la meseta se construirá un tanque elevado de 300 m³ de capacidad, realizado en hormigón armado, la cota de fondo de tanque será aproximadamente 30 m sobre el nivel de terreno.

El Tanque se alimentará de la nueva cisterna mediante una Estación de Bombeo. Esta obra deberá realizarse en el año 2021.

Se podrá habilitar el servicio antes de la construcción del Tanque elevado, bombeando directamente a la red de agua desde la Estación de Bombeo.

PLANTA POTABILIZADORA

Para el suministro de agua se ha previsto la construcción de una Planta Potabilizadora que tome agua del embalse, una vez que el caudal producido por los pozos no sea suficiente para abastecer a la población.

Para ello se deberá realizar un estudio particularizado para precisar su ubicación teniendo en cuenta las características hidrológicas de los embalses, la facilidad de acceso a la planta, y la traza para la cañería de impulsión de agua tratada hasta Añelo.

El embalse Los Barreales posee una superficie de 413 km², con mayor contenido de material en suspensión y sometido a variaciones de nivel, ya que opera entre las cotas 414 m. y 422 m.s.n.m. Los procesos de erosión costera tienen más relevancia dado la importante fluctuación del nivel de agua. El embalse Mari Menuco tiene una superficie de 173,9 km², posee aguas claras y opera con un nivel estable entre las cotas 411,50 m. y 413,50 m.s.n.m.

Para el proyecto se tendrá en cuenta que el tratamiento adecuado para las características del agua del embalse, son:

- *Micro tamizado (para retención de algas) eventual*
- *Filtración directa*
- *Cloración*

Conjuntamente con la Planta Potabilizadora se deberá construir un acueducto que permita abastecer a la cisterna principal de la localidad de Añelo.

Esta cañería tendrá una longitud aproximada de 12.000 metros, con un diámetro de 500mm.

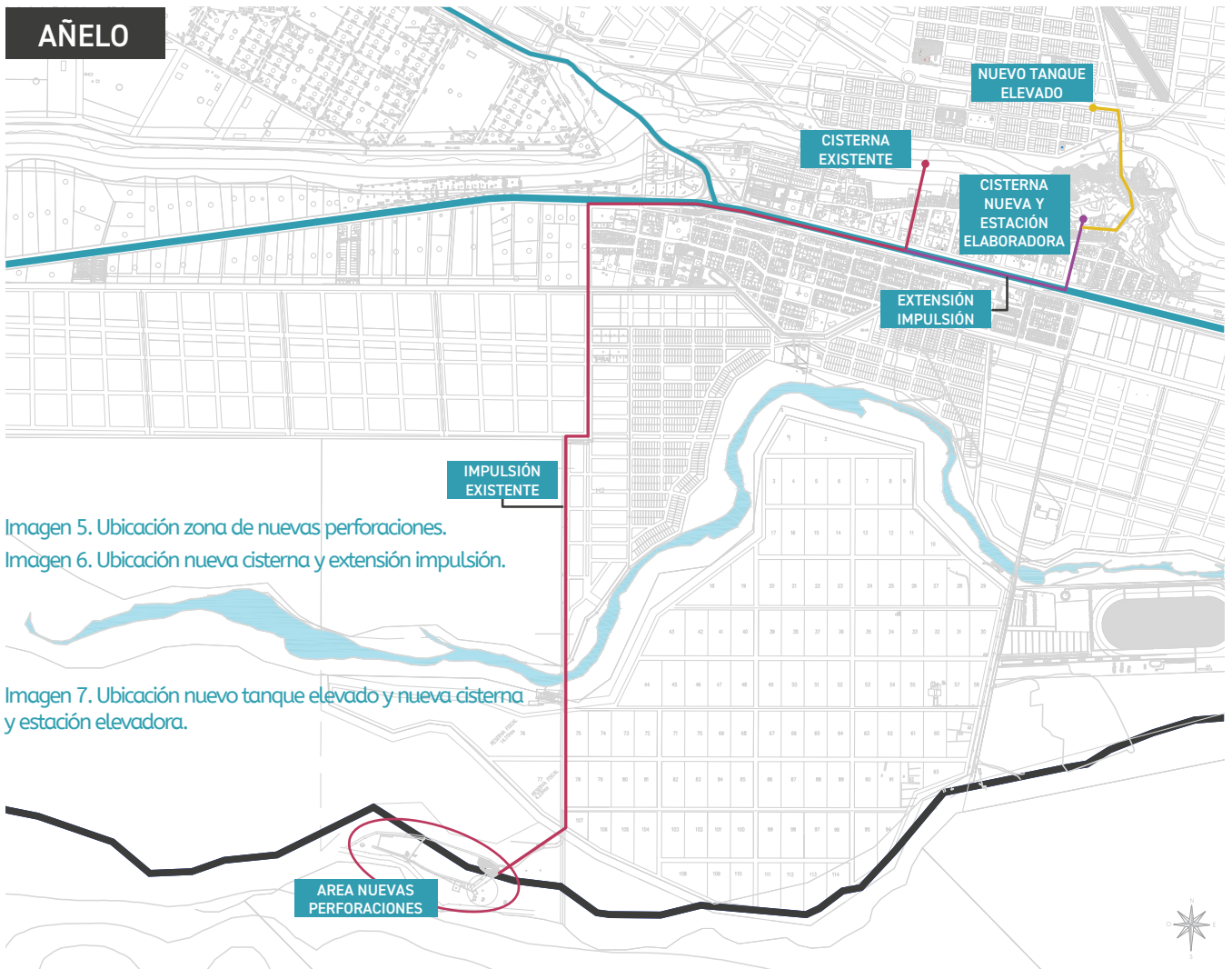


Imagen 5. Ubicación zona de nuevas perforaciones.

Imagen 6. Ubicación nueva cisterna y extensión impulsión.

Imagen 7. Ubicación nuevo tanque elevado y nueva cisterna y estación elevadora.

POSIBLE UBICACIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA



Imagen 8.

Una vez definida la posición más conveniente para la planta, se relevará la traza del acueducto y en función de su perfil topográfico se calculará la o las estaciones elevadoras correspondientes.

La misma deberá construirse en 2021 con una capacidad de producción de 10.000 M3/Día y ampliarse en el 2033 con un módulo de similar producción.

Con la habilitación de la planta potabilizadora, se comenzará a desactivar los pozos de agua, con la habilitación de la segunda etapa de la planta potabilizadora, la producción de todas las perforaciones será reemplazada por agua superficial.

REDES DE AGUA

Con la construcción de los barrios o asentamientos urbanos se realizará la red de agua correspondiente.

De acuerdo con los datos recabados, se puede determinar, la longitud de red a construir en cada período.

- Año 2020 – 26 Km
- Año 2024 – 32 Km
- Año 2028 – 30 Km
- Año 2034 – 46 Km

TOTAL DE REDES DE AGUA A CONSTRUIR 134 KM.

CONEXIONES DOMICILIARIAS

Se deberán realizar conexiones domiciliarias sobre la red de agua existente y sobre las redes de agua nuevas.

CONEXIONES EN REDES EXISTENTES

- Año 2020 – 795
- Año 2024 – 992
- Año 2028 – 531

- Año 2034 – 364

TOTAL DE CONEXIONES A REALIZAR SOBRE REDES EXISTENTES 2.682

CONEXIONES EN REDES NUEVAS

- Año 2020 – 1.854
- Año 2024 – 2.315
- Año 2028 – 2.125
- Año 2034 – 3.276

TOTAL DE CONEXIONES A REALIZAR SOBRE REDES NUEVAS: 9.571

SISTEMA DE DESAGÜES CLOCALES

REDES CLOCALES

Con la construcción de los barrios o asentamientos urbanos se realizará la red cloacal correspondiente.

De acuerdo a los datos recabados, se puede determinar, la longitud de red a construir en cada período.

- Año 2020 – 5 Km
- Año 2024 – 18 Km
- Año 2028 – 24 Km
- Año 2034 – 28 Km

TOTAL DE REDES DE CLOCALES A CONSTRUIR 85 KM.

CONEXIONES DOMICILIARIAS

La red cloacal cubre gran parte del tejido urbano, pero los usuarios no realizan las conexiones domiciliarias a un ritmo acorde con el desarrollo de la infraestructura.

Este ritmo de ejecución de las obras estaría influenciado por causas económicas, por falta de información de los beneficios ambientales.

Por ello se sugiere que el Municipio debería realizar un plan de difusión y de facilidades de pago, que permita a los usuarios acceder a la conexión domiciliaria y al cegado del pozo absorbente.

Se deberán realizar conexiones domiciliarias sobre la red cloacal existente y sobre las redes cloacales nuevas.

CONEXIONES EN REDES EXISTENTES

- Año 2020 – 648
- Año 2024 – 1.071
- Año 2028 – 1.323
- Año 2034 – 1.364

TOTAL DE CONEXIONES A REALIZAR SOBRE REDES EXISTENTES: 4.407

CONEXIONES EN REDES NUEVAS

- Año 2020 – 432
- Año 2024 – 1.514
- Año 2028 – 1.985
- Año 2034 – 3.183

TOTAL DE CONEXIONES A REALIZAR SOBRE REDES NUEVAS: 7.714

ESTACIÓN ELEVADORA

Se deberá construir un nuevo pozo de bombeo, apto, para instalar electrobombas cloacales con motor sumergido.

La Estación Elevadora estará constituida por:

- *Un canasto para recolección de residuos, con pasaje libre entre planchuelas de 2,5 cm*
- *Un aparejo eléctrico, con capacidad de 1000 Kg, incluyendo pórtico, para operación del canasto*
- *Tres electrobombas sumergibles aptas para bombeo de líquido cloacal, dos para funcionar y la restante de reserva.*
- *Interruptores de nivel para arranque y parada de los equipos.*
- *Un pilar con el tablero eléctrico*

Todo estará ubicado dentro de un predio cercado y con iluminación, que evite el acceso de personas no autorizadas. Estará ubicado en el mismo sector donde se encuentra el bombeo actual.

CONDUCCIÓN EFLUENTES URBANIZACIÓN DE LA MESETA

Las redes cloacales de la urbanización que se desarrolle sobre la meseta serán conducidas hacia la planta depuradora que se ampliará en el lugar de la existente. Se ha planteado unificar el tratamiento en una sola planta, optimizando la operación y aprovechando las condiciones existentes para disponer el efluente tratado.

La cañería se instalará aprovechando el camino existente de acceso a la meseta, y se materializará en forma de zig-zag, para disminuir la pendiente de cada tramo, y asegurar un correcto funcionamiento hidráulico. La misma tendrá una longitud aproximada de 2.000 metros.

PLANTA DEPURADORA

Deben repararse 2 de los equipos de aireación, verificar el equipamiento eléctrico y realizar una limpieza de las lagunas.

Se deberá ampliar la planta depuradora con un módulo para 2.000 m³/día, en el año 2021.

La ampliación, estará compuesta por lagunas aeróbicas de mezcla completa seguida de una laguna de sedimentación, con cloración de los líquidos. Estará compuesta por las siguientes unidades de proceso:

DIMENSIONES LAGUNAS AERÓBICAS (PROCESO DE MEZCLA COMPLETA)

- *Cantidad de Lagunas aireadas 2*
- *Caudal medio diario a tratar por laguna (m³/día) 1.300*
- *Carga Orgánica Total (Kg DBO/día) 500*
- *Superficie Total (m²) 7.000*
- *Superficie media por laguna (m²) 3.500*
- *Ancho coronamiento (m) 54*
- *Longitud coronamiento (m) 95*
- *Potencia unitaria adoptada de las turbinas (Kw) 8*
- *Cantidad de turbinas por laguna 8*
- *Potencia consumida por laguna (Kw) 64*
- *Dimensiones Lagunas de Sedimentación*
- *Cantidad de Lagunas de sedimentación 2*

- *Ancho coronamiento (m) 28*
- *Longitud coronamiento (m) 49*

Para cubrir la demanda hasta el año 2.034, se deben realizar ampliaciones en el año 2.026 y 2.031, de una capacidad de 3.000 m³/día cada una.

DISPOSICIÓN EFLUENTES PLANTA

Para no volcar el efluente tratado en ningún curso superficial, se implementará un sistema de riego.

El líquido tratado se utilizará para riego de cortinas forestales, álamo blanco, o especies de árboles adecuados para la zona.

El riego parece ser una alternativa interesante para una zona con características tan áridas.

La Organización Mundial de la Salud define los criterios que debe satisfacer el líquido tratado para ser utilizado en:

- Riego restringido: Riego de árboles, cultivos industriales, cultivos de forrajes, árboles frutales y pastizales.*
- Riego no restringido: Riego de cultivos comestibles, parques públicos y campos deportivos.*

El tratamiento propuesto, sólo permitiría un riego restringido, para riego de un cordón forestal, u otro uso equivalente.

Un sistema de riego con efluente cloacal presenta características diferentes al de un sistema de riego convencional.

En efecto, mientras en el primero se derivan desde la fuente los caudales que se necesitan, buscando minimizar el agua utilizada, reduciendo al mínimo aceptable la tasa de aplicación hidráulica, en un sistema de disposición final en cambio, los caudales que ingresan están impuestos por el sistema cloacal y deben ser manejados

en forma tal que durante todos los meses del año no solo se satisfagan los requerimientos de riego, sino que también, si se pretende un sistema cerrado, se eviten que los excedentes escapen del área de disposición.

Para cumplir con ambos requisitos, se considerará que el caudal de efluente derramado en el terreno supera las necesidades de riego del cultivo y que el excedente percola en el suelo, dadas las características del terreno.

Dado que la aplicación sobre el terreno se efectuará en forma continua, todos los días del año, se ha previsto la sectorización del predio para la rotación del riego, para infiltrar los excedentes y para permitir el ingreso de personal y equipos para tareas de mantenimiento.

Para el dimensionamiento del sistema de riego forestal con líquido cloacal tratado, los parámetros de diseño a considerar serán los típicos para la zona.

- *Requerimiento bruto de riego para el cultivo (Rb = 10.000 m3/ha. año).*
- *Tasa media de infiltración en terrenos arenosos (Ti = 25.000 m3/ha. año)*

$$Ta = Ti + Rb = 25.000 \text{ m3/ha.año} + 10.000 \text{ m3/ha. año}$$

$$Ta = 35.000 \text{ m3/ha año}$$

El área requerida para disponer ese volumen será, entonces:

$$St = \frac{Qa}{Ta} \text{ (ha)}$$

El volúmen anual Qa se obtiene a partir del caudal medio diario

$$Qc(2005) = 3231 \text{ m3/d:}$$

$$Qa(2019) = 365 \text{ d/año} * 3231 \text{ m3/d} = 1.180.000 \text{ m3/año}$$

Reemplazando valores, se obtiene:

$$1.180.000 \text{ m3/año}$$

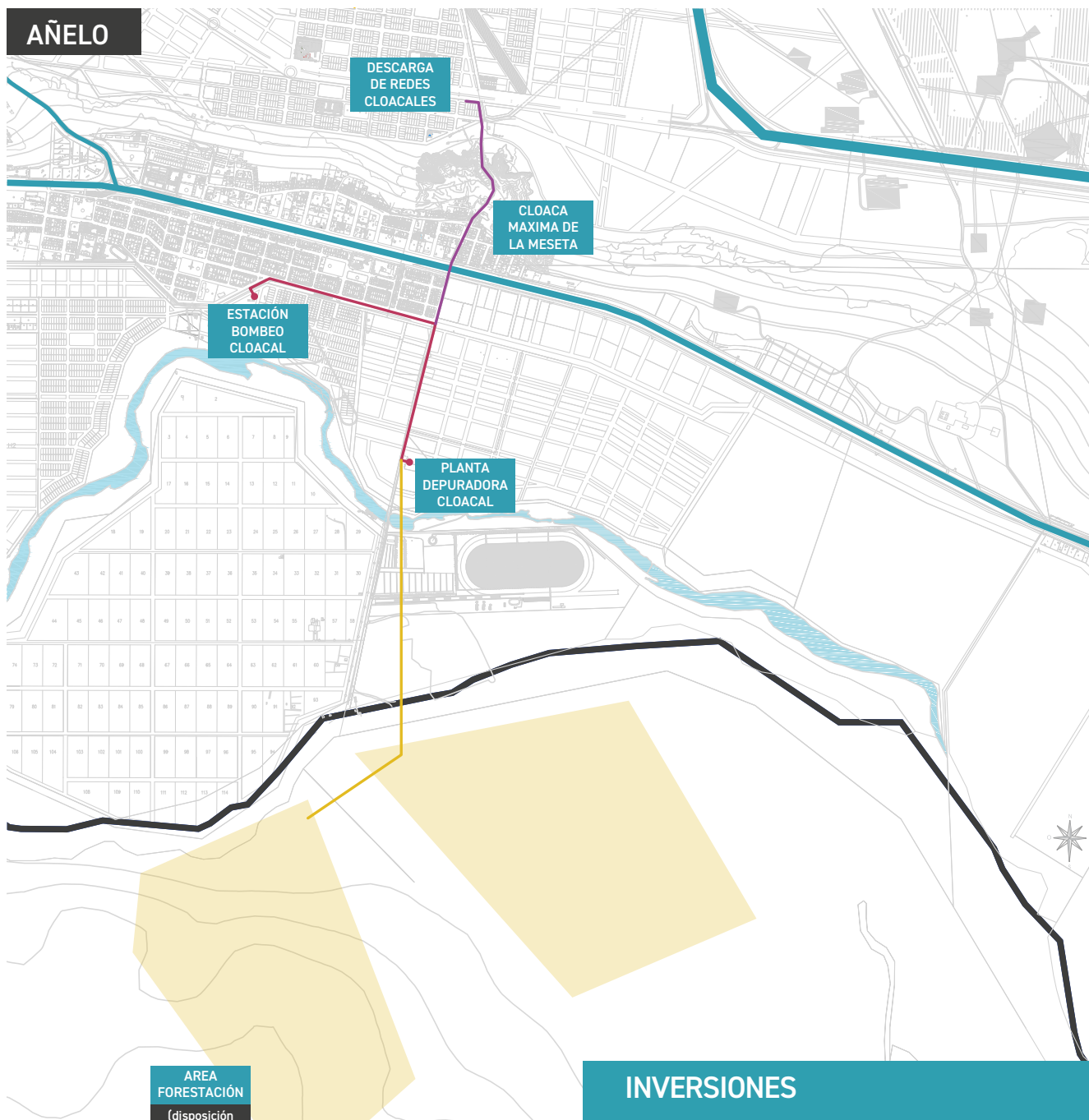
$$St = \frac{1.180.000 \text{ m3/año}}{35.000 \text{ m3/ha. año}} = 34 \text{ ha}$$

$$35.000 \text{ m3/ha. año}$$

Valor que representa el área de terreno necesaria en primera etapa, para disponer los efluentes tratados, con reúso de los mismos para riego de una plantación de álamos e infiltración de los excedentes, para los próximos 10 años.

Para el año 2034 se deberá disponer un caudal de 9600 m3/día, lo que significará un total de aproximadamente 100 Ha.

Se ha previsto un programa de forestación con plantaciones de álamo blanco, con una densidad de 1.200 plantas por hectárea.



INVERSIONES

INVERSIONES EN SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Las obras del sistema de agua incluyen:

RED DE AGUA POTABLE

- *Conexiones nuevas de agua en red existente*
- *Conexiones nuevas de agua en red nueva*

Imagen 9. Ubicación de la Estación elevadora.
Imagen 10. Redes cloacales.
Imagen 11. Área de forestación de álamo blanco.

- *Red nueva de agua*
- *Rehabilitación red agua*
- *Renovación red agua*
- *Macro medición y control fugas*

PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE

- *Pozos, incluyendo electrobomba y tablero*
- *Cañería de impulsión a cisterna diámetro 250 mm longitud 1400 m*
- *Reposición de equipos electromecánicos*
- *Planta Potabilizadora capacidad 10.000 m³/día*
- *Cañería de impulsión de Planta Potabilizadora a cisterna diámetro 500 mm longitud 12.000 m.*

DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

- *Cisterna de 1.200 m³*
- *Sistema de cloración*
- *Estación Elevadora*
- *Cañería de impulsión a tanque elevado diámetro 250 mm longitud 900 m*
- *Tanque Elevado de 300 m³*

INVERSIONES EN SISTEMAS DE DESAGÜES CLOACALES

Las obras del sistema cloacal incluyen:

RED CLOACAL

- *Conexiones nuevas cloacales en red existente*
- *Conexiones nuevas cloacales en red nueva*
- *Red nueva cloacal*

RECOLECCIÓN DE CLOACAS

- *Rehabilitación red aguas servidas*
- *Renovación red de aguas servidas*
- *Sistema de bombeo*
- *Reposición equipos electromecánicos*

TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL

- *Cloaca máxima diámetro 350 mm longitud 2.000 m*
- *Planta de tratamiento*
- *Riego y forestación*

En la tabla 12 se resumen las inversiones consideradas en cada uno de los rubros analizados.

VACA MUERTA Y MINERÍA

ÁREA DE PENSAMIENTO ESTRATÉGICO

SISTEMA: AGUA POTABLE	INVERSION PESOS	INVERSION DOLARES
CONEXIONES NUEVAS DE AGUA EN RED EXISTENTE	\$ 19.548.761	\$ 424.973,1
CONEXIONES NUEVAS DE AGUA EN RED NUEVA	\$ 69.753.525	\$ 1.516.381,0
RED NUEVA DE AGUA	\$ 773.103.462	\$ 16.806.597,0
REHABILITACION RED DE AGUA	\$ 888.233	\$ 19.309,4
RENOVACION RED DE AGUA	\$ 888.233	\$ 19.309,4
MACRO MEDICION Y CONTROL DE FUGAS	\$ 9.110.091	\$ 198.045,5
PRODUCCION DE AGUA POTABLE		
POZOS, INCLUYENDO ELECTROBOMBA Y TABLEROS	\$ 8.502.752	\$ 184.842,4
CAÑERÍA DE IMPULSION CISTERNA Diam 250mm Long 1.400 m	\$ 7.227.339	\$ 157.116,1
REPOSICION EQUIPOS ELECTROMECHANICOS	\$ 2.125.688	\$ 46.210,6
PLANTA POTABILIZADORA Cap 10.000 m3/día	\$ 327.963.310	\$ 7.129.637,2
CAÑERÍA DE IMPULSION PTA. CISTERNA Diam 500 mm Long 12.000 m	\$ 109.321.103	\$ 2.376.545,7
DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE		
CISTERNA DE 1.200 m3	\$ 13.361.468	\$ 290.466,7
SISTEMA DE CLORACION	\$ 5.951.926	\$ 129.389,7
ESTACION ELEVADORA	\$ 9.110.091	\$ 198.045,5
CAÑERÍA DE IMPULSION A TANQUE ELEVADO Diam 250 mm Long 900m	\$ 4.646.146	\$ 101.003,2
TANQUE ELEVADO DE 300 m3	\$ 21.256.881	\$ 462.106,1
SUB - TOTAL INVERSION AGUA	\$ 1.382.759.009	\$ 30.059.978
SISTEMA: DESAGUES AGUAS SERVIDAS		
CONEXIONES NUEVAS DE A.S. EN RED EXISTENTE	\$ 40.144.166	\$ 872.699,3
CONEXIONES NUEVAS DE A.S. EN RED NUEVA	\$ 64.813.434	\$ 1.408.987,7
RED NUEVA DE AGUAS SERVIDAS	\$ 658.504.507	\$ 14.315.315,4
REHABILITACION RED AGUAS SERVIDAS	\$ 746.298	\$ 16.223,9
RENOVACION RED AGUAS SERVIDAS	\$ 559.875	\$ 12.171,2
SISTEMA DE BOMBEO	\$ 5.769.724	\$ 125.428,8
REPOSICION EQUIPOS ELECTROMECHANICOS	\$ 1.822.018	\$ 39.609,1
TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL		
CLOACA MAXIMA Diam 350 mm Long 2.000 m	\$ 14.576.147	\$ 316.872,8
PLANTA DE TRATAMIENTO	\$ 291.522.942	\$ 6.337.455,3
FORESTACION Y RIEGO	\$ 911.009	\$ 19.804,5
SUB - TOTAL INVERSION AGUAS SERVIDAS	\$ 1.079.370.120	\$ 23.464.568
DESAGUES PLUVIALES		
EMPALME CANAL EXISTENTE	\$ 6.073.394	\$ 132.030,3
CRUCE CANAL DE RIEGO	\$ 6.073.394	\$ 132.030,3
SUB - TOTAL INVERSIONES PLUVIALES	\$ 12.146.788	\$ 264.061
INVERSIONES TOTALES	\$ 2.474.275.917	\$ 53.788.607

Tabla 12. Inversiones consideradas en cada uno de los rubros analizados.

OBSERVACIONES ACERCA DE LAS INVERSIONES EN AÑELO

- *Las Inversiones Totales en Agua y Saneamiento para la Localidad de AÑELO ascienden a Millones \$ 2.474, o su equivalente de U\$S Millones 54.*
- *El presente informe contempla lo que debe hacerse, y con la visión de un plan director, ya que las inversiones previstas tienen un retraso aproximado de 4 años en relación al crecimiento demográfico, es decir los primeros tramos de las obras planteadas en el informe deberían haberse iniciado en los años 2015/2016.*
- *Las obras indicadas en el informe pueden acelerarse o retardarse según necesidad de crecimiento demográfico, siguiendo un orden de prelación lógico a determinar según la situación imperante en un determinado momento.*
- *Sin dudas el desarrollo acelerado de explotación de Vaca Muerta ha superado al Desarrollo urbanístico ordenado de la localidad de AÑELO, en lo referente a los servicios como agua y cloaca, viviendas, hospitalarios, etc.*

03

**MINERÍA
METALÍFERA**

En las últimas décadas la minería no hidrocarburofífera (en particular por el impulso de la denominada “megaminería”) ha registrado un crecimiento notable.

Mientras que la minería hidrocarburofífera comprende actividades bien definidas, el resto de la minería aglutina un conjunto mucho más heterogéneo. La extracción minera de nuestro país se divide en cinco subgrupos: Minerales metalíferos (oro, litio, cobre, plata, hierro, plomo, uranio, zinc, etc.); Minerales no metalíferos (arcillas, arena sílicea, bentonita, boratos, sales, yeso, turba, etc.); Rocas de aplicación (arena para la construcción, basalto, caliza, canto rodado, granito, lajas, tosca, etc.); Piedras semipreciosas (ágata, gemas, rodocrosita); Combustibles sólidos (carbón).

¿Qué minerales produce la Argentina?

- *Metalíferos: Son aquellos minerales que contienen metales. Los principales son: Hierro, plomo, zinc, estaño, aluminio, cobre, molibdeno, plata y oro.*
- *No metalíferos: Son aquellos minerales que no contienen metales, como por ejemplo calizas, arenas, pizarras, arcillas, sal común, yeso, sales de potasio, sales de litio y boratos, fluorita, baritina, bentonitas, piedras semipreciosas y muchos otros, utilizados como insumos básicos en diversas industrias.*
- *Rocas de aplicación: Se utilizan para la construcción y la ornamentación, como los*

pórfidos adoquines, baldosas, piedras lajas, mármoles rosado, blanco, travertinos, tipo ónix, negro y otros, granitos de diversos colores y granulometrías.

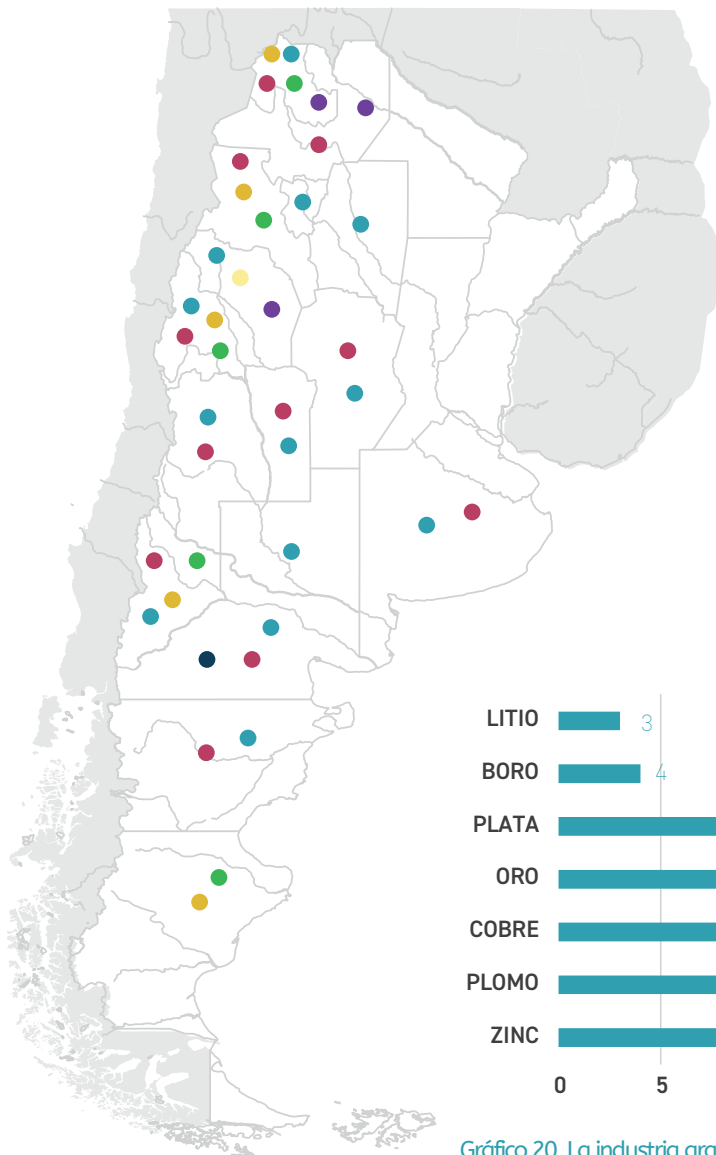
El 80% del valor de la producción minera (metalífera y otros) total, lo producen los minerales metalíferos {minerales de cobre (concentrados) 41%, minerales de oro (beneficiados) 25% y minerales de oro y plata (concentrados) 13%.

Más allá de la importancia actual de estos tres minerales metalíferos, a la Argentina se le presentan oportunidades en torno a otros minerales, tales como el litio, dado que el país cuenta con la tercera reserva mundial (se desarrolla en el siguiente punto del presente informe). Por ello, el potencial de la minería debe ser pensado sobre la base del desarrollo de actividades que, circunstancialmente, están en fases embrionarias y que requieren de una fuerte inversión no sólo en explotación sino también en investigación y desarrollo.

Respecto a la organización de la actividad minera, esta se nuclea en torno a los “*Proyectos Mineros*” que están a cargo de grandes empresas, generalmente de capital trasnacional. Luego existe una cadena de proveedores locales de bienes y servicios, empresas constructoras de obras civiles y sus subcontratistas locales. Las actividades de exploración suelen ser realizadas por PyMEs especializadas (denominadas juniors), que luego venden los proyectos a empresas mineras productoras que tienen la capacidad económica y técnica para explotarlos. Todo esto genera un entramado de grandes empresas articuladas a una red de contratistas y proveedores locales de bienes y servicios.

TIPO	VALOR DE LA PRODUCCION	PORCENTAJE
Minerales metalíferos	9.868.218.654	87%
Rocas de aplicación	958.071.309	8%
Minerales no metalíferos	549.413.585	5%
	11.375.703.548	100%

Tabla 13. Valor de producción a precio de productor mineral. Total país 2009. Fuente: elaboración propia en base a INDEC.



REFERENCIAS

- ORO
- PLATA
- COBRE
- LITIO
- CALIZA
- CALCIO
- HIERRO

Gráfico 19. Ubicación de las minas.

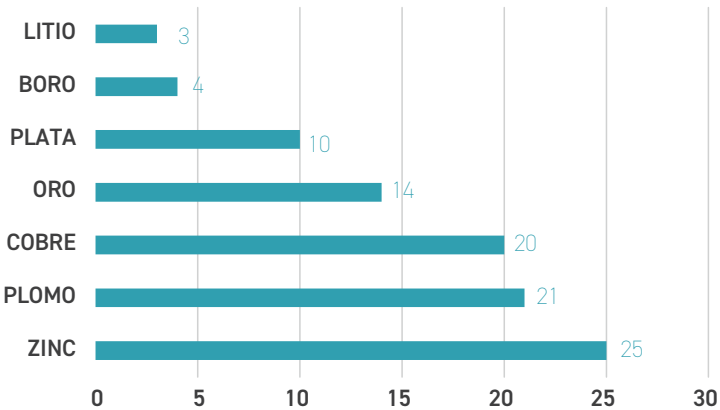


Gráfico 20. La industria argentina en el ranking mundial, según tipo de mineral (2016).

La Argentina se ha posicionado como un actor emergente en la producción minera. Los procesos descriptos anteriormente han hecho que entren en funcionamiento depósitos mineros considerados hasta entonces de menor calidad, como los presentes en la Cordillera de los Andes. De esta manera, los yacimientos presentes en la Argentina se han transformado en atractores de Inversión Extranjera Directa (IED).

La minería argentina ha despertado el interés de las principales empresas mineras a nivel mundial como destino para sus inversiones. El informe de la CAEM afirma que 7 de las 20 empresas más importantes a escala internacional, seleccionadas de acuerdo a su capitalización de mercado, han

tenido participación en el país. Principalmente, estas inversiones se concentran en explotaciones de oro, plata, cobre, potasio, boratos y litio, 97 rubros en los cuales la Argentina ha llegado a ubicarse entre los mejores diez por sus reservas.

Según algunas estimaciones, la superficie del territorio nacional con potencial minero ronda los 750.000 km², de los cuales la mayor parte se encuentra sin explorar (Prado, 2005).

Esto representa un cambio estructural en la relación entre minería y economía nacional. No hay que perder de vista que la minería fue, durante buena parte del siglo XX, un sector deficitario en

términos de la balanza comercial. En las últimas décadas, en cambio, se ha registrado un superávit.

Otro dato que exhibe la importancia creciente de la minería en la Argentina es que en 2012 se ubicó dentro del ranking de complejos exportadores que más contribuyen a las ventas totales del país, posicionado en 5º lugar, cuando hace 10 ó 15 años tenía una contribución meramente marginal (Casalis y Trinelli, 2013). Paralelamente, de los datos recabados en el marco de la cooperación SSPTCEPAL, se desprende que el complejo minero aparece entre los tres complejos principales en las 5 macrorregiones: ocupa el primer lugar en la Patagonia, el segundo en Cuyo, NOA y Centro; y el tercero en NEA.

La minería se ha establecido como una actividad de enorme importancia a partir del desarrollo de lo que se denomina “*megaminería*”, actividad centrada en grandes proyectos (muchos de ellos de minería a cielo abierto) que son los que explican la mayor parte del crecimiento minero.

Finalmente, resulta necesario agregar algunas cuestiones. En primer lugar, al tratarse de una actividad basada en la producción de commodities para su exportación, la megaminería entraña el peligro de la reprimarización. La producción de la minería metalífera y otros tiene serias dificultades para desarrollar encadenamientos “*hacia delante*”. Tal como lo señala Basualdo, la expansión de la actividad minera metalífera durante los últimos años “*estuvo acompañada por la consolidación de una particular morfología productiva caracterizada por el limitado (o casi nulo) margen para la generación de valor agregado*” (2013: 59) en donde prevalece la exportación en bruto de los principales minerales. En segundo lugar, la actividad tiene un impacto muy relevante en los lugares donde se lleva a cabo, lo cual queda reflejado en el Producto Bruto Geográfico (PBG), que se ve potenciado por el hecho de que, en términos generales, la localización de los yacimientos coincide con departamentos y/o provincias escasamente desarrollados y con una escasa contribución al PBI. Incluso, no son pocas las provincias que han creado empresas estatales para intentar captar mayores porciones de la renta minera. Por último, la actividad minera tiene una inserción problemática por la cuestión ambiental, ya que es potencialmente contaminante y además requiere de otros recursos (agua, electricidad, infraestructura, etc.) que afectan a las comunidades del entorno

minero. Ya hay diversas investigaciones que alertan respecto al impacto ambiental de estas actividades y que han registrado diversos conflictos con comunidades cercanas a estos emprendimientos. A continuación, se desarrollan las principales ideas de un informe BID sobre el tema litio.

LITIO EN LA ARGENTINA

“OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS, DESARROLLO DE LA CADENA DE VALOR”

INTRODUCCIÓN

El litio ocupa la posición 25 en el ranking de elementos más abundantes de la Tierra. Se encuentra en más de 150 minerales, entre los que se incluyen arcillas, salares continentales, aguas geotermales y agua de mar. Sin embargo, solo en pocos depósitos se encuentra en niveles de concentración adecuados para su explotación (con la tecnología disponible al presente).

El litio fue reconocido como un elemento en 1817, cuando el químico sueco Johann Arfvedson analizó la petalita. Fue aislado por primera vez en cantidades útiles en 1855, y en 1869 Dimitri Mendeleev lo colocó junto al sodio, con los metales alcalinos, en su tabla periódica de elementos. Con el símbolo químico Li y un número atómico de 3, el litio es el primer metal en la tabla periódica. Tiene una gravedad específica de 0,534, es aproximadamente la mitad de denso que el agua y el más liviano de todos los metales, además de ser el más electropositivo.

En su forma elemental pura es blando y de color blanco plateado, pero es altamente reactivo y, por lo tanto, nunca se lo encuentra como un metal en la naturaleza. El litio tiene una concentración promedio de 20 partes por millón en la corteza continental de la tierra. Es más abundante que algunos de los metales más conocidos, como el estanio y la plata, y aparece en la mayoría de las rocas como un oligoelemento.

Aunque se trata de un elemento relativamente abundante, en los últimos años el litio se ha convertido en uno de los recursos que más interés despierta en el mundo, tanto entre las empresas vinculadas con las industrias extractivas o la química, que ven allí una oportunidad atractiva de negocios, como entre los países que poseen reservas y que aspiran a atraer inversiones y generar eslabonamientos productivos.

Por su parte, quienes utilizan el metal como insumo para sus procesos productivos necesitan garantizarse una provisión a la altura del crecimiento de sus actividades, de ahí que en muchos casos se asocien con empresas especializadas en las fases de extracción y procesamiento inicial.

Está claro que la demanda ha generado las condiciones para el actual ciclo ascendente del metal. Si bien el litio se utiliza desde hace décadas en distintas actividades industriales como la fabricación de cerámicas, vidrios, caucho sintético y lubricantes; en la industria del aluminio o la elaboración de medicamentos, su crecimiento explosivo se debe a que se convirtió en un insumo crucial para la fabricación de las baterías de *“ion-litio”*. Si bien durante los años 90’ eran los fabricantes de electrónica de consumo (como celulares y computadoras) los grandes usuarios de este elemento químico, en los últimos tiempos el crecimiento de su demanda proviene de los fabricantes de baterías para vehículos eléctricos (automóviles, autobuses, motos y bicicletas) y, más incipientemente, para el almacenamiento de energías renovables. Según los analistas, estos nuevos usos apuntalarán el crecimiento sostenido de la demanda en los próximos años.

En la actualidad, no existen mercados spot o futuros para la compraventa de litio. Los precios de los productos de litio publicados han sido tradicionalmente estimaciones sobre la base de información de contratos entre privados. En 2017, Benchmark Mineral Intelligence, que monitoreaba los precios para sus clientes, comenzó a publicar la información en Bloomberg y Thomson Reuters. London Metal Exchange, que provee servicios para la contratación de futuros en el mercado de metales, pretende desarrollar un mercado de futuros para el litio, que acompañe los ya creados para otros componentes de las baterías de ion-litio, como por ejemplo, cobalto, níquel, cobre y aluminio.

EL TRIÁNGULO DEL LITIO

La Argentina es uno de los países que más podría beneficiarse con el creciente interés por este recurso: junto con Bolivia y Chile integra el *“triángulo del litio”*. Se trata de una región que posee salares con niveles de concentración que hacen que su explotación sea sumamente rentable en relación a otros depósitos. Según datos de 2018 del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), alrededor del 67% de las reservas probadas de litio, y cerca de la mitad de la oferta global, se concentra en esa región.

La Argentina cuenta con 1/7 de las reservas, lo que la ubica en la cuarta posición global, y aporta cerca de 1/6 de la producción total, lo que la coloca en la tercera posición en el ranking mundial. El USGS también destaca que la Argentina es el país con mayor cantidad de *“recursos”* con potencial valor económico, aunque no de probada factibilidad y rentabilidad, con algo más del 20% del total mundial. El litio disponible está concentrado mayormente en tres provincias: Catamarca, Jujuy y Salta (grafico 21). Hasta el momento, hay solo dos emprendimientos en fase operativa a escala industrial, uno en Catamarca (en marcha desde 1998), y otro en Jujuy (en marcha desde 2015), aunque hay varios más en etapa de desarrollo.

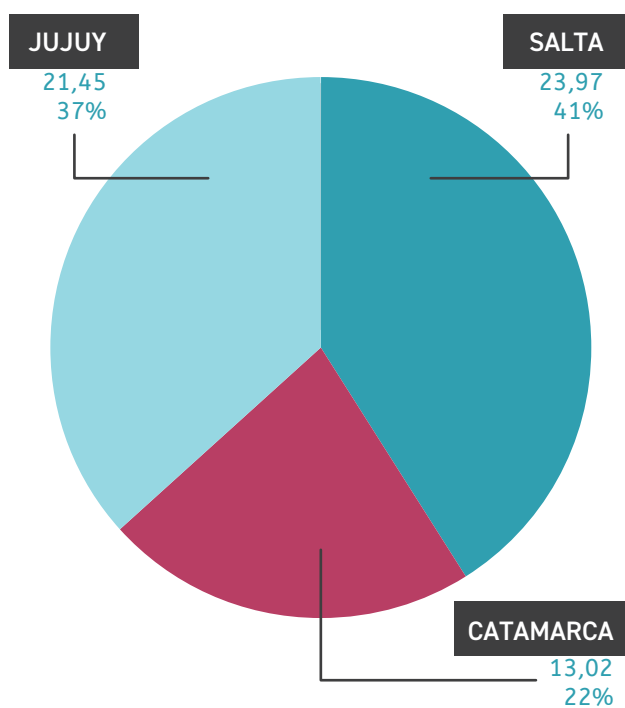


Gráfico 21. Distribución de los recursos de litio en salares de Argentina (Mill de Ton. Carbonato de Litio - 2017)

Pero no solo las condiciones naturales parecen beneficiar a la Argentina sino que, como se analizará con mayor detalle a lo largo de este estudio, el marco normativo es, en relación a sus vecinos del triángulo, particularmente favorable para la llegada de inversiones orientadas a la explotación de los salares. Como consecuencia, los analistas coinciden en que la Argentina tiene potencial para convertirse en el principal productor mundial de carbonato de litio.

CUELLO DE BOTELLA Y OPORTUNIDADES

Si bien en el mediano y largo plazo no se avizoran riesgos de agotamiento o escasez en la oferta de litio, lo cierto es que, en el corto plazo, no existe capacidad para acompañar el rápido crecimiento de la demanda. Esto se debe, en gran medida, al lento proceso de puesta en marcha de las operaciones en los salares, que implica especialmente la técnica de extracción evaporítica que es actualmente la más difundida. El periodo que comprende las actividades de exploración, las pruebas piloto, la construcción de pozos, la instalación de plantas de procesamiento y la calibración de los procesos necesarios para obtener el carbonato de litio puede demorar hasta diez años. En el caso de otras fuentes, como las rocas pegmatíticas, los tiempos pueden ser más breves, pero los costos operativos, más elevados.

La lentitud para ampliar la capacidad de producción se ha traducido en un aumento significativo de los precios negociados entre las empresas que elaboran distintos productos de litio con aplicación industrial, carbonato, cloruro, hidróxido y los usuarios del recurso. Este “ *cuello de botella* ” ha motivado el interés por desarrollar nuevas tecnologías que permitan acortar los tiempos necesarios para comenzar la explotación de los salares, reducir los costos operativos especialmente, en el caso de las explotaciones a partir de rocas e incluso volver rentable fuentes alternativas de explotación, como los depósitos hidrotermales o el incipiente desarrollo de tecnologías de recuperación de fuentes secundarias, como por ejemplo, el reciclado de baterías.

En este escenario, los gobiernos de los países o provincias, en el caso de regímenes federales como el argentino (Desde la reforma constitucional de

1994, en la Argentina el dominio originario de los recursos naturales pertenece a las provincias. Rasgo distintivo del país respecto a sus vecinos del triángulo del litio, que poseen sistemas unitarios) donde el litio presenta condiciones atractivas pretenden aprovechar la oportunidad para generar iniciativas con impacto positivo sobre la sociedad y evitar la llamada “*maldición de los recursos naturales*”. Esta visión se encuentra profundamente arraigada en regiones que están relativamente atrasadas y que no han logrado beneficiarse de su abundante dotación de recursos naturales. Las vías a través de las cuales se pretenden canalizar los efectos virtuosos de la explotación del recurso son múltiples:

- *Atracción de inversiones.*
- *Aumento de las exportaciones.*
- *Incremento de los recursos fiscales.*
- *Creación de empleos mediante la localización de procesos productivos, entre otras.*

¿ORO BLANCO?

La prensa habla de “*oro blanco*” al referirse al litio. En este contexto resulta útil analizar algunos números para poner en perspectiva la comparación. En primer lugar, en relación a otros productos mineros como el oro y el cobre, el mercado del litio es casi insignificante. El volumen comercializado de oro en el mundo asciende a casi USD 125.000 Millones, y el de cobre a USD 95.000 Millones. El mercado del litio, en tanto, se ubica en torno a los USD 2.000 Millones, con una proyección optimista de USD 7.700 Millones para el año 2022.

En segundo lugar, aun para la Argentina se trataría de una modesta fuente de divisas: un informe del entonces Ministerio de Energía y Minería de este país señala que las exportaciones de litio en 2016 llegaron a USD 190 Millones y, en 2017, la cifra aumentó a USD 224 Millones. Si se concretan algunos de los proyectos en desarrollo, esa cifra podría escalar hasta USD 880 Millones en los próximos años.

Sin embargo, estos valores no resultan significativos cuando se comparan con las exportaciones totales del país, que en 2017 rondaron los USD 58.000 Millones, y tampoco son demasiado elevados dentro de la propia minería, cuyas exportaciones oscilan entre los USD 3.520 Millones el mismo año. El flujo neto de divisas sería aún menor si se consideran las importaciones de bienes y servicios realizadas para la operatoria de los salares, y los dividendos y regalías girados al exterior por parte de las empresas concesionarias.

Asimismo, dado el carácter de capital intensivo de los procesos mineros, tampoco se puede esperar un gran impacto en materia de empleo (más aún si se consideran las tendencias a la automatización en el sector). En síntesis, la influencia que la minería del litio tendría sobre los agregados nacionales sería muy limitada aunque, por supuesto, no despreciable en un país siempre urgido por la necesidad de inversiones, divisas y empleo.

No obstante, los proyectos de litio sí pueden representar un aporte relevante para las provincias que albergan los recursos que suelen ser, además, relegadas en términos de desarrollo, en especial en las zonas donde se encuentran los salares. Como se observa en la tabla 14, los niveles de empleo privado en el sector minero que incluye otras actividades además del litio son muy pequeños en Catamarca, Jujuy y Salta, no solo en términos relativos al empleo total, sino también absolutos. La operación de un salar con una capacidad anual de producción de 15.000/20.000 TN emplea de manera directa alrededor de 250 personas.

***La sumatoria del empleo de las distintas actividades productivas no necesariamente coincide con el total de empleo de la provincia, ya que este incluye la cantidad de puestos de trabajo de aquellas actividades que no se publican para resguardar el secreto estadístico.*

RAMAS DE ACTIVIDAD	CATAMARCA		JUJUY		SALTA	
	CANT.	PARTICIPACIÓN	CANT.	PARTICIPACIÓN	CANT.	PARTICIPACIÓN
Agricultura, ganadería, caza y sicultura	3.065	9%	6.242	11%	18.039	15%
Explotación de minas y canteras	459	1%	1.812	3%	1.499	1%
Extracción de petróleo crudo y gas natural	5	0,01%	s.d.	-	641	0,54%
Extracción de minerales metalíferos	s.d	-	1.313	2,30%	15	0,01%
Explotación de otras minas y canteras	454	1,29%	499	0,87%	843	0,71%
Industria manufacturera	6.728	19%	12.460	22%	16.533	14%
Electricidad, gas y agua	490	1%	510	1%	1.014	1%
Construcción	3.001	9%	4.590	8%	11.349	10%
Servicios	19.882	56%	31.297	55%	68.897	58%
TOTAL	35.286		57.077		118.533	

Tabla 14 Empleo provincial privado registrado por ramas de actividad y explotación de minas y canteras con sus subramas (segundo trimestre de 2017).

En contraste, el litio posee un peso importante en la estructura exportadora de dichas provincias, especialmente en el caso de Jujuy, donde ha llegado a representar el 16% de las exportaciones totales en 2016 (grafico 21). Estas cifras podrían incrementarse sensiblemente en las tres provincias si se concretan algunos de los proyectos actualmente en marcha.

Pero más allá de las divisas y empleos que pueda generar, resulta difícil pensar que en las condiciones actuales de explotación, la actividad litífera pueda convertirse en una plataforma que promueva un proceso virtuoso de cambio estructural en las economías provinciales.

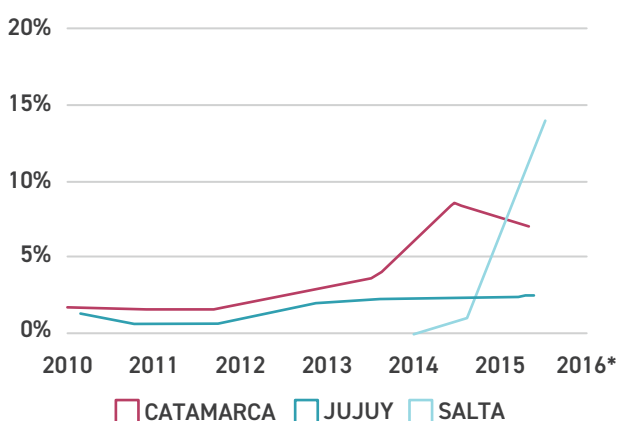


Gráfico 22. Participación de las exportaciones de cloruro y carbonato de litio en las exportaciones de las provincias productoras (2010 - 2016)

Para lograr el desarrollo del sector, él mismo debería ser capaz de generar eslabonamientos más numerosos y complejos en términos tecnológicos. Vale entonces preguntarse, desde una perspectiva de largo plazo, cuál sería la posible contribución del litio al desarrollo de estas regiones. Existe cierto consenso sobre la existencia de una *“ventana de oportunidad”* (algunos la sitúan en torno a los 20 años) para explotar la riqueza del litio disponible en la Argentina, ya que los pronósticos sugieren que, tarde o temprano, dicho material será reemplazado por otros o incluso por el reciclado de las baterías agotadas. Esta preocupación podría sintetizarse en una pregunta: *¿Cómo lograr que la explotación de litio tenga impactos más allá de su vida útil como insumo dominante en el nuevo paradigma de una movilidad basada en la electricidad y el almacenamiento energético?*

En general, el objetivo principal es promover mayores grados de industrialización, fomentar encadenamientos con proveedores locales y generar

proyectos innovadores en torno a los procesos de extracción. En ocasiones, dichas iniciativas se vinculan con programas de promoción de energías renovables, aprovechando la *“tracción”* de la demanda que pueden generar. Estas estrategias se orientan, en definitiva, a utilizar este *“tesoro enterrado”* para poner en marcha procesos virtuosos que contribuyan al desarrollo socioeconómico de las regiones o países.

En definitiva, se trata de crear mecanismos que permitan aprovechar la *“ventana”* que ofrece una dotación relativamente extraordinaria de un recurso de carácter crítico para crear eslabonamientos que generen capacidades productivas, tecnológicas, de gestión y comerciales que puedan difundirse a lo largo de la cadena de valor o, incluso, encontrar aplicación en otros sectores.

Se podrían incluir aquí eslabonamientos intensivos en conocimiento que incluyan, por ejemplo, el desarrollo de materiales avanzados, de procesos químicos y electroquímicos complejos o de sistemas de acumulación de energía. También eslabonamientos locales de carácter menos sofisticado pero que sean novedosos para el entorno donde se realizan las explotaciones como, por ejemplo, la prestación de servicios de mantenimiento y logística.

TRIÁNGULO DE RELACIONES

Los gobiernos, en sus distintos niveles, son figuras centrales en la construcción de eslabonamientos, ya que cuentan con herramientas normativas para propiciarlos. Sin embargo, este proceso requiere alinear y articular los intereses y las acciones de las empresas que operan a lo largo de la cadena, tanto entre ellas como con los actores del sistema científico y tecnológico. Estos últimos generan conocimiento y desarrollos tecnológicos que pueden ser aprovechados luego por el sector privado y contribuir a que las firmas locales asuman roles más críticos dentro de la cadena. La necesidad de esta articulación conocida como el *“triángulo de relaciones entre gobierno, ciencia-tecnología y estructura productiva”*.

No puede dejar de destacarse que la estrategia de construcción de eslabonamientos, así como la articulación de un *“triángulo”* que permita expandirlos, debe pensarse en el marco de una creciente fragmentación e internacionalización de los procesos de creación de valor y consumo, que ha dado lugar a las llamadas *“cadenas globales de valor”* o *“redes globales de producción”*.

Esta realidad requiere extender el análisis desde la dimensión local al campo mundial, reconociendo como punto de partida que las industrias extractivas están dominadas por unas pocas empresas transnacionales y tienen elevadas barreras a la entrada, como consecuencia de las dificultades para acceder a la tecnología y a los altos costos de capital. De ahí que estas industrias ofrezcan limitadas oportunidades para establecer eslabonamientos locales o para desarrollar innovaciones que sean incorporadas en sus procesos de producción, más allá de la tendencia de las empresas líderes a tercerizar las actividades que no forman parte de su core business.

Aquellas mismas restricciones se trasladan a las sucesivas fases de la cadena de producción en las que se agrega valor al recurso (por ejemplo, la batería). Es más: en estos eslabones se agudiza la competencia por costos con países que gozan de ventajas tanto de naturaleza estática –como los bajos costos laborales–, como dinámica, que les permiten dominar los mercados (caso notable, los países del Sudeste Asiático). A continuación, se propone el análisis de lo que podríamos denominar la “*cadena del litio*”, examinar las oportunidades y restricciones que existen para la construcción de eslabonamientos productivos y tecnológicos de impacto positivo en la Argentina y, en particular, en las provincias en donde se localizan las reservas.

LA ESPECIFICIDAD DE LAS INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

No hay una relación determinista entre una especialización intensiva en actividades extractivas y los niveles de desarrollo alcanzados por un país. Una de las economías más ricas del mundo y la primera en el Índice de Desarrollo Humano que elabora el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Noruega, es uno de los siete países con mayor abundancia de activos del subsuelo per cápita en todo el planeta. En otro extremo, varias de las economías más pobres y con menores niveles de desarrollo humano, mayormente localizadas en África, también son fuertemente dependientes de sus recursos extractivos, en especial en lo que se refiere a la generación de divisas y recursos fiscales.

En años recientes, la investigación académica ha mejorado su caracterización de los factores que están detrás de esta divergencia de resultados, lo que le ha permitido refinar el análisis (y, consecuentemente, la formulación) de estrategias para que la abundancia relativa de recursos extractivos se traduzca en progresos sustantivos en el camino hacia el desarrollo sostenible e inclusivo.

El aprovechamiento de estos recursos es una tarea compleja y multidimensional, que involucra aspectos económicos y tecnológicos, pero también y, quizás, principalmente políticos. Las industrias extractivas se distinguen no solo de las industrias manufactureras o los sectores de servicios, sino también del resto de las actividades basadas en recursos naturales, por una serie de características específicas.

- *Operan con recursos de carácter no renovable –cuyo stock se va agotando en el tiempo.*
- *La explotación de los recursos se produce en lugares específicos y delimitados del espacio terrestre, a los que modifica de manera profunda y permanente.*
- *La propiedad de los recursos del subsuelo está generalmente en manos del Estado, aunque su explotación puede ser hecha por empresas públicas, privadas o a través de actores de naturaleza mixta.*
- *La actividad extractiva requiere, en general, grandes inversiones iniciales (son actividades capital intensivas), asociadas a la exploración del subsuelo y al diseño, construcción y puesta en marcha de los proyectos de explotación. La recuperación de esas inversiones requiere períodos largos y está sujeta a una elevada incertidumbre derivada de: I) la elevada volatilidad de los precios de los recursos extractivos; II) la falta de precisión sobre los niveles potenciales de producción en las zonas a explorar y acerca de la evolución futura de los costos de producción; y III) el riesgo político proveniente del posible cambio en las “reglas de juego” durante la vida útil de los proyectos. En este sentido, hay asimetrías de información en cuanto a la estructura de costos y los aspectos técnicos del negocio (en favor del inversor-productor) y en lo que*

hace a las intenciones y decisiones políticas futuras (en favor del gobierno).

- *Esta actividad genera rentas sustanciales (diferencias entre precios corrientes y costos de producción), lo cual lleva frecuentemente a disputas en torno a su apropiación y uso, en especial en las fases altas del ciclo de precios.*
- *La naturaleza altamente concentrada de la propiedad de estos recursos hace que algunos productores (países o empresas) tengan un fuerte poder de mercado a nivel internacional. Adicionalmente, existen barreras a la entrada asociadas a las elevadas inversiones en capital y a la disponibilidad de capacidades tecnológicas sofisticadas para la exploración y explotación de los recursos respectivos. Consecuentemente, no sorprende que a nivel global el sector esté dominado por empresas multinacionales que, muchas veces, están verticalmente integradas.*
- *En la medida en que la explotación de los recursos extractivos tiene importantes consecuencias ambientales y sociales a nivel local, se plantean intensos conflictos sobre la responsabilidad de identificación, cuantificación y reparación de los costos generados.*

Tomando en cuenta este conjunto de factores, queda claro que los mecanismos de gobierno y diseños institucionales asociados desempeñan un papel fundamental en la determinación del impacto potencial de las actividades extractivas sobre los procesos de desarrollo.

Queda aquí comprendida la necesidad de contar con personal capacitado y mecanismos eficientes de captura, procesamiento y análisis de la información, así como la importancia de establecer esquemas adecuados de coordinación entre las distintas áreas involucradas gubernamental, empresarial, académica y al interior de cada una de ellas.

Asimismo, resulta necesario generar las condiciones para que las decisiones y negociaciones asociadas a la explotación de los recursos tengan el máximo nivel de transparencia, lo que contribuye a elevar la eficiencia regulatoria, reducir la corrupción, fomentar el mejor uso de las rentas y mejorar la relación entre gobierno y ciudadanos.

También es importante diseñar mecanismos que permitan la participación de las distintas partes interesadas o afectadas por la actividad. A la vez, el proceso de toma de decisiones (públicas y privadas) en las industrias extractivas asume niveles de complejidad elevados. En particular, desde el punto de vista del gobierno (y la sociedad) aparecen consideraciones de equidad intra e intergeneracional, así como también de sustentabilidad fiscal y ambiental a largo plazo.

El análisis de estos factores requiere el uso de sofisticados herramientas teóricas y metodológicas, que enfrentan, sin embargo, límites por la falta de previsibilidad acerca de los cambios en la demanda y de los precios de los recursos extractivos (y, consecuentemente, del nivel de las rentas asociadas a estos).

INDUSTRIAS EXTRACTIVAS, ESLABONAMIENTOS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

Existe una larga tradición de debate académico acerca de las relaciones entre recursos naturales y desarrollo que, como se ha mencionado, no ha logrado identificar una relación lineal o determinista entre ambas variables, lo importante no es qué se produce, sino cómo se produce, ya que esto es lo que define las posibilidades de generar derrames de conocimiento y encadenamientos. Una de las cuestiones que esta discusión ha dejado cada vez más en claro es que la explotación de recursos naturales no renovables dista de ser una actividad de bajo dinamismo tecnológico.

No solo sabemos que en el siglo XIX la explosión de la minería gatilló la emergencia de las primeras instituciones científico-tecnológicas en países como Estados Unidos o Australia.

La propia emergencia de la gran riqueza mineral de los Estados Unidos no surgió como un mero regalo de la naturaleza, sino que involucró un proceso de aprendizaje colectivo que incluyó inversiones a gran escala en materia de conocimiento geológico y tecnologías de extracción, refinamiento y uso de los minerales, así como la formación de capital humano especializado.

Lo mismo vale para el presente, por ejemplo, se observan los distintos tipos de avances tecnológicos en marcha en la minería, asociados fundamentalmente a la automatización y al uso cada vez más intenso de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), esenciales para descubrir nuevas fuentes de recursos, aumentar los niveles de eficiencia en los procesos de exploración y explotación y reducir los daños ambientales causados por sus operaciones.

De hecho, una parte sustancial de los efectos sistémicos generados por las industrias extractivas se canaliza a través de los procesos de generación, adopción y difusión de innovaciones, así como por los encadenamientos que aquellas industrias motorizan. En el primer caso, los cambios tecnológicos pueden ayudar tanto a mejorar la eficiencia y reducir los impactos indeseables de estas industrias (en el plano ambiental, por ejemplo), como a producir derrames de conocimiento a través de procesos de imitación y difusión, el establecimiento de redes de innovación, la cooperación con proveedores, clientes y organismos científico-tecnológicos, la movilidad del personal, etc.

En el segundo caso, los encadenamientos generados por las industrias extractivas pueden contribuir a elevar sus impactos en materia de empleo o nivel de actividad, así como a diversificar las economías a través del desarrollo de proveedores de bienes y servicios o la industrialización de las materias primas respectivas.

En base al trabajo de varios autores se han identificado los distintos tipos de eslabonamientos que pueden generarse a partir de las industrias extractivas, buscando comprender su dinámica, sus impactos sobre el desarrollo y las herramientas necesarias para promoverlos. La taxonomía propuesta, que se sintetiza en la tabla 15, ofrece un marco conceptual útil para el análisis del presente.

Cada uno de estos eslabonamientos puede, a su vez, ser clasificado según su amplitud y profundidad. En los eslabonamientos hacia atrás, la primera dimensión se refiere al rango de insumos utilizados en la actividad extractiva, mientras que la profundidad alude al valor agregado local de esos insumos, toda vez que una parte de ellos puede ser de naturaleza importada.

En el campo de los eslabonamientos hacia adelante, la amplitud se refiere a la diversidad de usuarios que hacen uso del recurso, mientras que la profundidad, al igual que en el caso anterior, indica el grado de valor agregado local incorporado.

El camino del desarrollo en base a recursos naturales se presenta como un fenómeno incremental en el que se van generando eslabonamientos entre actividades vinculadas económicamente. Los eslabonamientos productivos que incluyen a los de naturaleza científico-tecnológica son aquellos con mayor capacidad para construir un proceso de estas características.

Los de tipo fiscal, presentan dificultades tanto por el lado de la recaudación como por la del uso de los recursos, puesto que no es sencillo invertirlos de manera productiva en sectores sobre los que las economías en desarrollo en general no tienen capacidades acumuladas.

Asimismo, en referencia a los eslabonamientos de consumo, se considera que no es seguro que el aumento de ingresos en el sector extractivo se canalizara hacia una demanda de bienes y servicios generados localmente; por el contrario, en estructuras productivas poco diversificadas, es más probable que ello derivara en un aumento de las importaciones.

Una de las ventajas de los eslabonamientos de tipo productivo frente al resto radica en su relación directa con el sector de recursos naturales. Dentro de este grupo, siempre los eslabonamientos hacia atrás tienen mayor potencial de desarrollo porque se vinculan con sectores que son tecnológicamente más cercanos a los actores que operan en las industrias basadas en recursos naturales; en cambio los eslabonamientos hacia adelante, que involucran el procesamiento de los recursos, a menudo utilizan tecnologías que son menos familiares para los actores locales.

La idea de que el mayor potencial radica en los eslabonamientos productivos hacia atrás contradice el saber convencional y las preferencias de política dominantes. De hecho, desconociendo la evidencia que ofrece la experiencia de aquellos paí-

ses que han logrado desarrollarse a partir de sus dotaciones de recursos naturales los cuales, como se verá más abajo, han privilegiado por lo general los eslabonamientos hacia atrás, los gobiernos prefieren promover eslabonamientos hacia adelante en particular, aquellos que involucran un salto hacia sectores productivos totalmente distintos, con la idea de que ello los alejará de la especialización en recursos naturales.

Mientras que la taxonomía básica aquí brevemente discutida permite examinar la naturaleza y el potencial de los eslabonamientos, cabe preguntarse qué factores promueven el desarrollo de los mismos. Se distinguen dos tipos de factores, que son sintetizados en la tabla 16.

TIPO DE ESLABONAMIENTO		DESCRIPCIÓN
Fiscal		A partir de la recaudación impositiva y de las regalías generadas por el sector, el gobierno promueve el desarrollo de actividades que no se vinculan con el recurso natural.
Consumo		Los mayores ingresos generados por la industria extractiva generan demanda de productos elaborados por otros sectores productivos.
Productivo	Hacia atrás	Insumos y procesos desarrollados para la producción del recurso.
	Hacia adelante	Procesamiento y transformación del recurso.
	Horizontes (o laterales o de conocimiento)	El conocimiento, los bienes de capital, y los servicios asociados al sector de recursos naturales son utilizados en áreas que no están directamente vinculadas con dicho sector.

Tabla 15. Taxonomía de eslabonamientos

CATEGORÍA	TIPO	DESCRIPCIÓN
Intrínsecos	Exigencias de la eficiencia productiva	Se relacionan con la capacidad de los actores para ser competitivos a nivel internacional. El nivel de las exigencias en el sector determina las presiones para llevar adelante actividades de tercerización allí cuando resulten convenientes. Esto puede generar oportunidades de eslabonamientos en el entorno local donde se realizan las actividades extractiva, en particular cuando sea relevante la necesidad de operar cerca de proveedores y clientes.
	Especificidad de los depósitos del recurso	La especificidad de los recursos mineros requiere que ciertas actividades necesarias para la identificación y explotación eficiente del recurso se desarrollen localmente. Esto supone una oportunidad para los agentes locales que tienen un conocimiento privilegiado del ambiente.
	Intensidad tecnológica de la extracción y procesamiento del recurso	Las actividades de menor complejidad tecnológica presentan menos barreras a la entrada para los sectores locales (por ej. La provisión de servicios básicos, logística, seguridad, mantenimiento). Sin embargo, en los últimos años, se ha registrado una creciente descentralización en actividades más intensivas en conocimiento en países de menor desarrollo relativo.

CATEGORÍA	TIPO	DESCRIPCIÓN
	Propiedad	<p>Origen: en general las firmas de origen nacional tienen un vínculo más profundo con la economía local y el grado mayor de familiaridad con los proveedores y clientes. Conocen mejor el entorno institucional y están más comprometidas con el desarrollo local que las extranjeras. Por lo tanto, es más probable que generen eslabonamientos más amplios y profundos.</p> <p>Nacionalidad de las firmas: las condiciones que prevalecen en el país de origen de la firma pueden tener importancia en la disposición al riesgo de las subsidiarias en el exterior, los niveles y el origen de contenido importado de los insumos utilizados o como en el caso de las firmas provenientes de países nórdicos. por ej. ciertas reglas éticas de comportamiento.*</p> <p>Atributos específicos de la firma que responden a su propia trayectoria y pueden determinar su disposición a establecer eslabonamientos. Aquí se encuentran por ejemplo, los tipos de capacidades desarrollados, su visión estratégica o si se trata de una firma pionera o no.</p>
Contextuales	Infraestructura (física y social)	<p>Es imponente tanto para la firma exportadora como para el desarrollo local de proveedores y clientes. La relevancia de la infraestructura para el desarrollo de eslabonamientos dependerá de la naturaleza del recurso (que afecta, por ej., las modalidades de exportación). Asimismo, el nivel de especificidad de la infraestructura requerida por el recurso habilitará o no su uso por parte de otros sectores de la economía.</p>
	Capacidades locales y sistemas de innovación	<p>El desarrollo de eslabonamientos requiere que existan en el territorio ciertas capacidades cuya complejidad aumenta a medida que dichos eslabonamientos se vuelven más intensivos en conocimiento. La creación de eslabonamientos locales requiere entonces, contar con recursos humanos debidamente capacitados y con instituciones eficientes que faciliten la creación y difusión de conocimiento dentro del sistema.</p>
	Contexto de política	<p>Además de las políticas dirigidas a mejorar la eficiencia a nivel de firma y facilitar el aprendizaje tecnológico, las políticas a nivel macro y meso (por ej. políticas sectoriales específicas) tienen gran incidencia para determinar las condiciones de localización de eslabonamientos productivos. Una política efectiva requiere, en primer lugar la elaboración de una estrategia realista respecto al desarrollo del sector y, en particular sobre los canales para la promoción de eslabonamientos. En segundo lugar, es necesario que la estrategia esté acompañada por instrumentos de política específicos que estén alineados y se refuerzan entre sí. Asimismo, los gobiernos deben tener las capacidades y la legitimidad para implementar la estrategia diseñada y las políticas que la acompañan. La política debe ser capaz de alinear las visiones y capacidades del sector público-privado y de la sociedad civil (incuyendo a las comunidades que viven en los territorios donde se encuentra el recurso).</p>

Tabla 16. Factores que afectan el desarrollo de eslabonamientos

EXPERIENCIAS INTERNACIONALES DE PROMOCIÓN DE ESLABONAMIENTOS BASADOS EN INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

Entre los países de altos ingresos, Australia o Noruega son casos destacados en materia de experiencias de desarrollo basado en recursos naturales. En gran

medida, los procesos virtuosos que sostienen su desempeño se asientan en la dinámica de encadenamientos e innovación en las industrias extractivas.

En el caso australiano, por ejemplo, el clúster de equipamiento, tecnología y servicios para la minería generaba, en 2012, más de USD 12.000 Millones de exportaciones y otro tanto de ingresos asociados a otras actividades offsho-re. El 75% de las firmas de este sector realizaba alguna forma de I+D, mientras que un tercio de ellas cooperaba con universidades u organismos de investigación.

Un caso similar se observa en Noruega, donde se descubrieron los primeros yacimientos petrolíferos comerciales recién en 1969 y, en un lapso de tiempo relativamente breve, se lograron acumular capacidades ingenieriles e innovativas de clase mundial. También se avanzó fuertemente en materia de contenido local: partiendo de niveles muy bajos en los años setenta, en la actualidad el 50% de los equipos y más del 80% de los servicios de operación y de mantenimiento son provistos localmente. A su vez, casi el 50% de las ventas de las firmas noruegas proveedoras son exportaciones.

El proceso de construcción de estos eslabonamientos y la acumulación de capacidades de innovación estuvieron, en gran medida, impulsadas por políticas específicas.

En el caso noruego, las empresas extranjeras fueron invitadas a entrar en arreglos cooperativos de capacitación e investigación con las universidades nacionales, lo que permitió generar capital humano y programas de formación específicos para el sector. También se introdujeron instrumentos para promover la I+D y la transferencia de tecnología en la industria petrolera, así como exigencias de localización de ciertas actividades innovativas en el país.

En tanto, si bien no existieron mandatos de contenido local mínimo, las empresas extranjeras fueron proclives a contratar proveedores locales, aunque no fueran decisiones eficientes en términos de sus costos, bajo la presunción de que esas iniciativas serían bien vistas por el gobierno de cara a futuras renovaciones de las licencias de explotación. Asimismo, se establecieron normas para asegurar que las empresas locales estuvieran en pie de igualdad para competir y acceder a la información sobre potenciales contratos vis-à-vis los proveedores extranjeros.

En el caso australiano, el menú de políticas incluyó el diálogo público-privado para desarrollar estrategias de generación de capacidades a largo plazo, incentivos para proyectos de innovación y formación de personal, apoyo a la exportación y al desarrollo de capacidades empresariales y cooperación con universidades e institutos de investigación. En este caso, adicionalmente, se exige que todos los proyectos mayores a los USD 500 Millones desarrollen un estudio de impacto que incluya las posibilidades de vinculaciones, transferencia de conocimiento y alianzas estratégicas, así como la comunicación de los resultados respectivos, lo que facilita que las empresas locales tengan oportunidad de convertirse en proveedores de las firmas mineras, para lo cual también reciben asistencia técnica de parte del gobierno.

En el caso de los países en desarrollo, aun cuando, como se mencionó antes, se han abierto nuevas oportunidades para la generación de encadenamientos, los impactos positivos son todavía limitados. Para dar un ejemplo, se ofrecen datos comparativos entre operaciones mineras similares en un país de la OCDE y en otro de ingresos medios-bajos, resaltando el hecho de que las compras locales representan el 58% del gasto operativo en el primer caso y apenas el 12% en el segundo (en contraparte, las compras al exterior son el 6% y el 45%, respectivamente, en cada caso).

Aunque muchos países en desarrollo han tratado de promover los encadenamientos locales derivados de las industrias extractivas (tanto adelante como hacia atrás), hasta el momento parecen ser pocos los casos de éxito, al menos desde una perspectiva integral. En lo que concierne a los encadenamientos hacia atrás, estas iniciativas podrían, en principio, ser beneficiosas también para las propias multinacionales, considerando que los salarios en los países receptores suelen ser menores que los que se pagan al personal expatriado y que habría también ganancias potenciales de costos y tiempos de entrega en un marco de mayores conexiones con proveedores locales.

Sin embargo, en general, las políticas de contenido local mínimo de carácter obligatorio parecen no haber funcionado bien debido a que son pocas las firmas que cuentan con el capital humano, la tecnología y la información requeridas para convertirse en proveedores eficientes de las multinacionales que dominan las industrias extractivas.

Las iniciativas que buscan promover el desarrollo de capacidades en los proveedores potenciales parecen más prometedoras, pero sus impactos todavía son limitados, como se verá más abajo para el caso de América Latina.

Con frecuencia, también se ha buscado estimular el procesamiento local de las materias primas imponiendo restricciones a su exportación y/o mediante la promoción de proyectos en industrias aguas abajo (petroquímica, siderurgia, entre otras). Estas estrategias muchas veces han encontrado obstáculos en materia de escala de mercado y barreras comerciales en los destinos potenciales.

La evidencia muestra también que raramente funcionan por sí solas en ausencia de otras capacidades complementarias, como por ejemplo, el acceso a energía, tecnología o financiamiento. Asimismo, cabe recordar que muchos de estos sectores aguas abajo son industrias maduras, donde prevalece la competencia vía precios, se genera poco empleo directo y cuyas dinámicas innovadoras no son particularmente intensas.

Así, no sorprende que en los mencionados casos de Australia y Noruega ninguno de los gobiernos respectivos promoviera el desarrollo de este tipo de encadenamientos, por considerar que no existían las capacidades necesarias para generar sectores competitivos.

Es importante, asimismo, destacar que el diseño y puesta en marcha de políticas que promuevan los encadenamientos y la innovación asociados a las industrias extractivas exige entender el funcionamiento de las cadenas globales de valor y los mecanismos de gobierno prevalecientes en ellas, así como las estrategias de las multinacionales que lideran dichas cadenas, ello es clave para identificar las oportunidades para ingresar y escalar posiciones en la división de tareas al interior de cada cadena e incluso para conocer mejor cuál es el espacio existente para ampliar la base de proveedores locales en las diferentes industrias.

Finalmente, dado el carácter territorialmente delimitado de la explotación de los recursos extractivos, no sorprende que exista una exten-

sa literatura que replica a escala subnacional la discusión sobre las temáticas antes mencionadas para el territorio nacional. En este punto, cabe destacar que si bien los proyectos extractivos generan algunos impactos positivos a nivel local (por ejemplo, empleos y recursos fiscales), y pueden ayudar a mejorar la infraestructura, en particular de transporte y energía, también es allí donde se concentran los efectos negativos sobre el medio ambiente y las comunidades.

Más aún, los impactos positivos en materia de empleo indirecto y desarrollo de proveedores en los territorios donde se llevan adelante las actividades extractivas son usualmente pequeños, ya que a menudo se trata de zonas rezagadas en cuanto a disponibilidad de capacidades e infraestructura, al menos en los países en desarrollo.

En América Latina y el Caribe distintos países han llevado adelante iniciativas que apuntan a promover los eslabonamientos generados por las industrias extractivas, así como las actividades de innovación en torno a dichas industrias, muchas veces en esquemas de asociación público-privados o a través del estímulo a la creación de redes de conocimiento. En la tabla 17, se enumeran algunos de los programas identificados en CEPAL (2016) para el caso del sector minero.

Se puede agregar que en Brasil, desde fines de los años noventa, se crearon diversos fondos sectoriales, dos de los cuales se vinculan directamente con las industrias extractivas, a saber, el de minería y el de petróleo y gas. Ambos están fondeados con una porción de las regalías y tributos que pagan las empresas de cada sector, y su objetivo es financiar proyectos de desarrollo tecnológico e innovación.

En el período más reciente, en Chile se observó un avance aún más articulado con el objetivo de impulsar el desarrollo tecnológico y productivo en el sector minero a través del lanzamiento del Programa Nacional de Minería Alta Ley en 2015. Este programa fue el resultado de diversos esfuerzos de diagnóstico y elaboración de propuestas en el marco de una iniciativa público-privada impulsada por CORFO y el Ministerio de Minería. A partir de este ejercicio se definió una *“hoja de ruta”* tecnológica hasta el año 2035, que identifica ocho prioridades tecnológicas, incluyendo:

- *Minería subterránea/minería profunda a gran escala*
- *Mejora de la competitividad de fundiciones y refinerías*
- *Identificación y minimización de impactos de relaves*
- *Mejoras de productividad*
- *Desarrollo de proveedores intensivos en conocimiento*
- *Potenciar la actividad de exploración*
- *Minería inteligente*

Desarrollo de proveedores y contenido local

En Brasil, La Agencia Brasileña de Desarrollo Industrial (ABDI) trazó un mapa de la cadena de proveedores de bienes y servicios de la minería para elaborar la propuesta de un programa de desarrollo de proveedores en el marco del Plan Nacional de Minería 2030. En México el Plan de Desarrollo Minero incentiva el desarrollo de proveedores a través del Fideicomiso del Fomento Minero (FIFOMI), que otorga financiamiento, capacitación y asistencia técnica. En Chile, se creó el Programa de Proveedores de Clase Mundial en base a un proyecto privado inicial de BHP Billiton, al cual luego se sumaron CODELCO *y La Fundación Chile, que apunta a desarrollar proveedores intensivos en conocimiento y soluciones tecnológicas que puedan ser escaladas a otros sectores y mercados. En 2009, la empresa Vale lanzó un programa específico de desarrollo de proveedores para sus operaciones en Brasil (Inove), con herramientas de financiamiento, capacitación y creación de rondas de negocios. El programa se localiza en PyMEs y se implementa en asociación con entidades locales de crédito, formación y asociaciones empresariales, incluyendo el Servicio Brasileño de Apoyo a las Micro y Pequeñas Empresas (SEBRAE). Algunos países han intentado fijar metas de contenido local obligatorio, como el caso de Brasil, donde en 2013, se envió un proyecto de ley para aplicar dichas metas en el caso de la minería (el cual finalmente no fue aprobado), siguiendo regulaciones ya vigentes desde 1999 en aquel país para el caso de los hidrocarburos.

Innovación

En 2009, se creó en Chile el Centro Avanzado de Tecnología para la Minería, articulando representantes de la academia y el sector empresario. Este centro cuenta con apoyo público y privado para desarrollar proyectos innovadores y, al presente cuenta con cerca de 170 investigadores y 10 laboratorios. En México, el FIFOMI otorga financiamiento para proyectos de desarrollo de nuevas tecnologías para la minería, incluyendo objetivos de preservación ambiental. En Brasil se lanzó, con participación de la Financiadora de Estudios y Proyectos (FINEP) y el BNDES, el programa Inova Mineral, el cual se focaliza en el desarrollo de tecnologías en las cadenas de valor de los minerales definidos como "portadores de futuro" (cobalto, grafito, litio, molibdeno, grupo del platino, niobio, tierras raras), en aquellos en los que el país tiene elevado déficit comercial (fosfato y potasio) y en la minimización del impacto ambiental de las operaciones mineras (hay un programa similar para el sector petrolero, Inova Petróleo).

Industrialización

Chile está impulsando una estrategia para mejorar su posicionamiento en la refinería y fundición del cobre, apuntando a aumentar la eficiencia, disminuir el impacto medio ambiental y mejorar las condiciones laborales a través de proyectos de desarrollo tecnológico. La Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) la empresa pública encargada de administrar la cadena productiva de la minería de aquel país- ha implementado inversiones para avanzar en la cadena minero-metalúrgica a través de la nacionalización y modernización de una metalúrgica de esteño y de la puesta en marcha de una fundición de complejos de plomo-plata que había estado inactiva en los últimos 30 años. Por otra parte, el proyecto de explotación de Litio en el Salar de Uyuni busca desenrollar toda la cadena de valor hasta la fabricación de baterías de ion-litio.

Tabla 17. Factores que afectan el desarrollo de eslabonamientos

Uno de los pilares de esta hoja de ruta es el mencionado Programa de Proveedores de Clase mundial. Dicho programa alcanzó a involucrar cerca de 90 firmas hasta 2014, que implementaron un número similar de soluciones tecnológicas trabajando en conjunto con las empresas mineras demandantes. Sin embargo, durante su aplicación surgieron problemas de alineamiento de incentivos entre los distintos stakeholders (empresas productoras, universidades, proveedores potenciales), así como dificultades por parte del gobierno para realizar una coordinación efectiva, lo cual limitó sus impactos. En este escenario, uno de los objetivos que se buscan es escalar los impactos de la iniciativa tratando de abordar las limitaciones mencionadas. La experiencia de este programa refleja una realidad más amplia. En efecto, la evidencia disponible sugiere que los encadenamientos productivos y de conocimiento generados por las industrias extractivas en la región son relativamente modestos y, en general, avanzan poco hacia las tareas tecnológicamente más complejas, donde se enfrentan a la competencia con proveedores internacionales ya establecidos.

Incluso, cuando se logra avanzar en esta dirección, las actividades más intensivas en conocimiento no se llevan adelante en los territorios donde se explotan los recursos, sino en los grandes centros urbanos. Los encadenamientos locales se limitan a bienes y servicios de baja intensidad tecnológica, alentados en todo caso por políticas de desarrollo comunitario o responsabilidad social corporativa.

En este marco, las políticas de impulso al desarrollo de proveedores y la innovación en las industrias extractivas han tenido, en general, impactos limitados. Esto es el resultado de la combinación de uno o más de los siguientes factores:

- *Recursos insuficientes o inestables en el tiempo.*
- *Ausencia de capacidades locales.*
- *Dificultad para alinear la agenda de incentivos entre los distintos agentes involucrados.*
- *Falta de mecanismos efectivos de coordinación, incluso al interior de los propios gobiernos.*

No sorprende, entonces, que la región aún se encuentre rezagada en materia de promoción de encadenamientos y alcance de las actividades innovativas frente a las naciones desarrolladas ricas en recursos naturales no renovables como Australia o Noruega.

ARGENTINA EN EL ESCENARIO GLOBAL DEL LITIO

Como se ha señalado, el creciente interés por el litio ha generado expectativas por el potencial económico del “*triángulo del litio*”. Entre los países que forman parte de este espacio, la Argentina es el que actualmente ofrece mayores oportunidades para la generación de nuevas actividades de exploración y explotación, en particular gracias a que el marco normativo que regula la explotación del litio es más abierto a la inversión que el de los vecinos del triángulo.

Como se verá con mayor detalle en capítulos siguientes, Bolivia, que es el país que concentra el segundo mayor volumen de recursos en el mundo según la última información del U.S. Geological Service (USGS), decidió reservar para el Estado nacional la explotación de los salares, así como la industrialización y comercialización de sus recursos.

Chile, por su parte, reservó en 1979 el litio para el Estado, luego de haber declarado el carácter estratégico del recurso, en 1976, por ser un elemento con “*interés nuclear*”. Quedaba exceptuado de esta restricción el litio existente en pertenencias mineras constituidas o en trámite de constitución antes del 1º de enero de 1979, condición en que se encontraba la propiedad minera de CORFO en el salar de Atacama y las de CODELCO en salares de Pedernales y Marincunga. Las dos empresas que actualmente producen litio en este país lo hacen mediante contratos con CORFO. La evolución de la actividad litífera en Argentina durante los últimos años se refleja en las cuentas de exportación de carbonato y cloruro de litio (grafico 23,24 y 25) que, aunque son relativamente pequeñas en relación a las exportaciones totales (0,3%) e, incluso, del sector minero (5.4%), se han cuadruplicado entre 2010 y 2017.

Este aumento se ha dado, fundamentalmente, a partir del aumento en el precio, ya que las cantidades han comenzado a subir recién a partir de la puesta en marcha de la planta de Sales de Jujuy en 2015. Cabe destacar, sin embargo, que a pesar de que los volúmenes sean bajos a nivel nacional, no resultan nada despreciables para las provincias donde se localiza el recurso.

En el caso de Jujuy las exportaciones de cloruro y carbonato de litio representaron el 16% del total exportado en 2016 lo que, seguramente, aumentará notablemente con la puesta en marcha del proyecto de Minera Exar, mientras que en Catamarca se ha alcanzado un pico de 10% en 2015.

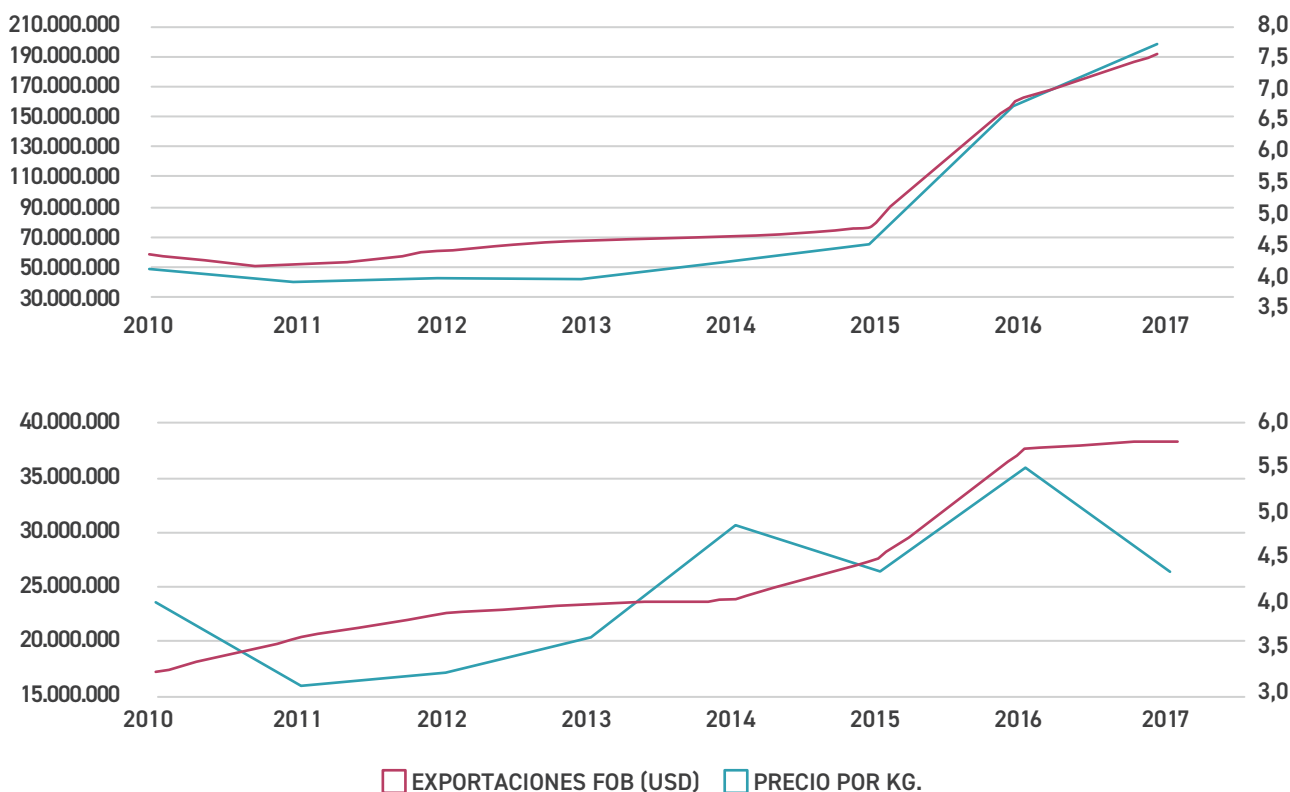


Gráfico23. Evolución de valor (eje izquierdo) y precio medio (eje derecho) por kg de exportaciones argentinas de carbonato de litio (FOB en USD) 2010 - 2017.

Gráfico 24. Evolución de valor (eje izquierdo) y precio medio (eje derecho) por kg de exportaciones argentinas de cloruro de litio (FOB en USD) 2010 - 2017.

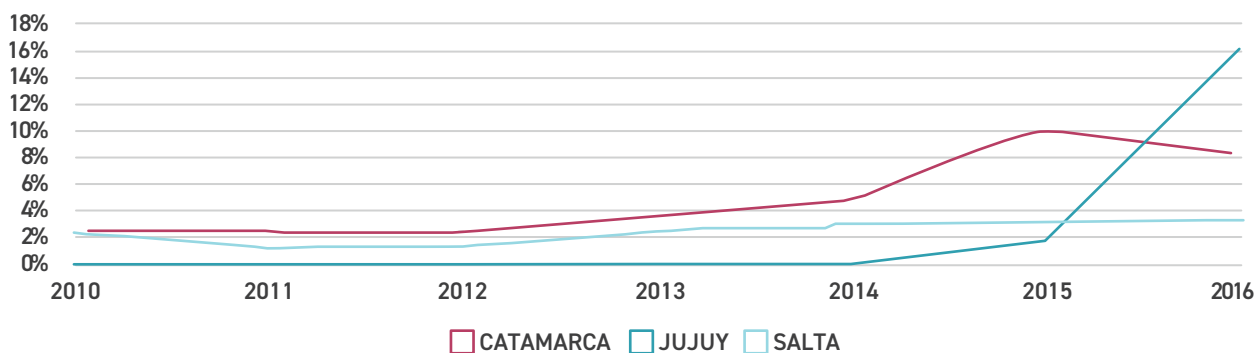


Gráfico25. % participación relativa del litio en las exportaciones de cada provincia

*Datos provisionales

En este contexto, las firmas beneficiadas con permisos de exploración en 15 salares en las provincias de Catamarca, Jujuy y Salta, en el Noroeste del país, intensificaron sus actividades en años recientes, lo que ha llevado a un aumento de las reservas de litio de la Argentina. Esto ciertamente refuerza las expectativas sobre el potencial del país. De acuerdo al Ministerio de Energía y Minería de la República Argentina (MINEM), actualmente hay en la Argentina un gran número de proyectos para la operación de salares y/o lagunas de litio distribuidos en las provincias mencionadas más arriba y 5 proyectos en estado de exploración en distritos pegmatíticos Catamarca, Córdoba, Salta y San Luis. Solo dos de estos proyectos se encuentran en fase de producción a escala industrial, mientras que otro está en fase de construcción (en todos los casos con base en salares). El resto se encuentra entre la etapa de prospección y de estudio de factibilidad.

Sin embargo, es importante destacar que no es factible que en el corto plazo se observe un crecimiento explosivo de la producción. El proceso que va desde la exploración a la producción de carbonato de litio en salares comprende distintas fases que se desarrollan en un período mínimo estimado de unos 7 años que puede estirarse a 10, considerando la puesta a punto del proceso productivo. En las fases de exploración y factibilidad se evalúan las reservas, las características del salar y el potencial económico para la explotación. Luego, si se verifican condiciones adecuadas, se avanza a las fases de construcción de una planta piloto y, más tarde, de la planta a escala industrial, lo que supone una elevada inversión en infraestructura.

Una vez que la planta a escala industrial entra en operaciones, la curva de crecimiento de la producción de carbonato de litio puede sufrir demoras, puesto que, especialmente en el caso de los salares, el proceso está sujeto a ajustes para obtener los volúmenes y la calidad de producto requerida por los clientes.

Por ello, no resulta extraño que, a pesar de las expectativas que ha generado el litio en el país, solo dos empresas se encuentren en fase operativa: i) Minera del Altiplano, una subsidiaria de FMC Lithium Corp., que opera el Salar del Hombre Muerto (Catamarca), desde 1998; y Sales de Jujuy, un joint venture entre la empresa australiana Orocobre (66,5% del capital), la japonesa Toyota

Tsusho Corporation (25%) y la firma del Estado provincial jujeño, Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado (JEMSE) 8,5% del capital, que opera el Salar de Olaroz desde 2015.

Luego, existe otro emprendimiento en fase de construcción en el Salar de Olaroz-Caucharí (Jujuy), a cargo de Minera Exar, un joint-venture que conforman en partes iguales la firma chilena Sociedad Química y Minera de Chile S.A. (SQM) y la canadiense Lithium Americas, que también cuenta con una participación minoritaria del 8,5% de JEMSE37.

De acuerdo a los datos de 2017, la producción de Minera del Altiplano y Sales de Jujuy fue de 15.153 TN y 11.392 TN, respectivamente esta última tiene una capacidad de producción de 17.000 TN por año. En el caso de la operación de Minera Exar se prevé, en su fase inicial, una capacidad de producción de 25.000 TN al año.

Las estimaciones de MINEM (2017) indican que, de acuerdo al ritmo con el que las empresas llevan adelante sus proyectos, el incremento en la capacidad de producción de litio sería de 388% entre 2017 y 2022 –de 37.500 a 145.500 TN de carbonato de litio equivalente. Sin embargo, estas proyecciones resultan demasiado optimistas en la visión de otros actores. Deutsche Bank (2016), por ejemplo, estima que en 2022 la producción alcanzaría las 45.000 TN anuales y en 2025 las 95.000 TN.

Como se ha señalado, entre las provincias argentinas que integran el triángulo del litio, ha sido Jujuy la que ha adoptado una posición más activa para generar mecanismos orientados a potenciar el impacto del litio sobre las condiciones de desarrollo de la provincia. Específicamente, la provincia ha buscado promover este proceso mejorando las condiciones de apropiación de la renta minera y fomentando el desarrollo de las capacidades tecnológicas y productivas en torno al litio –y, más en general, en materiales avanzados y almacenamiento de energía, tal como se desprende del nombre elegido para el instituto de triple dependencia del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICET) creado en Palpalá: Centro de investigación y Desarrollo en Materiales Avanzados y Almacenamiento de Energía de Jujuy (CIDMEJU).

El marco normativo para avanzar en dicha dirección quedó establecido en el Decreto-Acuerdo N° 7592, que declara las reservas minerales de litio como recurso estratégico y crea un “Comité de Expertos para el análisis integral de proyectos de litio”. Asimismo, a través del Decreto de Necesidad y Urgencia N° 7626 del Poder Ejecutivo, se crea la empresa provincial JEMSE, con competencias para llevar a cabo por sí, o a través de terceros, tareas de generación, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica, hidrocarburos líquidos y/o gaseosos y/o realizar actividades de comercio vinculadas como bienes energéticos, y desarrollar cualquiera de las actividades previstas en su objeto, tanto en el país como en el extranjero.

Es en este marco que JEMSE ha negociado una participación accionaria de 8,5% en las empresas que operan los salares, lo cual le da derecho a tener la prioridad de venta sobre una cuota del 5% del carbonato de litio producido por aquellas. Así, la cuota de JEMSE en el caso de Sales de Jujuy que representaría unas 875 TN de LCE cuando la empresa alcance su máxima capacidad de producción actual le ha dado a la provincia un instrumento para que ésta negocie con actores externos la localización de actividades productivas para “agregar valor” al litio.

Como se verá con mayor detalle, con este fin JEMSE ha firmado un acuerdo con el grupo italiano SERI para avanzar en la construcción de una planta de ensamblado de baterías de ion litio que, según el plan de negocios trazado, debería llegar a producir celdas y material activo para baterías en la provincia.

Asimismo, en el ámbito del sistema de ciencia y tecnología (CyT), en 2015 se creó el ya mencionado CIDMEJU, comúnmente conocido como “Instituto del Litio”. Se trata de un organismo dependiente del CONICET, de la Universidad Nacional de Jujuy (UNJU) y del gobierno de la provincia de Jujuy (representado a través de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la provincia). Las instalaciones del CIDMEJU, inauguradas en agosto de 2017, se ubican en la ciudad de Palpalá, a unos 15 km de San Salvador de Jujuy.

Si bien el centro tiene una fuerte focalización sobre el litio, como se ha señalado, su ámbito de interés excede este recurso en particular, abarcando las técnicas de extracción de otros recursos presentes en los salares, la ciencia de materiales y las aplicaciones energéticas. Sus objetivos se orientan a la I+D, la formación de recursos humanos y las tareas de transferencia tecnológica en los ámbitos de extracción e industrialización de recursos extraídos de los salares.

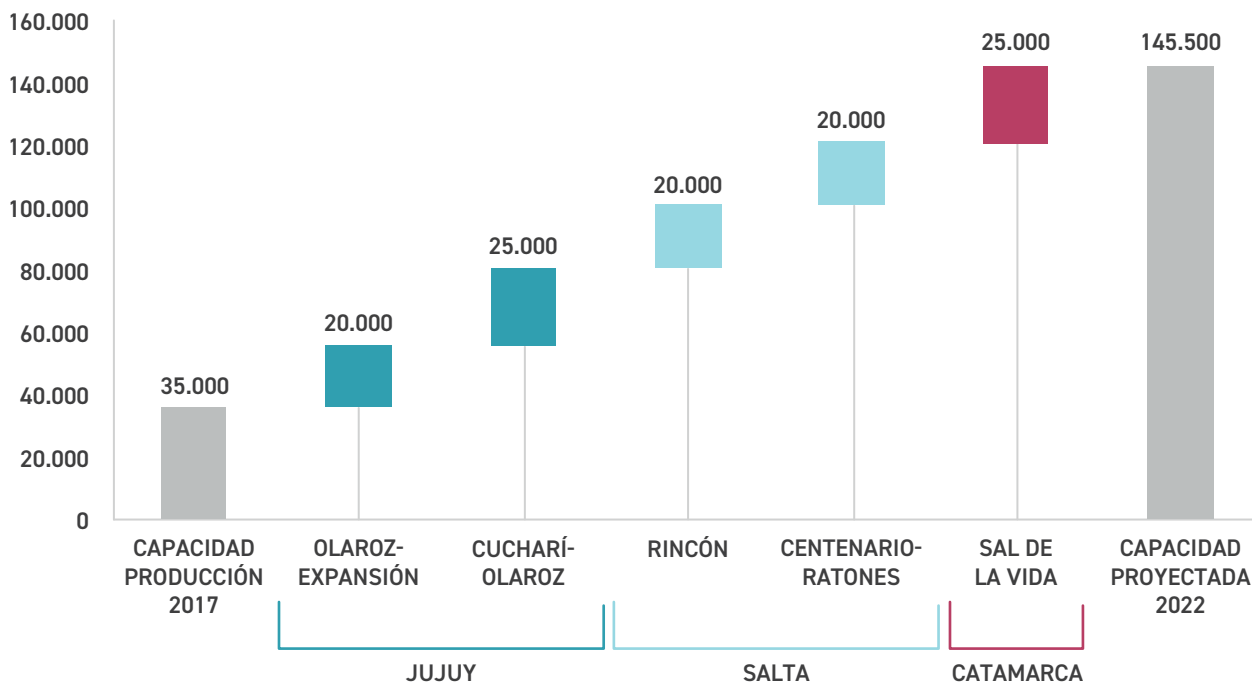


Gráfico26. Proyección de la capacidad de producción argentina de litio de acuerdo al MINEM (en miles de TN, carbonato de Litio Equivalente)

LITIO AGUAS ARRIBA: EXPLORACIÓN, EXTRACCIÓN Y PRODUCCIÓN

Recursos, reservas y producción: el escenario internacional y nacional

FUENTES Y PROCESOS DE EXTRACCIÓN

La mayor parte de las reservas mundiales de litio se concentran en salares de cuenca cerrada (grafico 27) El litio disuelto aparece en concentraciones de hasta unas pocas miles de partes por millón en las salmueras que conforman los acuíferos libres y confinados en los salares.

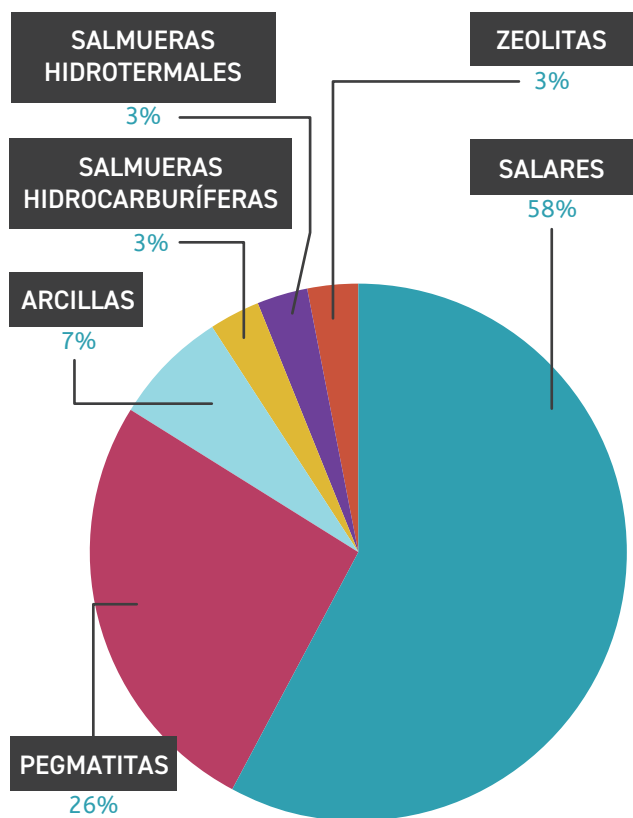


Gráfico 27. Distribución de las reservas de litio según tipo de depósito

El litio se acumula con el tiempo por la erosión de las rocas que contenían pequeñas cantidades del material. La extracción de estos depósitos se realiza a partir del bombeo de la salmuera, donde se concentra por evaporación en una serie de estanques solares. Esta solución rica en litio se procesa luego en carbonato de litio o hidróxido de litio.

La segunda fuente de litio son las pegmatitas, que explican el 26% de las reservas mundiales. La mayoría de las pegmatitas está compuesta por granito, que contiene cuarzo, feldespato y mica. Algunas pegmatitas, denominadas “LCT” (litio-cesio-tántalo), están enriquecidas en metales raros como litio, cesio y tántalo.

Son precisamente las pegmatitas LCT, tanto en pozos abiertos como en minas subterráneas, aquellas de las que se obtiene el litio. El mineral más importante que contiene litio es la espodumena.

El mundo tiene cientos de depósitos de pegmatita LCT, pero solo unos pocos producen litio en la actualidad. Los de mayor tamaño se ubican en Australia, Zimbabue, Brasil, China y Portugal. Por su parte existen recursos de pegmatitas en otros países como Afganistán, Austria, Canadá, Chile, República Democrática del Congo, Finlandia, Irlanda, Rusia, España, Estados Unidos, y Uzbekistán.

En cuanto a las locaciones de otros tipos de fuentes, existen recursos de litio en pizarras negras en Canadá, salmueras en campos petroleros en Canadá y Estados Unidos, greisen/ aplita en Francia, arcilla (hectorita, polilithionita) en México, arcilla (hectorita) en Estados Unidos, sedimento lacustre alojado en Serbia, y salmuera geotermal en Estados Unidos.

En 2017 las reservas de litio a nivel mundial sumaban 16 Millones de toneladas métricas (U.S. Geological Service, 2018). Como se observa en el gráfico 28, apenas cuatro países: Chile, China, Argentina y Australia concentran casi la totalidad de las reservas mundiales de litio.

Aunque Bolivia es uno de los países con mayores reservas potenciales de litio, estas aún no han sido cuantificadas. También existen recursos de salmuera en Afganistán, Canadá (en campos petroleros) y Mongolia.

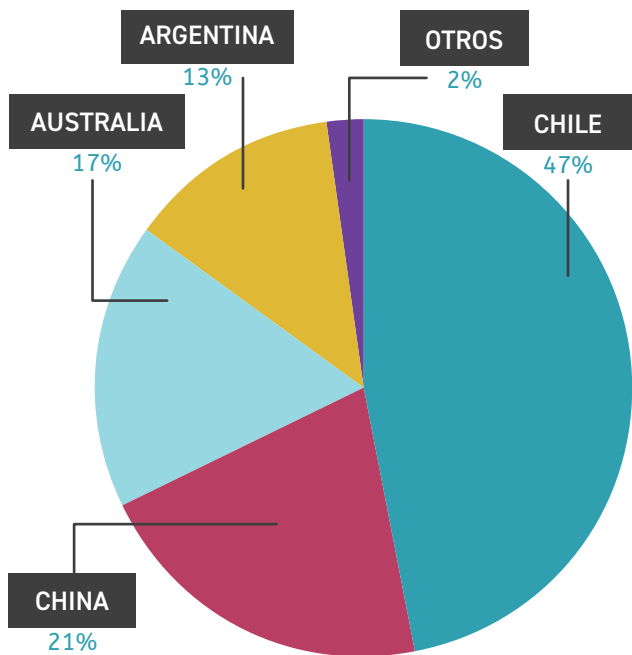


Gráfico 28. Distribución geográfica de las reservas de litio del mundo (en miles de TN)

PRODUCCIÓN

En 2016, Australia, Chile, Argentina y China aportaban el 94% de la producción mundial de litio (gráfico 29).

Durante casi dos décadas la mayor parte del litio del mundo fue producido por unos pocos oferentes que todavía dominan el mercado (gráfico 30): Albemarle (Estados Unidos), Sociedad Química y Minera de Chile referida usualmente como SQM o Soquimich, y FMC Corporation (Estados Unidos).

En los últimos años algunas empresas de origen chino han ganado presencia como productoras de litio. En particular, se destaca Tianqi Lithium, que opera, junto a Albemarle, la mina de litio más grande de Australia, Greenbushes.

SQM explota actualmente el Salar de Atacama (Chile). Posee oficinas en más de 20 naciones y clientes en 110 países. La firma cuenta con cinco áreas comerciales, que van desde litio y sus derivados hasta potasio y nutrición vegetal especializada. Además de sus operaciones en Chile, SQM tiene, desde 2016, un joint-venture (Minera Exar S.A.) con la canadiense Lithium Américas para desarrollar el proyecto de li-

tio Cauchari-Olaroz en la Argentina, que entraría en producción en 2020. Esta ha sido la primera inversión de SQM en litio fuera de Chile.

Albemarle emplea a 5.000 personas y cuenta con clientes en 100 países en todo el mundo. Además de litio, Albemarle produce bromo y brinda soluciones de refinación y servicios de química para empresas farmacéuticas. La compañía posee operaciones de salmuera de litio en Estados Unidos (Silver Peak) y Chile (Salar de Atacama), y mantiene una participación del 49% en Talison Lithium que opera en Greenbushes (Australia).

En septiembre de 2017, Albemarle anunció el desarrollo de una nueva tecnología que le permitiría aumentar la producción en su mina de litio en Chile en hasta 125.000 TN anuales de LCE sin necesidad de bombeo adicional de salmuera. A la luz de esta innovación, Albemarle ha solicitado a CORFO un aumento en su cuota de litio.

FMC emplea más de 7.000 personas en todo el mundo, y posee oficinas en 45 países. Produce litio desde 1997 en el Salar del Hombre Muerto, en la Argentina. En octubre de 2016, FMC firmó un acuerdo de provisión de carbonato de litio a largo plazo con la canadiense Nemaska Lithium, por el que, a partir de mediados de 2018, Nemaska suministraría a FMC 8.000 TN de ese material por año. A principios de enero de 2018 FMC anunció que expandiría la producción en la Argentina en los próximos años, y se espera que aquella supere las 40.000 TN de LCE anuales.

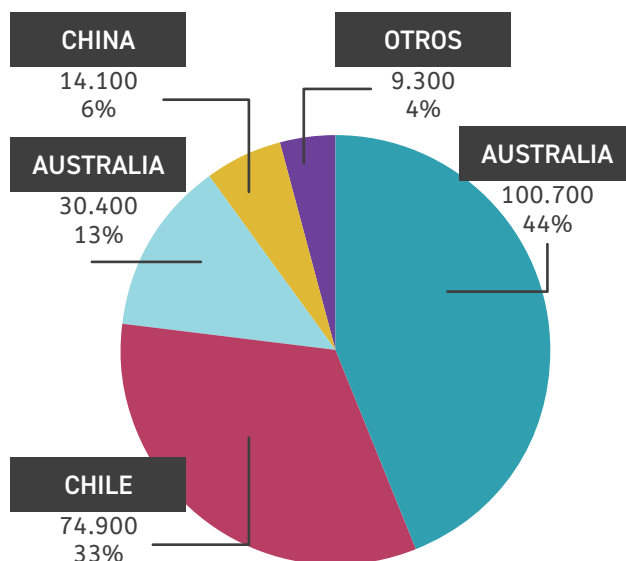


Gráfico 29. Distribución de la producción mundial estimada de litio (LCE) por país (2017)

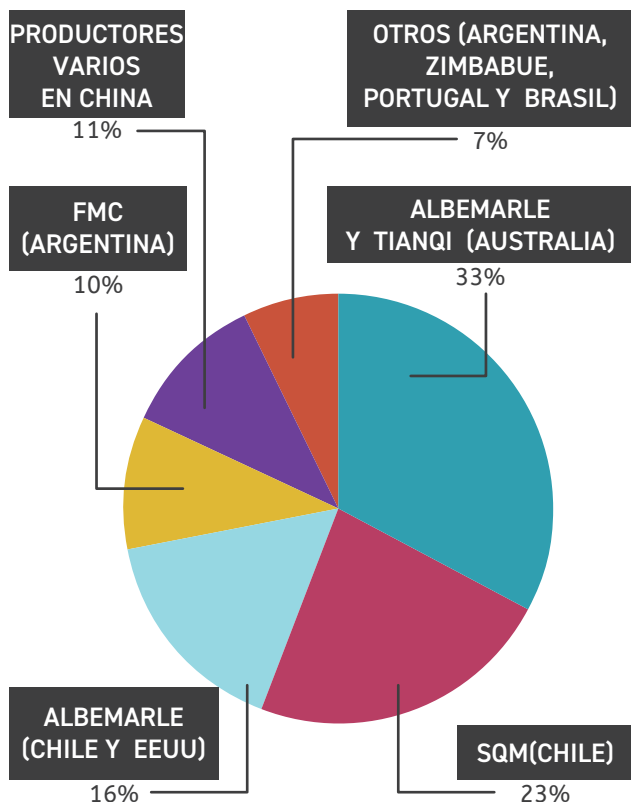


Gráfico 30. Principales productores de litio (2015)

Tianqi Lithium es una filial de Chengdu Tianqi Group, con sede en China. La estrategia de la compañía se concentra en avanzar en la cadena de procesamiento de litio hasta llegar a la producción de baterías, para lo cual es crucial asegurar el suministro de la materia prima. Es el productor de litio a partir de roca dura más grande del mundo. En septiembre de 2016, Tianqi pagó USD 209,6 Millones por una participación del 2,1% en SQM. En octubre de 2017, la firma anunció una inversión de USD 300 Millones para una segunda etapa de expansión de su planta de procesamiento australiana (Greenbushes). Se espera que para finales del segundo trimestre del 2019 esta expansión duplique la capacidad anual a 48.000 TN.

Otros productores relevantes a escala global incluyen las chinas Jiangxi Special Electric Motor, Sichuan Yahua Industrial Group y Youngy y las australianas Galaxy Resources, Neometales y Oro cobre.

Oro cobre es de particular relevancia para la Argentina ya que opera desde 2015 el proyecto Olaroz

en Jujuy. Debido a que las fuentes de datos disponibles al presente no permiten realizar una representación comparativa de producción por empresa más allá de 2015, Oro cobre no aparece en el gráfico 30. No obstante, en el informe presentado por Oro cobre a sus inversores correspondiente al último trimestre de 2017 se reporta que en el año financiero concluido en junio de 2017 el proyecto produjo 11.862 TN de carbonato de litio como se mencionó antes, la capacidad de producción de la planta alcanza las 17.500 TN de carbonato de litio anuales. Según se informa, durante el segundo semestre de 2019 estarían completas las obras destinadas a ampliar esta capacidad, alcanzando 42.500 TN anuales de carbonato de litio.

TECNOLOGÍAS DE EXTRACCIÓN

Existen actualmente dos fuentes principales de litio con modalidades de extracción dominantes en cada uno de los casos.

Una de ellas corresponde a la conversión de minerales pegmatíticos principalmente espodumeno, petalita y lepidolita, cuyo principal productor es Australia.

La segunda tecnología dominante es la de evaporación solar, utilizada tradicionalmente en salares. Las ventajas de la extracción de litio a partir de minerales pegmatíticos respecto a la explotación de salares radican en la menor dependencia de los factores meteorológicos y climáticos, así como también en los tiempos más breves para la obtención inicial del recurso.

Sin embargo, según se estima, los costos operativos (OPEX) de este tipo de explotaciones, donde se utilizan procesos hidro-metalúrgicos, se ubicaban, en 2016, en torno a los USD 4.500 por TN es decir, por encima del OPEX que prevalece en la explotación de salares, calculado entre USD 2.500-3.000 por TN en el caso del salar de Atacama.

En comparación con las técnicas de extracción utilizadas actualmente en salares, el proceso de reducción del mineral requiere realizar perforaciones, voladuras, trituración, calentamiento y separación física del recurso, es intensivo en el consumo de energía y hace uso de una mayor cantidad de reactivos.

En el caso de los salares, la principal ventaja, con relación a la obtención a partir de minerales, radica en un OPEX menor, así como también en un impacto ambiental relativamente bajo especialmente cuando se lo compara con la minería y procesamiento de otros metales como el oro, la plata o el plomo. Sin embargo, como contrapartida, los costos de capital (CAPEX) son más elevados. De acuerdo a la empresa de servicios de ingeniería Worley Parsons, el CAPEX de proyectos de litio en salares, ejecutados entre 2017 y 2018, y con capacidad de producción entre 20.000 y 35.000 TN anuales, se encontraba entre USD 400 Millones y USD 500 Millones. Asimismo, los tiempos requeridos para las fases de prospección y piloto pueden extenderse por un período de 10 años, mientras que también los tiempos para la cosecha del litio son muy largos, alcanzando entre 12 y 24 meses. El proceso es altamente dependiente de factores climáticos y meteorológicos, en particular de las precipitaciones y el potencial de evaporación.

Otro de los problemas que presenta esta tecnología es que arroja como residuos sales impuras de sodio, magnesio y calcio. En su reciente revisión crítica de los métodos para la obtención del litio, señalan que el desarrollo de nuevos métodos para la obtención de litio a partir de salares tampoco parece prestar atención al tratamiento de los residuos derivados del proceso de recuperación. Las preferencias sobre esta cuestión parecen orientarse hacia la reinyección de dichos residuos en acuíferos subterráneos.

Dado el desconocimiento de la hidrogeología de los salares, esta práctica implicaría un alto riesgo de disolución del recurso, como consecuencia de una posible infiltración entre pozos de extracción. Asimismo, el proceso supone la pérdida de grandes volúmenes de agua que, aun cuando por sus elevados niveles de salinidad no son aptos para consumo o irrigación, potencialmente podrían ser recuperados para otros fines.

El gráfico 31 presenta un diagrama de flujo de la producción de compuestos de litio y subproductos (por ejemplo, cloruro de potasio e hidróxido de calcio). Este proceso requiere someter la salmuera extraída a distintas etapas de evaporación que tienen lugar en piletas, en las que se agrega cal para precipitar cloruro de sodio y cloruro de potasio junto a otras sales hasta que se alcanza un contenido de litio de 6%.

El procesamiento de compuestos de litio (carbonato, cloruro, hidróxido) continúa en una planta

industrial, con un proceso químico donde se utilizan reactivos para extraer nuevos residuos y alcanzar la pureza deseada.

Actualmente, se encuentran en proceso de desarrollo tecnologías alternativas que pretenden atenuar algunas de las desventajas que presentan cada uno de los métodos más utilizados.

Si bien algunos de estos desarrollos se basan en trabajos que, en muchos casos, fueron realizados hace décadas, las perspectivas de demanda creciente del recurso han generado incentivos que dieron nuevo impulso a estos esfuerzos.

En esencia, en el caso de los procesos a partir de minerales, se busca disminuir los OPEX, mientras que en el caso de los evaporíticos, se apunta a reducir los CAPEX, acortar los tiempos de cosecha y bajar los volúmenes de agua evaporada.

En el terreno de las explotaciones a partir de minerales de silicato, la firma Lithium Australia ha desarrollado un proceso al que ha denominado “*Sileach*” que evitaría el proceso de tostado del mineral, lo que le permitiría utilizar menos energía. El mismo consiste en el uso de una solución de ácido sulfúrico como reactivo y de una preparación elaborada por la firma para disolver el litio del mineral de espodumeno.

Lithium Australia sostiene que el proceso tendría un costo inferior a los USD 3.000 por TN, lo que lo ubicaría en un nivel comparable con el de las operaciones más eficientes en salares. Asimismo, el proceso permitiría reducir el tiempo para la obtención de litio a unas 4 horas. A comienzos de 2018 la empresa anunció la construcción de una planta piloto con una capacidad de producción de unas 2.500 TN LCE anuales.

Otra técnica corresponde a la firma estadounidense Simbol, que ha desarrollado una tecnología capaz de extraer carbonato de litio de máxima pureza a partir de depósitos hidrotermales, un subproducto de plantas de energía geotérmicas.

El proceso empleado sería el de “*osmosis inversa*” y obtendría, además de litio, manganeso y zinc.

La transformación de estos productos utiliza derivados del proceso de las plantas de energía, como dióxido de carbono, aguas residuales y condensadas.

La empresa australiana Neometals desarrolló el proceso ELI, que convierte concentrado de esp-

dumeno en una solución de cloruro de litio de alta pureza. El método toma el litio a partir de minerales, le agrega ácido hidrocloídrico y, mediante electrólisis, separa litio para formar hidróxido y carbonato de litio. Esta variante es intensiva en energía, lo que puede volverla muy costosa allí donde este insumo tenga un precio elevado.

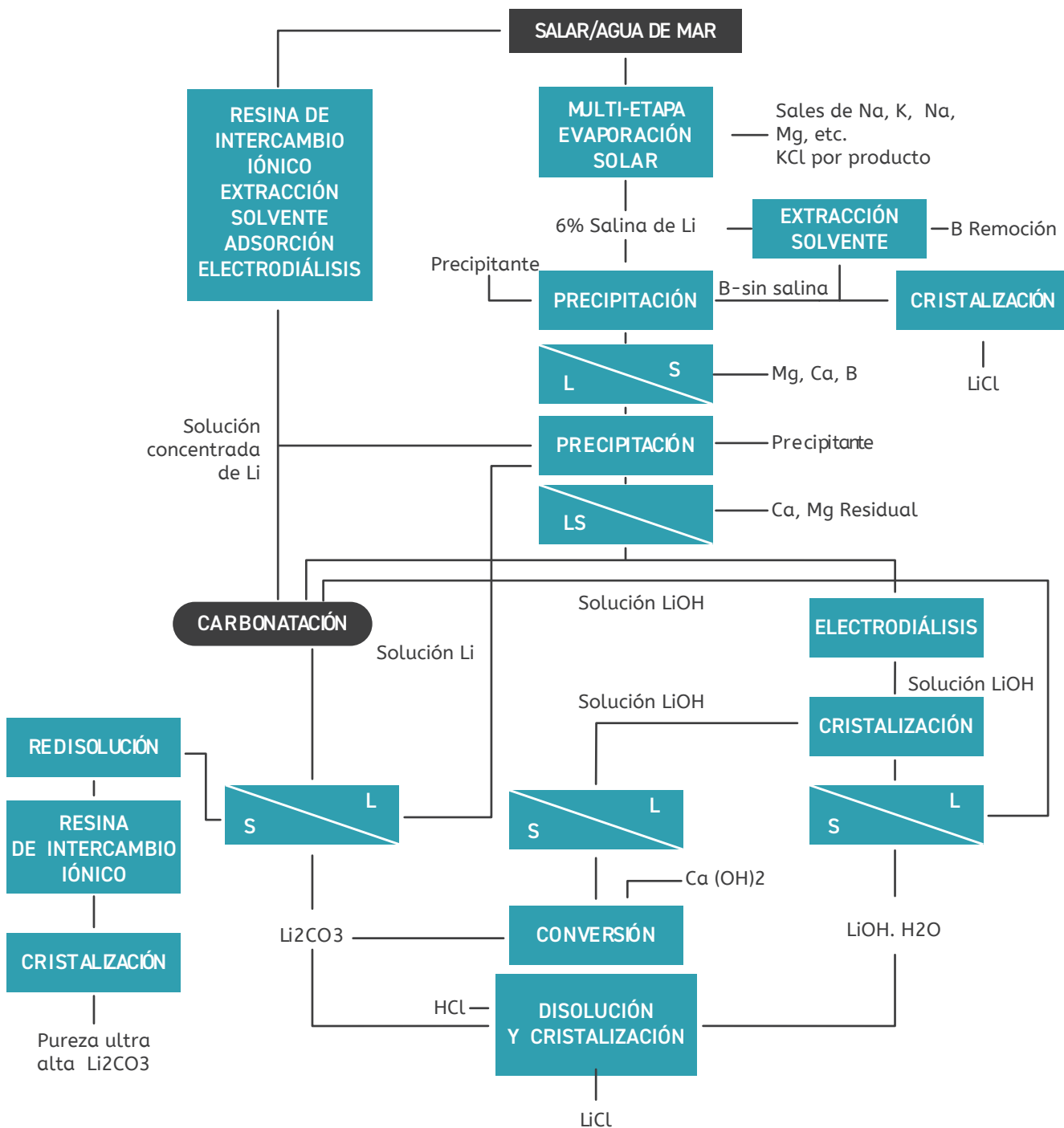


Gráfico31. Flujo de producción de compuestos de litio a partir de salares y agua de mar

La firma canadiense Nemaska Lithium también ha desarrollado un proceso para producir hidróxido de litio a partir de electrólisis, a un costo que, de acuerdo a sus estimaciones, ascendería a USD 2.811 por TN. De acuerdo a la firma, el proceso sería adecuado para localizaciones con costos de energía bajos y predecibles. El proceso toma concentrado de espodumeno y lo procesa en sulfato de litio. Luego de varias etapas de remoción de impurezas, el sulfato es transformado mediante electrólisis en hidróxido de litio y luego monohidrato o carbonato de litio. Una de las claves del proceso para reducir los costos es que no utiliza cal.

Con relación a las tecnologías para explotación de salares, las técnicas en desarrollo buscan, esencialmente, evitar el proceso de evaporación de las salmueras para acortar los tiempos de obtención del litio procesado.

En la Argentina, un equipo liderado por el investigador Ernesto Calvo, del Instituto de Química Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía (INQUIMAE), del CONICET y la Universidad de Buenos Aires, ha desarrollado un método electrolítico que ha superado las pruebas de laboratorio. Actualmente, el proceso se encuentra en fase de prototipo y de fondeo para construir una planta piloto.

Entre las técnicas con mayor grado de avance se encuentra aquella desarrollada por la firma israelí Tenova Bateman, basada en la utilización de un solvente que, según sostiene la empresa, logra en solo un día una solución de cloruro de litio con una pureza superior al 99,9%⁵³. En este proceso, la salmuera es bombeada y filtrada para remover el magnesio y el calcio. Aun si la salmuera tuviera concentraciones bajas de litio, se la mezcla con un producto químico orgánico desarrollado por la firma que permite obtener de manera selectiva el litio de alta pureza para la producción de hidróxido de litio. El solvente utilizado se traslada a tanques de sedimentación, desde donde se recoge, para ser reciclado y utilizado nuevamente. El proceso supone la reinyección de la salmuera libre de litio al salar. En octubre de 2017, la firma llegó a un acuerdo con Pure Energy Minerals para diseñar, construir y operar una planta piloto para analizar la viabilidad del proceso ya probado en una mini planta que opera en Israel desde 2016.

Otro de los métodos es el así llamado Proceso de Extracción Directa (Direct Extraction Process), de-

sarrollado por la firma francesa ERAMET. El proceso es, en esencia, similar al de Tenova, ya que utiliza una solución que permite recuperar el litio una vez que la salmuera haya sido separada del magnesio, el calcio, el boro y algunos sulfatos. La salmuera, ya sin litio, es luego reinyectada en el salar, mientras que el litio es procesado para obtener carbonato. De acuerdo a la firma, el proceso utiliza menos reactivos que los que requiere el proceso evaporítico, es menos intensivo en energía, reduce la producción de residuos y permite acortar a unos pocos días la obtención del producto final. Según se ha anunciado, el método ha superado ya la fase de prueba piloto. ERAMET tiene actualmente la concesión para operar los salares Centenario y Ratonés, en la provincia de Salta. En 2017, la firma anunció que planea comenzar la construcción de una planta con capacidad de 20.000 TN LCE anuales, con fecha prevista de inicio de la explotación en 2021, donde se propone utilizar el método de Direct Extraction Process.

La firma surcoreana Posco es otra de las que ha desarrollado un proceso químico y electrolítico para la extracción de litio de salmueras que no depende de la evaporación de salmueras. Sin embargo, las características del proceso se han mantenido en un alto nivel de reserva. De acuerdo a la información de las patentes, utiliza ácido fosfórico para precipitar fosfato de litio. Según la empresa, la técnica permitiría recuperar litio a una tasa del 80-90% en aproximadamente 8 horas. Hasta el momento, Posco no ha logrado establecer alianzas duraderas con firmas que tengan concesión para la explotación de salares en la Argentina, por ejemplo, mantuvo un acuerdo con Minera Exar (en aquel momento, bajo el control total de la canadiense Lithium Americas), a partir del cual montó una planta piloto donde probó su método (los resultados de desempeño no se hicieron públicos), y con Lithea (de la canadiense LSC Lithium).

En mayo de 2018 se anunció que Posco compró tierras concesionadas a Galaxy Resources para su proyecto Sal de Vida, en la provincia de Catamarca para producir carbonato de litio. Sin embargo, no se aclaró qué método se utilizaría para tal fin.

Finalmente, otro método en estado de desarrollo incipiente corresponde a MGX Minerals. La firma ha desarrollado un proceso para salmueras altamente mineralizadas asociadas a yacimientos petrolíferos (petro-litio). Se trata, básicamente, de concentraciones de litio y otros minerales de las

aguas residuales de la producción de petróleo y gas. En enero de 2017, MGX anunció que logró concentrar el litio de las aguas residuales mediante su proceso de recuperación rápida.

USOS DEL LITIO

El litio tiene varios usos, cuya distribución según su peso en la demanda total se ve en el Gráfico 32. Al presente, la aplicación más importante (no solo por su tamaño, sino por su visibilidad en el debate público y su tasa de crecimiento) es la producción de baterías ion litio para teléfonos celulares, computadoras portátiles y, más incipientemente, vehículos eléctricos e híbridos.

Sin embargo, el litio tiene muchos otros usos que, aunque no son tan visibles para los consumidores, son muy importantes en términos de la demanda por el recurso. Por ejemplo, el litio se emplea como insumo en la producción de cerámicos y vidrios para darles mayor resistencia al cambio de temperatura. Asimismo, se usa en grasas y lubricantes, para hacerlas más resistentes al calor, y aleado con aluminio y cobre sirve para ahorrar peso en componentes estructurales de fuselaje. El litio se utiliza también en ciertos medicamentos psiquiátricos y en cerámicas dentales. El más liviano de los dos isótopos de litio (6Li) se utiliza en la producción de tritio para armas nucleares.

Como se ha señalado, el primero de los usos en términos de importancia es el de baterías de ion-litio. La demanda de litio para este uso se ha multiplicado en casi cuatro veces desde 2008 a 2016, pasando de 20.026 TN de LCE en 2008, a 77.821 en 2016 (grafico 33). Esto ha implicado que el consumo de litio para su uso en baterías haya pasado de un 17% al 39% del total de la demanda durante este período.

El segundo uso en términos de demanda de litio corresponde a aplicaciones en la industria de cerámicos y vidrio. En el caso de la fundición de vidrio, se agrega litio en su forma de espodumeno, petalita u otros óxidos de litio para reducir la temperatura de fusión y bajar el uso de energía entre un 5% y un 10%. Adicionalmente, la incorporación de litio al proceso reduce la expansión térmica del vidrio o cerámica, lo cual puede ser muy importante para productos donde existen cambios repentinos de temperatura como en los parabrisas de

los autos, el instrumental de cocina o las superficies de cocción de vidrio. Por su parte, el litio también se usa para agregar color o mejorar el acabado acristalado en productos de vidrio y cerámica.

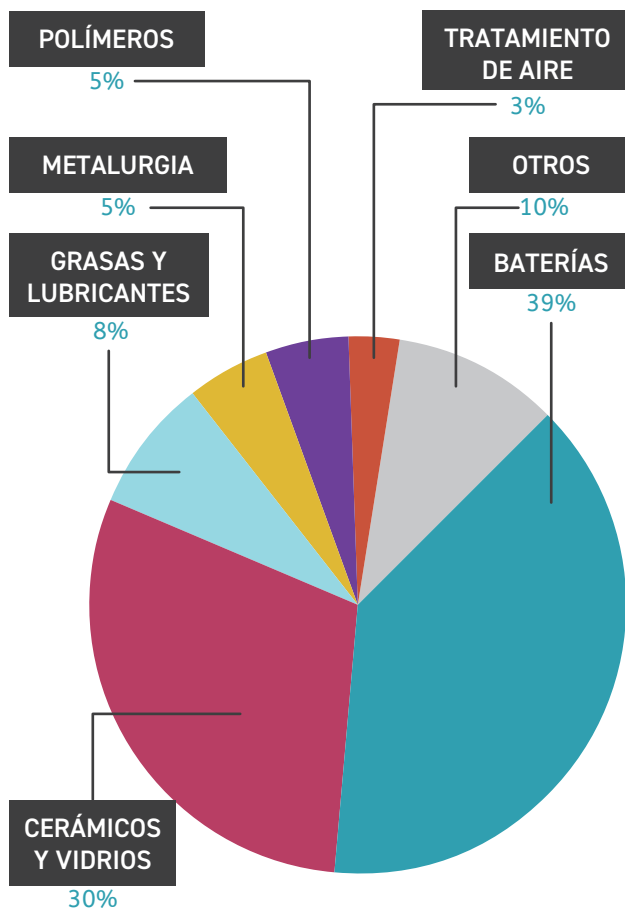


Gráfico32. Distribución del consumo de litio por usos (2016)

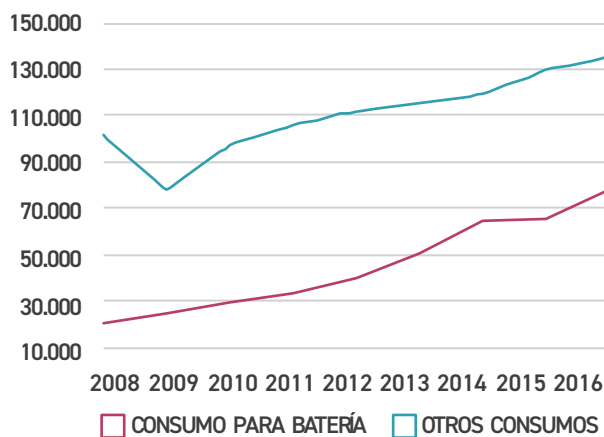


Gráfico33. Consumo mundial de litio para baterías y otros usos (2008-2016; en TN de Carbonato de Litio Equivalente)

El tercero de los usos en orden de importancia corresponde a la producción de grasas y lubricantes. El litio se utiliza como aditivo en muchos tipos de grasas para aplicaciones industriales (por ejemplo, automotriz, agrícola). Las grasas de litio representan alrededor del 70% de la producción mundial de grasa utilizada en aplicaciones técnicas. Se trata de lubricantes excelentes y muy estables que no se descomponen cuando se exponen a altas temperaturas de funcionamiento. Como resultado, la grasa de litio se usa en sistemas mecánicos sellados como cajas de engranajes y sistemas hidráulicos.

El hidróxido de litio se mezcla con ácidos grasos para producir “jabón de litio”, un agente espesante que representa del 3 al 20% de la grasa producida (como resultado, el litio representa entre 0,2-0,3% del producto final).

El cuarto de los usos en importancia es el de aplicaciones del litio como aditivo en polvo para moldes utilizados en el proceso de fundición continua de la industria siderúrgica. El método de fundición continua representa el 90% de la producción mundial de acero, donde es importante el uso de fundentes en polvo para mejorar los controles de calidad. Agregar hasta 5% de litio reduce la viscosidad del molde y disminuye la temperatura a la que se comienza a cristalizar el acero, mejorando la eficiencia operativa.

El quinto de los usos en orden de importancia es el de aplicaciones en polímeros. El litio en forma de butil-litio se utiliza como catalizador para la fabricación de varios productos de caucho sintético. Los productos más comunes son el estirenobutadieno y el polibutadieno que se utilizan en la fabricación de neumáticos para la industria automotriz. Los cauchos sintéticos también se usan en plásticos, utensilios de cocina y pelotas de golf.

El sexto de los usos en importancia es el de tratamiento de aire. El litio se utiliza en refrigeración industrial, control de humedad y sistemas de secado. Las soluciones de bromuro de litio actúan como un refrigerante en los sistemas de aire acondicionado, donde la humedad del aire caliente es absorbida por el bromuro de litio. La solución diluida luego pasa a través de un intercambiador de calor donde el agua se vaporiza, condensa y recoge, permitiendo que la solución de bromuro de litio sea reutilizada. El litio también se usa en sistemas de secado al aire (bromuro/ cloruro de litio) y en depu-

radadores de CO2 en entornos cerrados (aplicaciones mineras, espaciales y submarinas).

PROYECCIONES

Las proyecciones de la demanda global de litio realizadas en 2017 muestran un aumento de casi el 80% en 8 años (grafico 34), pasando de 234.788 a 422.614 TN de LCE en 2025. El uso con mayor proyección de crecimiento es el de baterías recargables, en particular para el sector de transporte. En el grafico 35 se observa la demanda proyectada de litio para baterías recargables hasta 2025, cuando se espera un consumo de 212.820 TN de LCE, lo que supondría duplicar aproximadamente los valores proyectados para 2018.

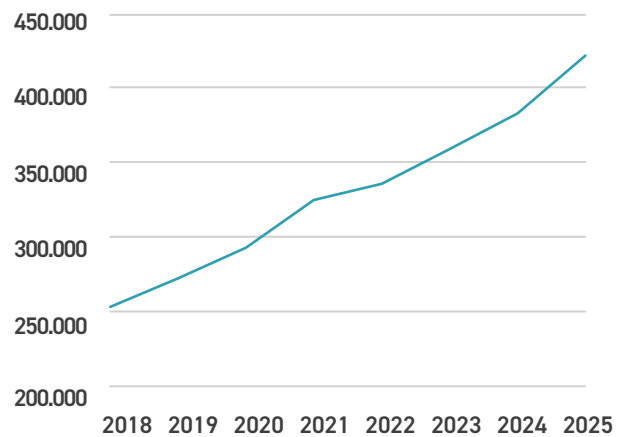


Gráfico34. Proyección global de la demanda total de litio 2018-2025 (en TN LCE)

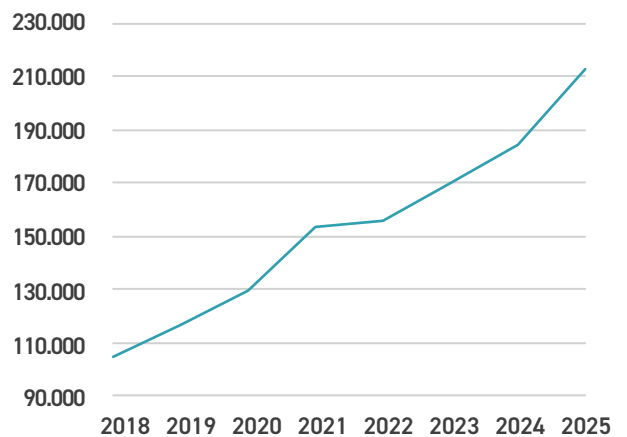


Gráfico35 Proyección de demanda global de litio para baterías recargables 2018-2025 (en TN de LCE)

En cuanto a las proyecciones de demanda para otros usos, se espera que el mercado de cerámicas y vidrio cerámicas aumente su volumen de 60.288 TN LCE en 2018, a 96.178 TN LCE, en 2025 (60% de incremento).

Respecto del uso del litio en polímeros, se proyecta un crecimiento del 28% entre 2018 y 2025.

En lo que se refiere a la proyección de la oferta de litio para los próximos años, las estimaciones de 2017 preveían un fuerte incremento de casi un 134% hasta el 2021, pasando de 270.000 TN de LCE a 631.000, y desde 2021 a 2025 un leve aumento cerca del 12% alcanzando las 706.000 TN de LCE al final del período (tabla 18).

El incremento proyectado en la oferta desde 2017 a 2025 (de 436.000 de TN de LCE) se ve explicado en un 51% por 5 productores:

- *Greenbushes (aporta 55.000 TN LCE: 13%)*
- *Lithium Américas/SQM (aporta 50.000 TN LCE: 10%)*
- *Nemaska (aporta 43.000 TN LCE: 10%)*
- *POSCO (aporta 40.000 TN LCE: 9%)*
- *Neometal/ MIN/ Ganfeng (Aus) (aporta 33.000 TN LCE: 8%)*

PRODUCTOR \ AÑO	2007	2021	2025
SQM	48.000	65.000	80.000
GRENNBUSHES	75.000	130.000	130.000
RESTO DE CHINA	22.000	50.000	50.000
OROCOBRE	13.000	35.000	35.000
FMC LITHIUM	22.000	22.000	22.000
ALBERMALE	50.000	70.000	80.000
LITHIUM AMERICAS/ SQM	-	25.000	50.000
NEMASKA	-	38.000	43.000
GALAXY RESOURCES (ARG)	-	15.000	20.000
GALAXY RESOURCES (AUS)	15.000	20.000	20.000
NEOMETAL/MN/GANFENG (AUS)	25.000	58.000	58.000
POSCO	-	30.000	40.000
FRONTIER LITHIUM	-	3.000	3.000
PILBARA MINERALS	-	20.000	20.000
ERAMET	-	15.000	15.000
ENIRGI	-	20.000	20.000
	y otros	15.000	20.000
TOTAL (T LCE)	270.000	631.000	706.000

Tabla18. Oferta proyectada de carbonato de litio desagregada por productor (TN de LCE, años seleccionados)

LA EXPLORACIÓN Y OPERACIÓN DE SALARES DE LITIO EN LA ARGENTINA

Se han identificado problemas en cuatro áreas de intervención cuyo tratamiento permitiría una explotación más eficiente y sustentable del litio en salares. Para cada una de estas áreas, se han relevado los intereses y proyectos en curso desarrollados por actores del sistema de Ciencia y Tecnología en la Argentina.

- *Tecnologías de extracción*
- *Explotación integral de los salares*
- *Sustentabilidad de los salares*
- *Eslabonamientos productivos*

A continuación, desarrollaremos brevemente cada uno de los problemas identificados:

TECNOLOGÍAS DE EXTRACCIÓN

El equipo del CIDMEJU se encuentra actualmente trabajando en distintos proyectos que pretenden mejorar la eficiencia y la sustentabilidad ambiental de las técnicas evaporíticas utilizadas actualmente, así como también desarrollar innovaciones “*radicales*” que suponen la utilización de procesos no evaporíticos en la extracción de litio de salares.

La primera de estas líneas de trabajo apunta, en particular, al uso del agua y al aprovechamiento de recursos presentes en el salar que actualmente son residuos del proceso de separación del litio.

En relación con la primera cuestión, en colaboración con el CONICET en el Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional, de la Universidad Nacional de Salta, y con la participación de la firma Sales de Jujuy, existe un proyecto para el desarrollo de técnicas para que parte del agua generada durante el proceso de evaporación pueda ser luego utilizada, por ejemplo, en actividades de riego en explotaciones agrícolas.

Para ello se está trabajando en la cobertura de las piletas con membranas, lo que además de lograr el objetivo de la recuperación, evitaría que el proceso de evaporación sea afectado por lluvias, acortando el tiempo para la obtención del recurso.

Otra línea de trabajo pretende, mediante la producción local de biogás, reemplazar el dióxido de carbono y el carbonato de sodio utilizados en el proceso de producción del carbonato de litio, los que son actualmente transportados desde el llano. Este proyecto, que se realiza en colaboración con la oficina del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) que opera en Palpalá (Jujuy), se orienta a desarrollar procesos para bio digerir las aguas negras de los campamentos que tienen las empresas mineras en torno a las áreas de explotación.

La generación de biogás contribuiría, además, a mejorar la gestión ambiental, puesto que actualmente el tratamiento de aguas negras resulta deficiente. Sin embargo, el incentivo para que las empresas colaboren en este tema, depende, como en otros casos, de la voluntad y capacidad de fiscalización, así como también de la aplicación de las normas ambientales por parte de la autoridad de aplicación correspondiente.

En cuanto al desarrollo de métodos no evaporíticos, cabe mencionar el trabajo llevado adelante por el equipo de Ernesto Calvo. El proyecto, que consiste esencialmente en un método de recuperación electroquímico en un medio acuoso, análogo al funcionamiento de baterías de litio-ion, ha sido explicado por Calvo del siguiente modo:

“El método desarrollado para extraer litio de salmueras de salares de altura consiste en utilizar un reactor electroquímico con dos electrodos, uno selectivo a iones litio y el otro selectivo a iones cloruro. De tal modo que se pone en contacto salmuera, que contiene cloruros de litio, sodio, potasio, magnesio, etc., con los electrodos y pasa una corriente eléctrica por la cual se extraen los iones litio y cloruro en electrodos opuestos. En un segundo paso, se reemplaza la salmuera por una solución de cloruro de litio de recuperación y se invierte la polaridad de los electro-

dos, resultando en la eliminación de cloruro y litio, respectivamente, y la solución se enriquece en cloruro de litio, no afectando el agua y los otros componentes de la salmuera”.

Este método permitiría acortar el tiempo necesario para obtener litio, a la vez que habilitaría la recuperación de agua dulce y la reducción del volumen de residuos generados por el proceso. Asimismo, a diferencia de los métodos no evaporíticos basados en precipitantes o resinas de intercambio iónico, este método no utiliza ácidos o reactivos químicos.

Otra de las virtudes del método es que, a diferencia de otros desarrollos basados en sistemas electroquímicos para la recuperación de litio, ha demostrado estabilidad de los electrodos y capacidad de mantener altos niveles de captura de litio por más de 200 ciclos. La tecnología se encuentra patentada (a nombre del CONICET) y ha sido exitosa en las pruebas de laboratorio. Actualmente, se avanza en el INQUIMAE con las pruebas de un prototipo que permita perfeccionar el método y contribuir al escalado. Debe señalarse, sin embargo, que el proceso no ha estado exento de dificultades tanto de orden técnico como de gestión.

Inicialmente el CONICET había cedido los derechos de comercialización a Y-TEC, una empresa de tecnología conformada en un 51% por YPF y en un 49% por el CONICET, con el compromiso de que la firma construya una planta piloto en la provincia de Jujuy, cuyo costo estimado era de USD 800.000. Sin embargo, Y-TEC no ha mostrado interés en avanzar en la construcción de la misma, puesto que se trata de un proyecto de alto riesgo que, por otra parte, no se encuentra entre sus objetivos estratégicos actuales.

El equipo de Calvo ha solicitado que se rescinda el contrato entre el CONICET e Y-TEC y ha iniciado la recolección de los fondos necesarios entre empresas de capitales de riesgo.

Se debe asimismo señalar que en el proceso de desarrollo de la ingeniería de concepto encargado a la firma santafecina Clorar- se han identificado problemas en el método que comprometen la viabilidad industrial, así como también económica del proyecto. Si bien el informe de Clorar es de carácter confidencial, Calvo ha señalado algunos de los desafíos técnicos que enfrenta el proceso de escalado.

Entre ellos se encuentran: la optimización del transporte de los iones de litio y cloruro a gran escala, la distribución de corriente y la gestión de gradientes potenciales energía y de temperatura. Asimismo, para estar en condiciones de competir con los métodos utilizados actualmente, se debe asegurar el diseño de reactores de múltiples pilas que sean de una gran superficie, así como de electrodos de gran tamaño que utilicen materiales económicos.

Por su parte, el material de los electrodos de la batería debe ser estable en términos mecánicos y químicos a lo largo de muchos ciclos en una operación de gran escala.

Aunque el estudio se ha concentrado principalmente en las operaciones litio en salares, corresponde aquí señalar que, en los últimos años, como consecuencia del aumento en el precio del litio, los yacimientos de rocas pegmatíticas han generado creciente interés (actualmente existen seis proyectos en fase de exploración). En este marco, un equipo de la Universidad Nacional de Cuyo, ha desarrollado un proyecto para la recuperación de litio a partir de los yacimientos que se encuentran en las provincias de Córdoba, San Luis y Salta.

Como resultado de las investigaciones llevadas a cabo por el equipo, se patentó un proceso hidrometalúrgico para la obtención de litio a partir de pegmatitas que presenta dos ventajas respecto al utilizado actualmente por la industria.

En primer lugar, a diferencia del método tradicional, que resulta de someter el concentrado de espodumeno a una calcinación a una temperatura de 1050°C, para luego tratarla con ácido sulfúrico, el proceso desarrollado trabaja con el concentrado mineral en la forma natural, mediante un proceso químico selectivo que se desarrolla en un recipiente cerrado, a una temperatura superior al punto de ebullición del agua (entre 100° y 150°). Además, de ser mucho más limpio en términos ambientales, el proceso permite reducir el consumo de energía, lo que baja significativamente los costos operativos.

En segundo lugar, mientras que los métodos tradicionales se concentran únicamente en la obtención del litio, el método desarrollado permite recuperar otros minerales como sales de silicio, aluminio y hierro. De este modo, no solo es posible hacer una explotación

económica más integral de los yacimientos, sino que, además, se reducen los pasivos ambientales puesto que, en el método tradicional, los subproductos del proceso son considerados residuos.

El método ha despertado el interés de la firma australiana Latin Resources, que tiene actualmente la concesión para la prospección de más de 1.000 km² en los distritos pegmatíticos de Catamarca y San Luis. La firma ha financiado (mediante su subsidiaria local, Recursos Latinos) la construcción de una planta piloto en la Universidad Nacional de Cuyo con el propósito de avanzar en el desarrollo del método. Si los resultados fueran positivos, la empresa contaría con la opción para comprar la licencia a la universidad y al CONICET. Luego, avanzaría en la construcción de una planta piloto y, eventualmente, en la expansión del método a escala industrial.

EXPLOTACIÓN INTEGRAL DE LOS SALARES

El plan de negocios de las empresas que actualmente operan en la Argentina y, por lo tanto, las técnicas utilizadas en la explotación se han focalizado, principalmente, en la extracción de litio de las salmueras y la comercialización del carbonato de litio. Sin embargo, las salmueras contienen otros recursos con potencial interés económico entre los que se encuentran sodio, potasio, magnesio, calcio, estroncio, bario, rubidio y cesio, cuya explotación no ha sido considerada hasta el momento.

El caso argentino difiere en este sentido de la experiencia de las empresas que operan en Chile, las cuales, habiendo comenzado la explotación de los salares muchos años antes del crecimiento exponencial de la demanda y del precio del litio, han adoptado modelos de negocio que incluyen la producción y la comercialización de otros productos, como el cloruro y sulfato de potasio, el ácido bórico y el cloruro magnésico.

En la Argentina el interés por extraer rápidamente litio para aprovechar el fuerte aumento de su precio ha llevado a desatender estos recursos. En este sentido, el Estado provincial, como dueño de los salares y “socio” en la apropiación de la renta minera, debería fomentar una explotación más integral de aquellos.

Una primera condición para encarar una explotación integral de los recursos consiste en mejorar el conocimiento de los salares para lograr identificar y cuantificar los recursos que contienen, ubicar los sitios en los que se encuentran con mayor concentración, y, así, convertirlos en reservas que permitan su explotación económica. Según se ha relevado, hay escasez de información –al menos de carácter pública– sobre este aspecto de los salares.

De algún modo, esto limita el poder de negociación de las provincias frente a las empresas a cargo de las concesiones de explotación. En este terreno, SEGEMAR está trabajando de manera conjunta con los servicios geológicos de China y Estados Unidos en proyectos que comprenden, entre otras cuestiones, la evaluación de los recursos minerales de los salares de la Puna.

En segunda instancia, se deberían desarrollar técnicas eficientes de procesamiento de la salmuera que permitan la explotación de los distintos recursos. El modelo utilizado tendrá implicancias sobre el volumen de salmuera necesaria para la explotación y, por lo tanto, en última instancia, sobre la sustentabilidad de los salares. Por lo tanto, es necesario que dichas técnicas se orienten a maximizar el grado de recuperación, lo que implica minimizar el área de captación asociada a cada punto de extracción y la perturbación que el bombeo ocasiona sobre el sistema hidrogeológico.

El caso de Chile ilustra la importancia de este punto, ya que la explotación de otros recursos (especialmente el potasio) presentes en los salares ha llevado a una sobre explotación de la salmuera.

El equipo de el CIDMEJU está trabajando en el desarrollo de técnicas para la recuperación de residuos derivados del proceso de evaporación que contienen sales con potencial económico y que no son explotados en la actualidad, por ejemplo, hidróxido de magnesio y sulfato de calcio, con aplicaciones en la industria cementera y en la producción de óxidos refractarios.

El INTI, en tanto, ha solicitado un financiamiento de alrededor de \$ 13 Millones al Ministerio de la Producción, a través de la línea del Programa de Competitividad de Economías Regionales (PRO-CER), para la construcción de una planta piloto de laboratorio para experimentar con salmueras provenientes de los salares jujeños. Entre otros objetivos, la planta permitiría diseñar procesos para

hacer un aprovechamiento más eficiente de los recursos catiónicos del salar, mejorando los procesos de separación y purificación de cationes que puedan tener uso industrial.

Es importante señalar que, más allá de los desarrollos tecnológicos que se puedan generar para realizar una explotación integral de los salares, el régimen de incentivos que diseñen las autoridades competentes puede jugar un papel importante en la definición de modelos de negocios para la explotación comercial de los recursos extraídos y su eventual procesamiento.

Es posible pensar que las actividades de explotación de los distintos recursos no deben necesariamente estar a cargo de la empresa que tiene la concesión para la explotación del litio en el salar, sino que podrían ser realizadas por otras firmas que operen dentro o en un espacio anexo a la explotación principal.

SUSTENTABILIDAD DE LOS SALARES

La explotación de los salares que contienen litio tiene características particulares que la diferencian de la operación de explotaciones de minería metálica. En particular, se destaca el hecho de que los salares son ecosistemas naturales dinámicos y frágiles.

Su equilibrio y su sustentabilidad económica pueden verse severamente afectados por un manejo inadecuado de las actividades de extracción. El bombeo de salmuera en un determinado punto de la operación puede alterar la concentración y, por lo tanto, las condiciones de recuperación de recursos presentes en otros puntos.

Asimismo, los cambios en el ecosistema generados por la explotación del salar tienen potenciales efectos sobre los asentamientos humanos que se encuentran en las inmediaciones del salar. Incluso la sustentabilidad del salar puede, potencialmente, verse afectada por formas inadecuadas de explotación y por un tratamiento inapropiado de los residuos (sólidos y líquidos)

generados ya sea sobre la superficie del salar, en su entorno o aquellos que son reinyectados en el mismo, con efectos sobre los niveles de concentración que son poco conocidos por ahora.

Se plantea, así, un conflicto entre el interés de corto plazo de maximizar la extracción de litio, por un lado, y la maximización de la renta de explotación y la preservación de las condiciones de vida de las comunidades locales en el largo plazo, por el otro. Para garantizar el equilibrio entre las condiciones de explotación presentes y futuras, es necesario, en primer lugar, establecer reglas adecuadas, así como también los correspondientes mecanismos de fiscalización y aplicación. Cabe aquí destacar que la regulación de las actividades de explotación también es necesaria para evitar los conflictos entre las empresas a cargo de las actividades de extracción.

Por ejemplo, el hecho de que una misma cuenca pueda ser explotada por distintas firmas significar que alguna de estas pueda estar extrayendo salmueras en las profundidades de la concesión entregada al vecino. En la industria petrolera, por ejemplo, cuando varias empresas explotan un mismo campo de petróleo, se conforma una unión transitoria de empresas (UTE) y se trabaja en conjunto.

Los primeros pasos para crear un sistema normativo que mejore las condiciones de sustentabilidad de las explotaciones de litio en la Argentina se dieron en 2017, cuando, en el marco de un amplio acuerdo minero a nivel nacional, se incluyó un compromiso entre las provincias litíferas y la Nación para crear la así llamada *“mesa de litio en salares”*, integrada por equipos interdisciplinarios, cuya tarea es acordar protocolos de estudio, exploración y desarrollo del recurso. Esta mesa tiene como objetivo establecer *“las pautas hidrogeológicas, de proceso, ambientales, normativas, etc. que adoptarán las referidas Provincias, con el objeto de lograr un contexto común para el adecuado desarrollo de este recurso”*

Se establecerán nuevas exigencias de protocolo ambiental para las empresas y estudios anuales de balance hídrico. Sin embargo, debe destacarse que, siguiendo la opinión de los expertos, el cumplimiento de estas reglas requiere el fortalecimiento de la infraestructura y de las capacidades de monitoreo y seguimiento de las autoridades de aplicación.

Otra dimensión relevante para garantizar la sustentabilidad de los salares refiere a la necesidad de mejorar el conocimiento disponible sobre la composición y dinámica de los salares, así como de las técnicas de extracción utilizadas. A pesar de la sensibilidad de esta cuestión, existen muy pocos estudios sobre el comportamiento hidrodinámico de los salares ricos en litio. Entender mejor la hidrogeología de los salares y los factores que gobiernan su dinámica contribuiría al desarrollo de procesos de explotación más sustentables.

En particular, es importante entender mejor cuáles son las modalidades y los tiempos de recarga de la salmuera. Ello implica, por ejemplo, identificar cuáles son los acuíferos que hay en los salares y cuántos están conectados con acuíferos de agua dulce, si la salmuera se recarga a través de ríos subterráneos o si el recurso está encapsulado en cimientos con largos tiempos de recarga que lo convierten en un fósil. Estas cuestiones no solo tendrían implicancias para la sustentabilidad de la explotación económica del recurso en las zonas específicas de bombeo, sino también para determinar qué otras áreas del salar que forman parte de los recursos de las comunidades que habitan en la región podrían verse negativamente afectadas por entrar en competencia con las zonas donde tienen lugar las actividades de bombeo.

Hasta el momento, los estudios hidrogeológicos de los salares han estado, fundamentalmente, bajo la responsabilidad de las empresas, lo que limita el carácter público de sus resultados, más allá de lo exigido por la normativa vigente. Éstas, por su parte, son muy reticentes a permitir el trabajo de investigadores independientes del sistema de C y T dentro de las áreas concesionadas y, además, no han mostrado interés en profundizar el conocimiento del salar en relación a las cuestiones señaladas más arriba.

En general, las empresas tienen mayor interés por experiencias de colaboración que puedan derivar en servicios de transferencia de tecnología para resolver problemas específicos identificados por ellas. En este sentido, existen visiones encontradas sobre el papel que deberían jugar las secretarías de minería de las respectivas jurisdicciones involucradas, sobre las herramientas legales disponibles, así como sobre las capacidades y los recursos con los que cuentan los gobiernos para favorecer las actividades de investigación en los salares.

Otra limitación es de tipo económico. Los equipos de investigación locales cuentan con proyectos de presupuesto muy bajo que no permiten la compra del equipamiento necesario ni la sustentación de gastos operativos onerosos.

Un mejor conocimiento de los orígenes geológicos de los salares, y en particular del litio, permitiría también entender las condiciones de renovación del recurso. En relación a ello, los geólogos entrevistados señalaron preguntas para las cuales no cuentan con respuestas.

¿El litio está contenido en alguna otra fase mineral? En ese caso, se podría ir disolviendo el mismo para obtener el recurso. Pero ¿En qué mineral? ¿En sales, en arcillas? Esta carencia de conocimiento concierne a todo el sistema andino de salares el así llamado triángulo del litio, con la parcial excepción del Salar de Atacama, que es el mejor estudiado en la región.

El trabajo que está desarrollando el SEGEMAR busca cubrir algunas de las áreas de vacancias aquí identificadas. En el marco de los ya citados convenios con los servicios geológicos de China y Estados Unidos, esta institución está realizando tareas orientadas, entre otras cosas, a:

- *Identificar las fuentes de los metales alcalinos en salmueras; entender la distribución y el potencial del litio en la Puna*
- *Identificar los elementos geológicos que controlan la mineralización*
- *Estudiar la génesis y distribución del litio en las salmueras de las provincias litíferas*
- *Definir el modelo hidrogeológico de una cuenca en cada provincia y evaluar su potencial de litio.*

Cabe destacar que SEGEMAR (Servicio Geológico Minero Argentino) también está realizando estudios en colaboración con los servicios geológicos de Brasil y de China sobre la metalogénesis del litio en pegmatitas de las Sierras Pampeanas.

ESLABONAMIENTOS PRODUCTIVOS

Los países de altos ingresos con dotaciones relativamente abundantes de recursos naturales, como Australia y Noruega, convirtieron sus industrias extractivas en una plataforma de desarrollo a partir de la creación de eslabonamientos que han favorecido procesos de creación y difusión de conocimiento a través de su estructura productiva.

Esto ha inspirado a países de ingreso medio, como Chile y Brasil, a adoptar políticas para promover el desarrollo de proveedores y la innovación en torno a estos sectores. Se inscriben dentro de la misma lógica los planes de la Argentina para la explotación de yacimientos de petróleo y gas no convencionales en Vaca Muerta.

A priori, podríamos concluir que los métodos de explotación de litio de salares que prevalecen actualmente no ofrecen, en comparación con la minería tradicional, demasiadas oportunidades para la creación de eslabonamientos productivos aguas arriba.

Sin embargo, el interés por la minería del litio en la Argentina es tan reciente que la brecha es muy grande respecto a países donde no solo el recurso es explotado desde hace más años, sino que, además, cuentan con una rica tradición minera por ejemplo, Chile. Este atraso relativo sugiere que la Argentina tiene un largo sendero por recorrer en el desarrollo de capacidades locales, por ejemplo, en las fases de exploración, prospección y explotación.

Como se ha mencionado anteriormente, existe en el país un amplio número de salares con potencial para ser explotados que demandan estos servicios. Entre las actividades a desarrollar se incluyen, por ejemplo, los servicios de consultoría geológica e hidrogeológica, ambiental, social y económica, así como los servicios de ingeniería conceptual, básica y de detalle de las plantas. También, se incluyen servicios relacionados con tecnologías de la comunicación e información dirigidas a la automatización de las plantas, ejercicios de simulación, o comunicaciones remotas.

Asimismo, si bien el proceso de extracción de litio basado en la evaporación de salmueras es conocido y tecnológicamente maduro, el mismo re-

quiere ser adaptado a las características de cada salar y del medioambiente en el que se encuentra.

En general, las empresas productoras que operan en la Argentina desarrollan este tipo de procesos internamente o contratan servicios de ingeniería a empresas extranjeras.

Otro tipo de actividades incluyen la construcción, modificación y expansión de las pozas, las tareas de perforación y la construcción de plantas de tratamiento de salmueras y producción de carbonato de litio. También, en el área de la construcción, se encuentra la instalación de campamentos y servicios para los trabajadores que operan en los salares, mayormente alejados de centros urbanos. En este caso, se verifica una mayor participación de empresas de ingeniería nacionales.

En la fase operativa de las plantas, existen también oportunidades para la generación de eslabonamientos a partir de la radicación de productores de reactivos y productos para la remoción de sales que son utilizados en las distintas fases de procesamiento de la salmuera para la obtención del carbonato de litio: *cal, carbonato de sodio, hidróxido de sodio.*

Estos ítems, que explican entre el 45% y el 70% del OPEX de las plantas procesadoras de carbonato de litio, son actualmente importados o traídos de otras provincias, lo que aumenta los costos operativos. Las perspectivas de aumento del número de salares explotados constituye una oportunidad para favorecer la localización de productores en la Puna.

Además del potencial para la generación de eslabonamientos vinculados a la producción de carbonato de litio, existen oportunidades para el desarrollo de servicios que, aunque de baja complejidad tecnológica, pueden tener efectos muy positivos sobre el entorno local.

Debe recordarse que, en general, se trata de localidades geográficamente aisladas y con una estructura productiva poco sofisticada y con limitaciones para generar empleo.

La operación regular del salar genera demandas de distintos tipos de servicios entre los que se encuentran servicios de transporte y logística, mantenimiento de planta e infraestructura, alimentación, lavandería y limpieza, etc. Si bien se trata de servicios de poca sofisticación, suponen desafíos muy importantes para el entorno local y para quienes ven en esta demanda la oportunidad de iniciar una actividad económica.

Esto concierne, en particular, a las comunidades de pueblos originarios, especializadas en actividades primarias que no tienen vinculación con estos servicios y que, en general, no han ingresado al mundo del trabajo formal. En este sentido, en el caso de Jujuy, resultan estratégicas las actividades de capacitación realizadas por la oficina de Palpalá del INTI, orientadas a la creación de capacidades básicas de gestión y mejoras de productividad en proveedores locales. Estas actividades se desarrollan en colaboración con las firmas mineras, en el marco de sus áreas de responsabilidad social empresarial, social o de valor compartido.

En general, se trata de empresas gestionadas por comunidades locales. La experiencia ha demostrado que es posible que aquellas desarrollen capacidades que luego permiten la prestación de servicios a otros clientes. Las áreas de intervención incluyen el diseño y gestión de presupuesto, las formas de relacionamiento con las empresas y la gestión de órdenes de trabajo, entre otras.

EL LITIO: HACIA LA PRODUCCIÓN DE BATERÍAS

DERIVADOS Y PRODUCTOS EN BASE A LITIO

En el gráfico 36 se observa la cadena de derivados del litio, desde los minerales concentrados en el caso de las fuentes de espodumeno y el carbonato de litio hasta sus principales usos.

Como se observa en el gráfico 37, el producto más importante en términos de volumen de mercado es el carbonato de litio con el 50% del mercado global, que se obtiene a partir del procesamiento de espodumeno o, como se ha visto anteriormente, luego del proceso de evaporación de las salmueras extraídas de los salares. Sin embargo, el hidróxido de litio, tiene un mayor potencial de crecimiento por su utilización en tecnologías de baterías que tienen una gran proyección de demanda.

Las exportaciones mundiales de carbonato de litio se han mantenido estables desde 2010 hasta 2015. A partir de ese año, dieron un gran salto, pasando de USD 400 Millones a USD 1.075 Millones en 2017. Este crecimiento se explica fundamentalmente por la variación en el precio FOB. De acuerdo con estimaciones realizadas en base a los datos de COMTRADE, mientras que entre 2010 y 2015 se había mantenido estable entre USD 4.500 y USD 5.100 por tonelada, en 2017 alcanzó los USD 9.900 por tonelada, en promedio (gráfico 38).

En el gráfico 39 se observa la participación de los principales países exportadores de carbonato de litio entre 2010 y 2016. Chile ha mantenido la primera posición en dichos años, con una participación de entre el 59% y el 63% de las exportaciones (medidas en valor), seguido por la Argentina, con una participación de entre el 11 y el 20%.

Los siguientes países (Bélgica, Alemania y China) en conjunto nunca han sumado más del 22% de las exportaciones globales en este período.

Por su parte en el gráfico 40 podemos observar la participación de los principales países importadores de carbonato de litio para los mismos años. Aquí la participación es un poco más equitativa y los diferentes países han ido variando su posición relativa como importadores a lo largo del período. Mientras que en el 2010 el principal importador fue Estados Unidos, con un 26% (seguido por Corea y Japón con un 14%, China con un 10% y Bélgica con un 6%), para 2016 China se había convertido en el mayor importador de carbonato de litio con un 24% (seguido por Corea con un 20%, Japón con un 16% y en cuarto lugar Estados Unidos y Bélgica con alrededor del 10% de las importaciones).

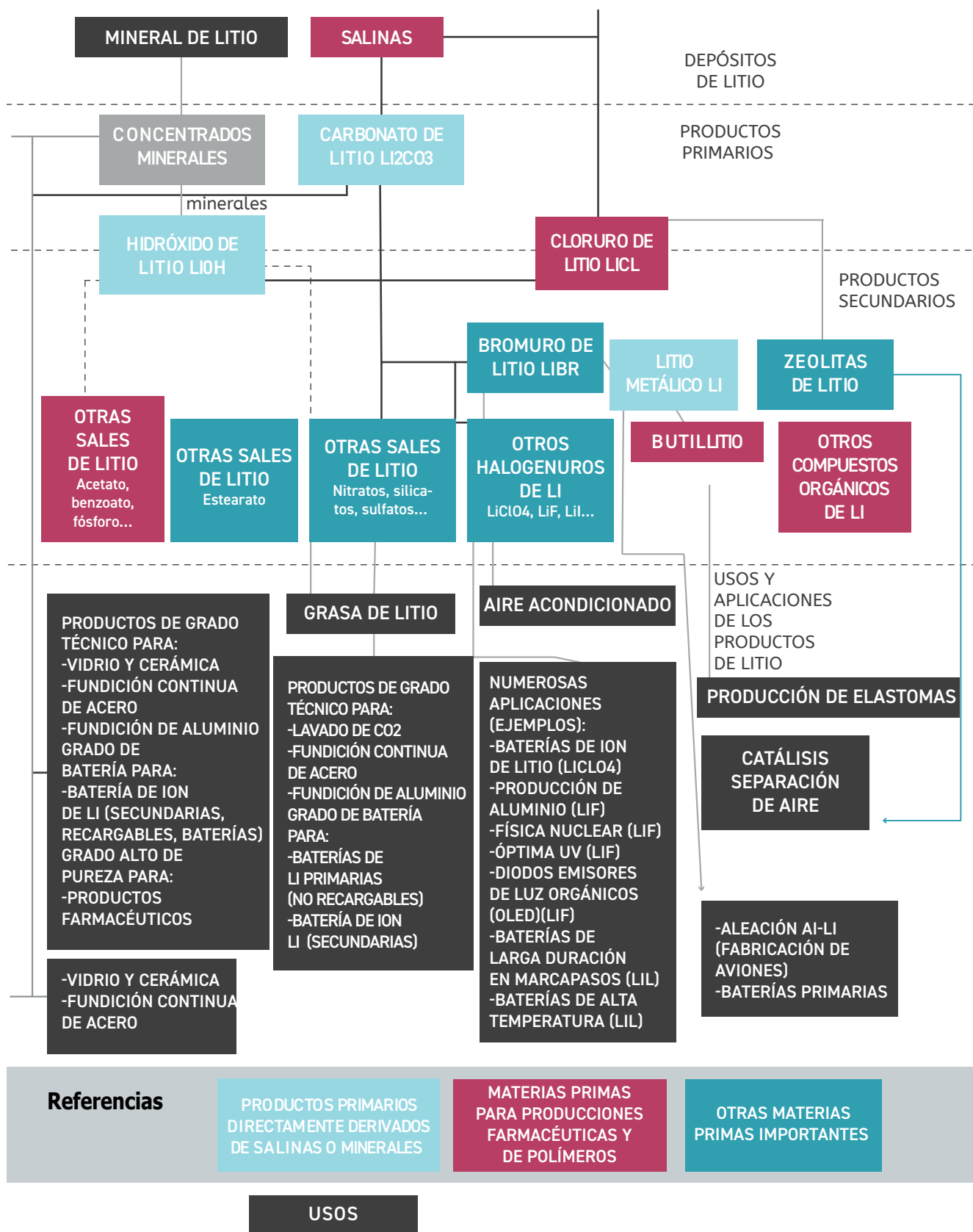


Grafico36. Productos de litio, derivados y usos

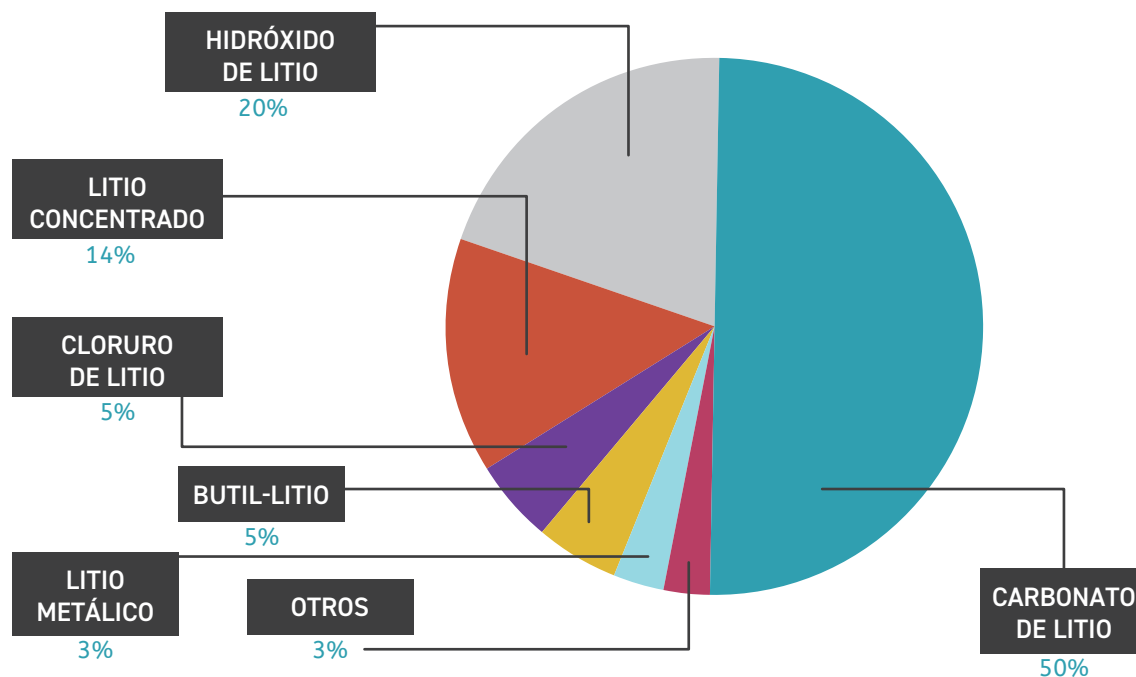
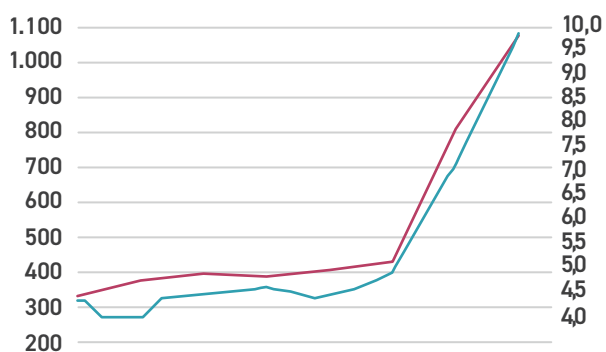


Gráfico37. Mercado global de productos de litio (2015)



EXPORTACIONES FOB (MILL. USD) PRECIO POR KG.

Gráfico38. Evolución de las exportaciones mundiales de carbonato de litio (eje izquierdo, valor FOB en USD Millones) y del precio medio por kg de exportaciones (eje derecho) (2010-2017)

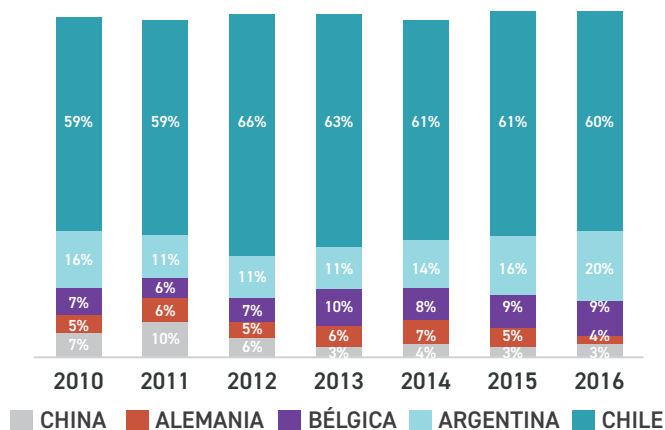


Gráfico39. Participación de los principales exportadores de carbonato de litio (2010-2016)

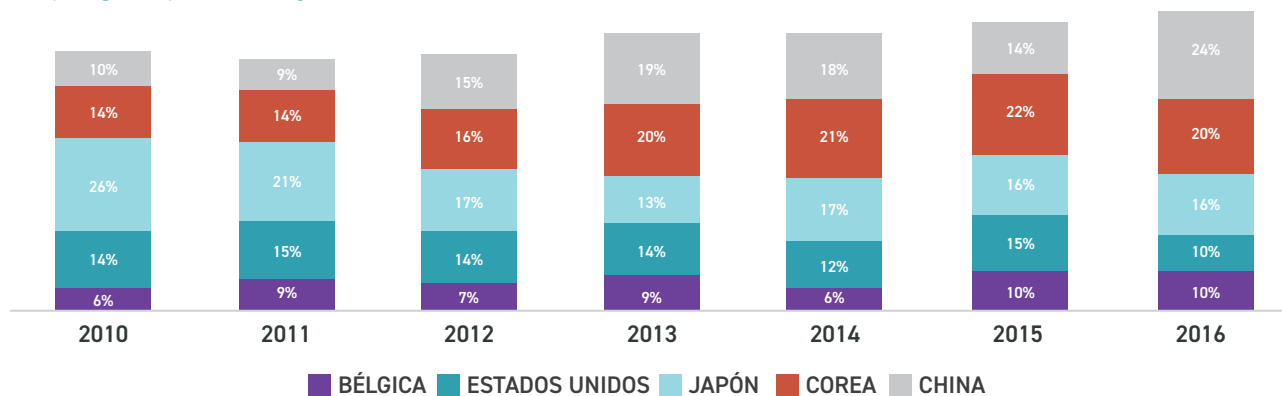


Gráfico40. Participación de los principales importadores de carbonato de litio (2010-2016)

El valor de las exportaciones mundiales de óxido e hidróxido de litio se ha casi duplicado entre 2010 y 2015, pasando de los USD 119 a 215 Millones. En 2016, las mismas tuvieron un salto abrupto al pasar a USD 370 Millones, principalmente como consecuencia del aumento del precio, que promedió los USD 10.700 por tonelada –entre 2010 y 2015 había oscilado entre USD 6.100 y USD 7.400 dólares (grafico 41).

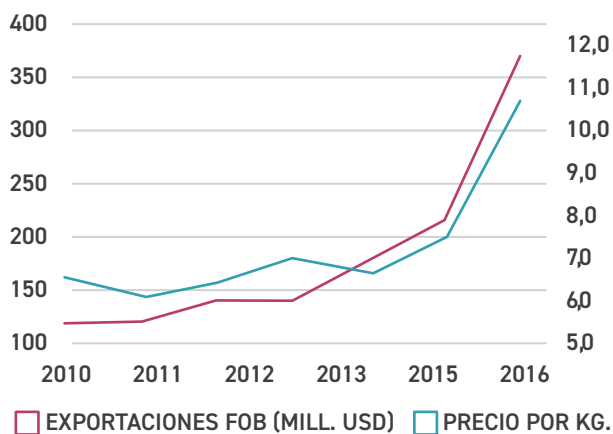


Gráfico41. Evolución de las exportaciones mundiales de óxido e hidróxido de litio (eje izquierdo, valor FOB en USD Millones) y del precio medio por kg de exportaciones (eje derecho) (2010 - 2016)

El hidróxido de litio se utiliza, principalmente, en la producción de grasas y lubricantes, así como aditivo para la coloración de polímeros y telas y para la absorción de CO2 en equipos de refrigeración. Su demanda ha aumentado en los últimos años ya que sus propiedades lo vuelven conveniente como insumo en la fabricación de cátodos de baterías, principalmente litio-níquel-manganeso-cobalto (NMC) y litio-níquel-cobalto-aluminio (NCA). Las proyecciones de precios ubican al hidróxido de litio hacia 2025 en un 42% por encima del carbonato de litio grado técnico (98,5%) y un 20% debajo del carbonato de litio grado batería (99,5%). Este mercado está altamente concentrado en cinco firmas: Albemarle, SQM (estas dos son las que han logrado desarrollar procesos con menores costos de producción), las chinas Tianqi y Ganfeng, y la estadounidense FMC.

En cuanto a la participación de los principales países exportadores de óxido e hidróxido de litio en 2010-2016, Estados Unidos mantuvo la primera posición hasta el 2015 (entre 35 y 38%) para darle lugar a China, a partir de 2016, como principal exportador (38%). Chile (17%), Rusia (12%) y Bélgica (9%) completan la lista (grafico 42). Durante el mismo período, el principal importador fue Japón, con un 24% en 2016,

al igual que Corea, seguidos por India (8%), Bélgica (7%) y Estados Unidos (3%) (grafico 43).

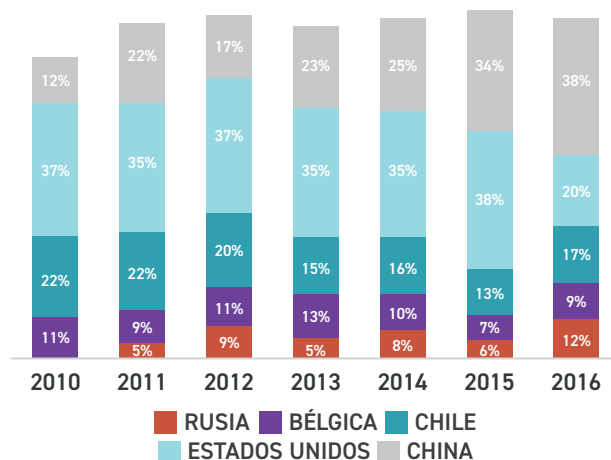


Gráfico42. Participación de los mayores países exportadores de óxido e hidróxido de litio (2010-2016)

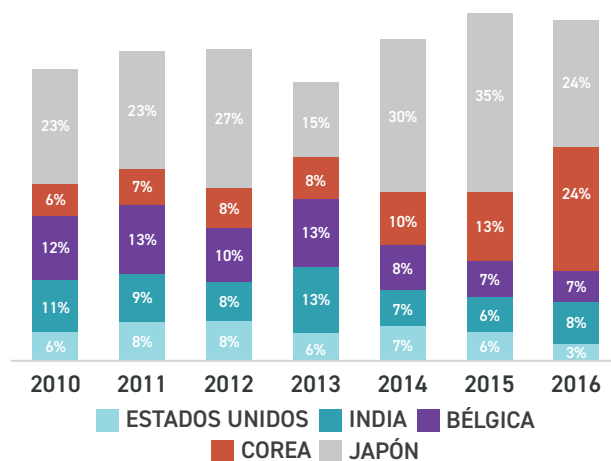


Gráfico43. Participación de los mayores países importadores de óxido e hidróxido de litio (2010-2016)

La producción de grasas y lubricantes es, por su volumen, el tercer mercado más grande de usos del litio: según datos de 2015, representó el 11,3% del total mundial. El litio explica alrededor del 0,3% del costo final de estos productos. La demanda para la producción de grasas y lubricantes crecerá a un ritmo sostenido en los próximos años, según las estimaciones de Deutsche Bank, siendo el uso industrial la principal aplicación (Deutsche Bank, 2016).

En tanto, en 2015, el litio metálico representó el 3% del mercado global de litio. FMC y Ganfeng Lithium son algunos de los productores relevantes a escala global. El

litio metálico se produce por electrólisis, utilizando cloruro de litio de alta pureza (99,5%) y cloruro de potasio como insumos. El proceso es intensivo en energía (entre 35 y 40 KWH por kg de litio metálico), lo que la convierte en un insumo crítico para la viabilidad económica de los proyectos. Este producto se utiliza principalmente en la química del ánodo de baterías primarias, en aleaciones para la industria aeroespacial y en la fabricación de compuestos orgánicos de litio (principalmente, butil-litio). Sin embargo, el mayor potencial del producto sería como insumo en la producción de baterías que se encuentran en etapa de desarrollo –en particular litio-azufre–, y que, en términos teóricos, presentan propiedades superiores a las tecnologías dominantes en el mercado actual. De acuerdo a las estimaciones de Pillot (2016), si el desarrollo resultara exitoso, la tecnología de cátodos litio-azufre estaría disponible para su comercialización cerca de 2024 (ver más sobre el desarrollo de estas baterías en el punto 3.6).

Otros dos productos importantes vinculados a esta cadena son los isótopos 6 y 7 de litio, en especial por su alto valor unitario. El segundo se utiliza casi en su totalidad como aditivo refrigerante en reactores de fisión nuclear, con el fin de evitar la corrosión en los materiales estructurales. También se emplea en la producción de reactivos químicos en la ingeniería de energía nuclear y como insumo para la fabricación de membranas de intercambio iónico de grado nuclear utilizadas en las instalaciones de tratamiento de agua de refrigerante de reactores nucleares de agua a presión.

La producción mundial de litio 7 es de 1 tonelada por año. El precio del producto de grado nuclear es de USD 10.000/kg. El 40% de la producción es utilizado en reactores de agua en Estados Unidos. Sin embargo, este país no produce litio 7 desde 1963, en parte por los problemas ambientales y de salud originados por la utilización de mercurio para el proceso de enriquecimiento, el cual se evaporaba, derramaba o quedaba como residuo. Los únicos productores de litio 7 son Rusia y China aunque este país, según informa, actualmente importa el producto desde Rusia. La fabricación de este producto en Rusia es un derivado del enriquecimiento de litio 6, utilizado en la producción de tritio para armas termonucleares. La principal empresa productora es la Novosibirsk Chemical Concentrates Plant perteneciente al grupo TVEL Fuel Company, que atiende el 80% de la demanda mundial.

Se espera que la demanda de litio 7 aumente velozmente con la producción de reactores de sal fundida

reactores de cuarta generación, actualmente en fase de prototipo. A diferencia de los reactores a agua a presión, que emplean pequeñas cantidades de litio, este tipo de reactores requeriría grandes cantidades –aproximadamente, 1 tonelada por reactor. Asimismo, el nivel de enriquecimiento de litio 7 es mucho mayor (99,995%), lo que implica también precios superiores.

Los riesgos que implica para los Estados Unidos la concentración de la producción de litio 7 en unos pocos oferentes y los bajos stocks de este producto conservados en aquel país han llevado a que su Departamento de Energía encargue un estudio a la U.S. Government Accountability Office para proponer estrategias de abastecimiento frente al potencial crecimiento de la demanda para su uso en reactores de sal fundida. Entre las soluciones presentadas se encuentra la construcción de una planta piloto con capacidad de producción de unos 200 kg anuales, lo que demandaría aproximadamente cinco años, y una inversión de USD 10 Millones. Por su parte, otra alternativa sería el reemplazo del litio 7 por hidróxido de potasio (KOH), requiriendo un proceso de investigación que, según se ha estimado, llevaría alrededor de 10 años.

En tanto, el litio 6 ha sido, hasta el momento, la principal fuente de tritio para armas termonucleares. Sin embargo, en el futuro se proyecta como insumo en la generación de energía mediante fusión nuclear. El principal proyecto en desarrollo es llevado adelante por el consorcio ITER, que se propone construir en el sur de Francia un dispositivo de fusión magnética para demostrar la viabilidad de dicha tecnología como fuente de energía a gran escala y libre de carbono. Los combustibles fundamentales en la generación de energía por fusión son el deuterio y el tritio (125 kg al año de cada uno). Mientras que el primero es abundante en la naturaleza, el segundo es escaso y, por lo tanto, es generado artificialmente en reactores por el isótopo 6 de litio. Asimismo, uno de los objetivos de la operación de ITER es demostrar la viabilidad de producir tritio dentro del recipiente de vacío, puesto que se teme que el suministro mundial de tritio no sea suficiente para cubrir las necesidades de las futuras centrales eléctricas. Según se estima, cada reactor nuclear podría demandar entre 8 y 9 TN de litio 6 para producir 1.500 MW de potencia durante un año. El litio 6 tendría también una aplicación como detector de neutrones en satélites, lo que permitiría evitar la destrucción generada en dichos artefactos al atravesar una nube de esas partículas.

LAS BATERÍAS DE ION-LITIO, TIPOS Y USOS

La batería de ion-litio es un tipo de batería recargable en la que los iones de litio se mueven desde el electrodo negativo al electrodo positivo durante la descarga y recorren el camino inverso al cargar. Como se ve en el gráfico 44, una batería de ion-litio está compuesta por un ánodo, un cátodo, un electrolito, un separador y colectores de corriente.

Una celda electroquímica (o, más usualmente, un conjunto de ellas) es una batería eléctrica, acumulador eléctrico o pila. Las celdas electroquímicas convierten la energía eléctrica en energía química y viceversa. En las baterías ion-litio, cuando la celda se carga, los iones de litio fluyen desde el cátodo al ánodo donde se almacenan. Cuando la celda se descarga, los iones de litio se disocian del ánodo y se mueven al cátodo a través del electrolito y los

electrones son transportados por el circuito externo para realizar su trabajo. El ánodo es el electrodo negativo, y como los electrones salen de la batería a través del ánodo, debe estar compuesto de un material con una alta conductividad electrónica y una gran capacidad de ciclado (típicamente se utiliza grafito). El cátodo es el electrodo positivo y debe ser capaz de aceptar y liberar iones de litio y electrones. Los cátodos generalmente están hechos de un óxido metálico de litio que puede oxidarse cuando se remueve el litio.

Las baterías de ion-litio proporcionan fuentes de energía livianas y de alta densidad para una variedad de usos. Existen diferentes clasificaciones sobre los usos de las baterías de litio. Se pueden identificar cinco grupos que se detallan en la tabla 19.

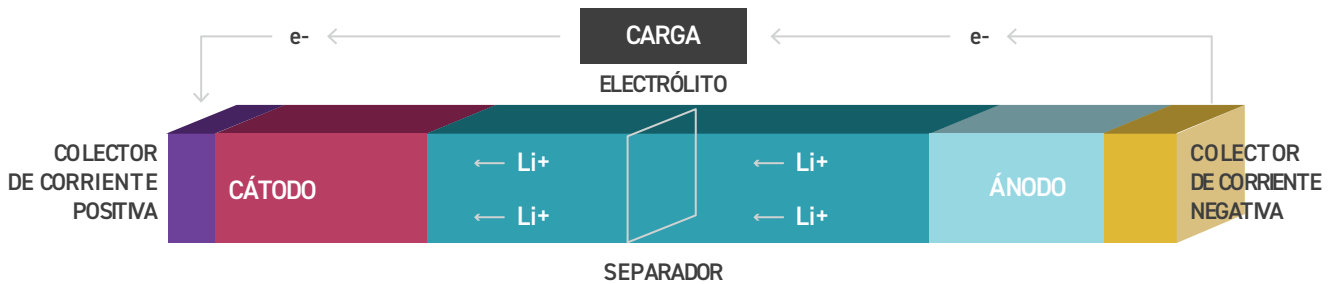


Gráfico44. Esquema de una batería de ion-litio

MOVILIDAD		HEV (Vehículos eléctricos híbridos) P-HEV (Vehículos eléctricos híbridos enchufables) EV (Vehículos eléctricos) Bicicletas eléctricas
INDUSTRIAL	MOVIL	Auto elevadores, otros
	ESTACIONADO	Telecomunicaciones, UPS (fuentes de energía para interruptores), sistemas de almacenamiento de energía, equipamiento médico, iluminación de emergencia, seguridad, señalización ferroviaria, encendido de generadores diesel, tablero de control y distribución.
HERRAMIENTAS ELÉCTRICAS		Agujereadoras, taladros, destornilladores, herramientas de jardinería.
PORTÁTILES		Dispositivos eléctricos de consumo, celulares, PC portátiles, tablets, cámaras, recopilación de datos, terminales portátiles.
SLI		Baterías para luz, arranque y encendido (SLI) para automóviles, camiones, motos botes, etc
MÉDICOS		Sillas de rueda, carros médicos, dispositivos, (herramientas quirúrgicas, instrumentos portátiles, rayos x, ultrasonido, grandes concentrados de oxígeno)

Tabla19. Clasificación de usos de baterías y ejemplos

Hay una serie de criterios que son de gran importancia para el funcionamiento de la batería y, por lo tanto, para la selección de los mejores materiales y diseños del cátodo, del ánodo y del electrolito: voltaje de la celda, energía específica (WH/kg de cátodo), densidad de potencia (W/kg de cátodo), máxima temperatura segura de funcionamiento, número posible de ciclos de carga/descarga, efecto de memoria, seguridad, vida útil y costo. Los materiales catódicos más utilizados en baterías recargables de ion-litio son:

ÓXIDO DE COBALTO DE LITIO

Abreviación LCO; fórmula química LiCoO_2 . Este fue el material de cátodo utilizado en la primera batería recargable de ion-litio que se produjo industrialmente en 1991, y sigue siendo el material de cátodo más usado en baterías para dispositivos electrónicos de consumo. La energía específica es bastante alta el productor canadiense de materiales catódicos Targray establece un rango de 110-190 WH (la celda Panasonic CGR18650E, muy utilizada en la industria, llega a 203 WH/kg), pero su seguridad puede ser baja ante sobrecalentamiento o sobrecarga.

Sobre esto se han reportado varios incidentes de incendio o explosión, lo cual hace cuestionar su utilización en autos eléctricos. Por su parte, el uso de cobalto puede generar impactos ambientales negativos si la batería no se recicla de forma adecuada.

Adicionalmente, el cobalto es un metal costoso. Es probable que la utilización de este tipo de baterías se reduzca progresivamente frente al avance de tecnologías con las que compite como la de litio-ferrofosfato (LFP) y la de litio, níquel, manganeso y óxido de cobalto (NMC). Las baterías que utilizan tecnología LCO son empleadas en gran medida en dispositivos electrónicos como smartphones y tablets. A pesar de la pérdida de terreno frente a otras tecnologías, la de LCO va a incrementar su participación en el uso para computadoras portátiles debido a sus diseños más delgados. Los fabricantes de estos tipos de productos, como Samsung y Apple, han confirmado que LCO será la primera elección a futuro.

LITIO-FERROFOSFATO

Abreviación LFP; fórmula química LiFePO_4 . Este material de cátodo es utilizado principalmente en baterías para vehículos eléctricos, en particular automóviles. Su energía específica (108 WH/kg o 95-140 WH/kg) es menor que la de las baterías LCO convencionales; no obstante, ofrece el nivel de seguridad más alto entre las químicas de cátodos de litio que aquí se mencionan. Asimismo, tiene menores costos de producción debido a que no utiliza cobalto y el impacto ambiental es limitado. Siguiendo a Sanders (2017), la demanda de LFP está impulsada por su utilización en vehículos eléctricos (incluyendo autobuses y bicicletas) y aplicaciones industriales estacionarias. Según el mismo informe, los industriales chinos han consensuado que la tecnología LFP será dominante al menos por los siguientes diez años en estos usos. Los principales determinantes son la vida útil y el bajo costo, siendo su relativamente baja densidad de energía un obstáculo no determinante.

LITIO, NÍQUEL, MANGANESO, ÓXIDO DE COBALTO

Abreviación NMC; fórmula química $\text{Li}(\text{Ni}_{0,33}\text{Mn}_{0,33}\text{Co}_{0,33})\text{O}_2$. Es una de las variantes de cátodo utilizadas para fabricar baterías para vehículos de propulsión eléctrica, esencialmente vehículos eléctricos (EV por sus siglas en inglés), scooters y bicicletas eléctricas. Su energía específica (95-130 Wh/kg) es menor que la de las baterías LCO. Al igual que en estas últimas, aquí la seguridad también puede ser motivo de preocupación. A pesar de sus desventajas, esta tecnología es utilizada en combinación con LMO (ver a continuación), siendo la parte NMC de las baterías la que proporciona mayor autonomía a los automóviles. Mientras que la tecnología LFP es la dominante en China, LG, Panasonic y Samsung han coincidido en que la variante NMC será la primera opción para EV en Japón, Estados Unidos y Europa.

LITIO, MANGANESO, ESPINELA

Abreviación LMO; fórmula química LiMn_2O_4 . Su energía específica (110-120 WH/kg) es menor que la de las baterías LCO, pero su seguridad es mucho mayor y su costo de producción es menor dado que

no utiliza cobalto, lo cual también reduce el impacto ambiental (similar a lo observado para LFP). A pesar de su bajo costo y de sustentabilidad, al presente la tecnología LMO casi nunca es la primera opción para fabricar cátodos de ion-litio. Su uso al momento se concentra en herramientas eléctricas; a futuro su demanda estará impulsada por su utilización (combinada con NMC) en vehículos eléctricos, primero en Japón, Estados Unidos y Europa, y luego (del 2025 en adelante) en China.

LITIO, NÍQUEL, COBALTO, ALUMINIO

Abreviación NCA; fórmula química LiNiCoAlO_2 . Aunque posee una alta energía específica (200-260Wh/kg), una potencia razonablemente buena y una larga vida útil, las variables de seguridad y costo de las baterías que usan NCA no son muy favorables. No obstante, debido a la mayor densidad de energía y potencia, ha sido la tecnología elegida por Tesla para sus automóviles y no se espera que modifique esta decisión en los próximos años. La tecnología NCA también se usa en dispositivos eléctricos en celdas con formatos cilíndricos y prismáticos. Los principales productores que utilizan NCA en dispositivos eléctricos son Panasonic, Sony y Samsung (aunque su primera opción para estos dispositivos seguirá siendo LCO, como se mencionó previamente).

Existen dos tecnologías de baterías en desarrollo que utilizan litio entre sus componentes y, en términos teóricos, presentan condiciones más promisorias que las tecnologías en uso. En primer lugar, se encuentran las baterías litio-azufre. Estas contienen cátodos de azufre de alta capacidad y ánodos de litio que permitirían una producción de bajo costo ofreciendo, al mismo tiempo, una alta densidad de energía. Su desarrollo presenta distintos desafíos, entre los que se encuentran la aislación de las propiedades de azufre y los sulfuros de litio, la disolución de polisulfuros de litio en el electrolito, el cambio de volumen en el cátodo durante el ciclo y la necesidad de pasivar las membranas en el ánodo para inhibir la formación de dendritas.

En segundo lugar, se encuentran las baterías de litio-aire. Este tipo de batería, que utiliza oxígeno del aire, es la que tiene la mayor densidad energética en términos teóricos: 3.500 WH/kg. Las estimaciones de acumulación real indicarían un valor de entre 500 y 1.000 WH/ kg, lo que permitiría que un vehículo eléctrico recorra una distancia de unos 500 km sin necesidad de recarga. Queda mucho por recorrer en el proceso de desarrollo de estas baterías, puesto que aún se deben

conocer mejor los procesos electroquímicos que rigen su funcionamiento. Por una parte, se utilizan electrodos de litio metálico que todavía no ofrecen una ratio de capacidad del ciclo carga/descarga que sea eficiente. Asimismo, la solución de electrolitos y del cátodo es inestable, mientras que el manejo y filtrado del aire requieren soluciones ingenieriles novedosas.

LA CADENA DE VALOR DE LAS BATERÍAS DE ION-LITIO

La cadena de valor en la fabricación de baterías de ion-litio puede dividirse en 6 grandes eslabones (grafico 45):

- *Materias primas*
- *Fabricación de los componentes de las celdas (es decir, el ánodo, el cátodo, el electrolito y los separadores)*
- *Fabricación de celdas*
- *Producción de baterías*
- *Usos de las baterías*
- *Reciclado de las baterías*

Aquí se desarrollarán, principalmente, los primeros 4 grandes eslabones, es decir que no profundizará sobre los usos de baterías, así como tampoco sobre la etapa de reciclado. La cadena de valor de las baterías de ion-litio se caracteriza por un alto nivel de especialización, una creciente concentración de mercado al interior de cada eslabón, resultado de una ola de fusiones y adquisiciones, y por bajos niveles de integración vertical. En efecto, como puede verse en el grafico 46, que muestra a las empresas más grandes de cada etapa (incluyendo las del eslabón de usos de baterías como producto final), solo LG Chem opera a lo largo de cuatro eslabones de la cadena, desde la

fabricación de componentes a la de baterías. Por su parte, los fabricantes de vehículos Tesla (automóviles) y BYD (buses) y la empresa de electrónica Panasonic se ubican en tres eslabones, produciendo las celdas que luego utilizan para la elaboración de sus baterías. En cuanto al resto de las firmas identificadas, apenas algunas participan de dos eslabones de la cadena, mientras que la mayoría solo opera en uno.



Gráfico45. Cadena de valor simplificada en la fabricación de baterías

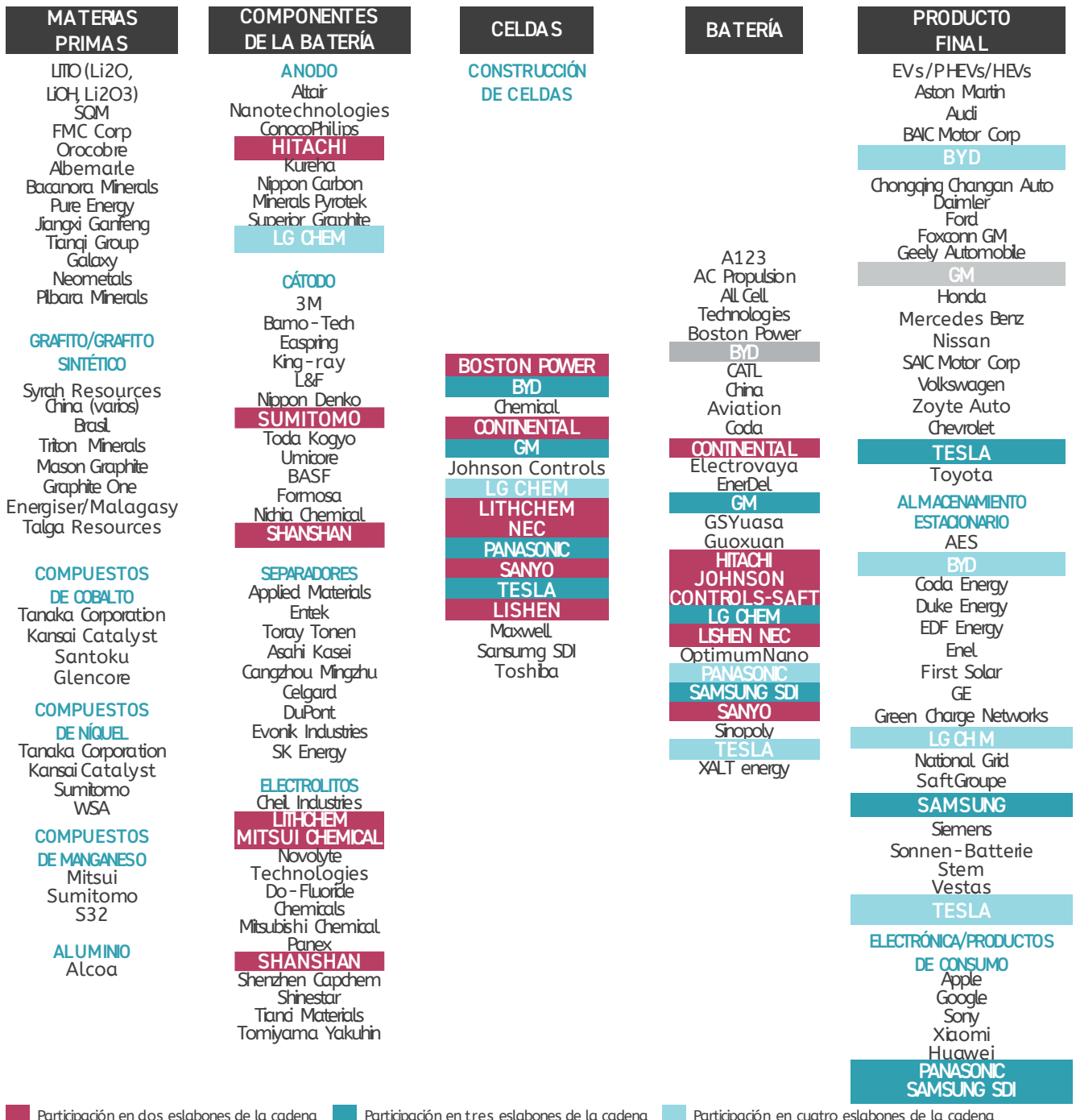


Gráfico46. Principales empresas en la cadena de valor de baterías (2015)

■ Participación en dos eslabones de la cadena ■ Participación en tres eslabones de la cadena ■ Participación en cuatro eslabones de la cadena

Mientras que en los eslabones relacionados con la actividad extractiva prevalecen las empresas originarias de Australia, Estados Unidos y Canadá, a medida que se avanza en la cadena de valor asumen una posición dominante los países asiáticos, en particular China, Corea del Sur y Japón. Las proyecciones indican que estos países, en particular el primero de ellos, continuarían aumentando su participación de mercado en estos eslabones finales.

En verdad, el caso de China merece una mención particular porque ha ido ganando presencia a lo largo de toda la cadena. Como se ha señalado, este país es el principal importador de carbonato de litio, fundamentalmente desde Chile y la Argentina y el mayor refinador de mineral de espodumeno, importado desde Australia, en gran parte a partir de las actividades de Tianqi Lithium en aquel país. Asimismo, China tiene una gran capacidad de producción de compuestos de litio elaborados en base a estos dos insumos, incluyendo en particular el hidróxido de litio, con una proyección de crecimiento elevada por su uso en baterías que incluyen níquel y el litio metálico. Asimismo, las firmas chinas que operan aguas abajo en la cadena buscan asegurarse el acceso al litio. Ganfeng Lithium, por ejemplo, tiene una participación en la explotación de mineral de espodumeno en Mount Marion, Australia, y en los proyectos de los salares de Mariana y de Cauchari-Olaroz, en la Argentina. Aún más abajo en la cadena, BYD creó en marzo de 2017 un joint venture con Qinghai Salt Lake Industry Co. y con Shenzhen Zhuocheng Investment para actividades de exploración, procesamiento y venta de litio en salares de China.

MATERIAS PRIMAS

Existen distintos elementos que se utilizan para fabricar los diferentes componentes utilizados en las celdas de baterías de ion-litio, incluyendo: litio (Li), níquel (Ni), cobalto (Co), manganeso (Mn), aluminio (Al), cobre (Cu), silicio (Si), estaño (Sn), titanio (Ti) y carbono (C) en una variedad de formas (por ejemplo, grafito natural o sintético). Estos elementos se obtienen a partir de materias primas extraídas de la corteza terrestre o recuperadas del agua.

Algunos de estos materiales tienen una gran importancia económica a la vez que existe un alto riesgo en su abastecimiento, y como tales se denominan “*materias primas críticas*”. Entre los materiales utilizados en las

celdas de ion-litio hay tres que los Estados Unidos han incluido en esta categoría: cobalto, grafito natural y silicio (metal). A continuación, se resume información sobre recursos, reservas y sustituibilidad de estos tres materiales.

EL COBALTO

Se utiliza para una serie de aplicaciones industriales, como baterías, super aleaciones, materiales duros, carburos, herramientas de diamante, pigmentos, catalizadores, imanes, etc. El uso en baterías tiene la mayor participación entre estas aplicaciones, equivalente a alrededor del 37% del total del mercado. En baterías de ion-litio, el cobalto es un componente en varios materiales activos de cátodo ampliamente utilizados. Los recursos terrestres de cobalto identificados son de aproximadamente 25 Millones de toneladas métricas. También se han identificado más de 120 Millones de toneladas métricas de recursos de cobalto en nódulos y costras de manganeso en el suelo de los océanos Atlántico, Índico y Pacífico. A comienzos de 2016 las reservas mundiales se estimaron en 7,1 Millones de toneladas métricas y la producción total en 2015 ascendió a 0,124 Millones de toneladas métricas. La República Democrática del Congo es la principal fuente de cobalto, suministrando el 51% del volumen del mercado; los siguientes productores China, Rusia, Canadá y Australia tienen cada uno una participación mucho menor.

El balance de mercado pronosticado en 2016 para el cobalto refleja que la oferta superará levemente a la demanda hasta el año 2020, momento en el que tenderá a equilibrarse. Las proyecciones a más largo plazo, que incluyen supuestos sobre penetración de vehículos eléctricos hasta el 2050, muestran que la demanda acumulada de cobalto requeriría de todos los recursos conocidos hoy en día, incluso considerando su relativamente alta tasa de reciclaje en baterías. Sin embargo, esta estimación se basa en el supuesto de que la tecnología NMC seguirá siendo ampliamente utilizada hasta 2050, lo cual no es seguro debido a que se espera que se introduzcan nuevas tecnologías que empleen otros materiales. Finalmente, la tasa de sustitución del cobalto es baja (el índice de sustituibilidad para todas las aplicaciones es de 0,71 y para las baterías es de 0,8).

EL GRAFITO NATURAL

Se utiliza en una serie de aplicaciones industriales: electrodos, refractarios, lubricantes, fundiciones y en baterías como material activo anódico. La aplicación

en baterías tiene una proporción relativamente baja, cercana al 4%. La producción mundial en 2015 ascendió a 1.200 TN. El 88% de las reservas se concentra en tres países: Turquía (36%), Brasil (29%) y China (22%) ver gráfico 47.

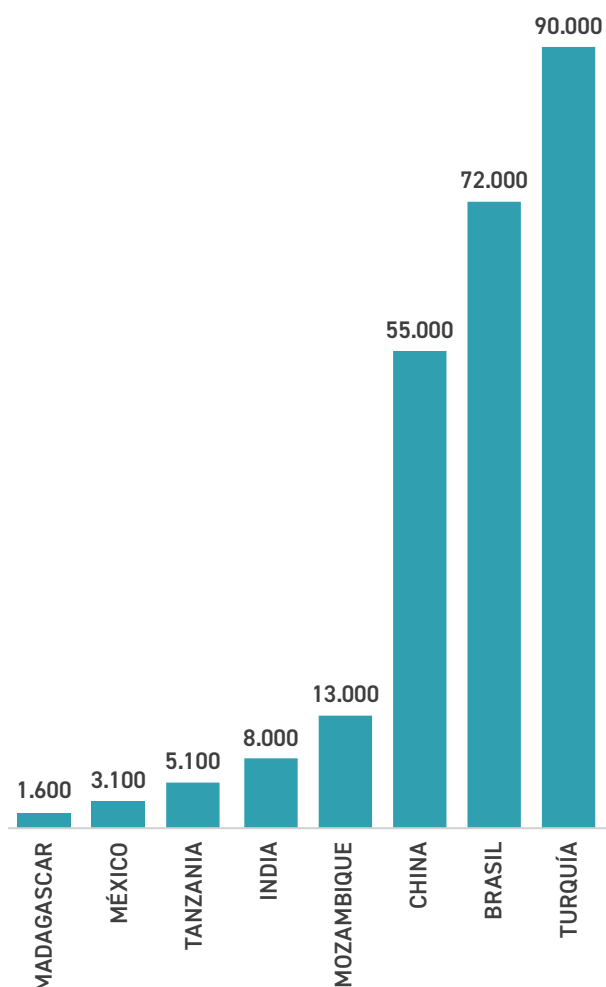


Gráfico 47. Reservas mundiales de grafito natural en 2016, por país (en 1.000 TN)

La producción de grafito natural está altamente concentrada: China produce aproximadamente el 67%, seguida por India (14%) y Brasil (7%) ver gráfico 48. Cabe destacar que hay limitaciones de datos para el caso de Corea del Norte, país para el cual se puede estimar su producción, pero no sus reservas.

En cuanto a la sustituibilidad del grafito natural, el índice para todas las aplicaciones es de 0,72, mientras que para las baterías es menor (0,3) esto es, resulta más fácil de reemplazar. Por su parte, la tasa de entrada de reciclado del grafito natural al final de su vida útil es nula. Sin embargo, por el momento no se prevé un déficit en la demanda de

este material. Se estima que el mercado de grafito natural experimentará un excedente de producción hacia 2020 (es decir, la oferta excederá la demanda en más del 10%).

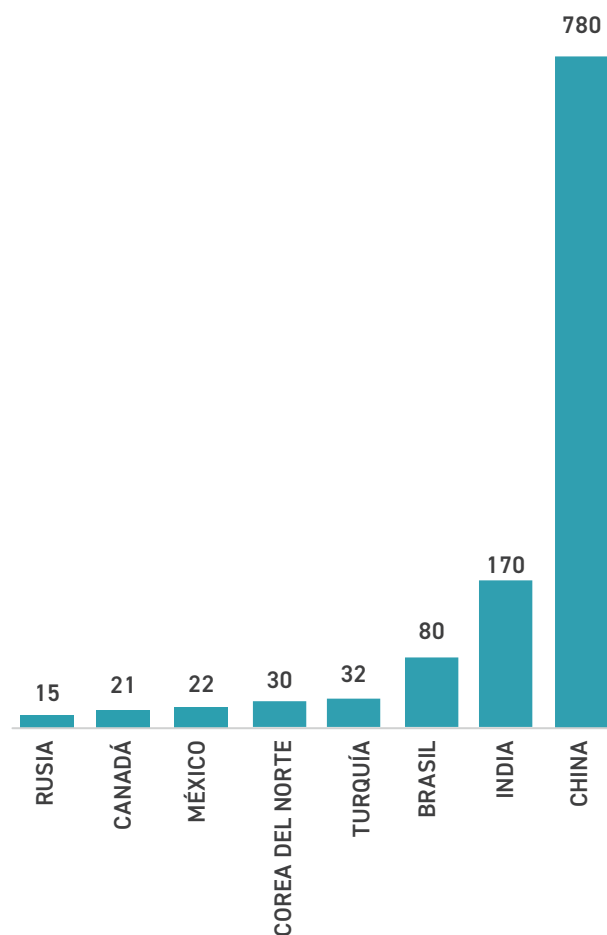


Gráfico 48. Principales países productores de grafito natural en 2016 (en 1.000 TN)

EL SILICIO METÁLICO

Es ampliamente utilizado en las industrias químicas, de pigmentos, metalurgia y electrónica. El silicio y las aleaciones de silicio también están emergiendo como materiales activos de ánodo para las baterías de ion-litio, pero en la actualidad su participación es insignificante en comparación con otras aplicaciones. Los recursos mundiales para fabricar aleaciones y metales de silicio son abundantes y adecuados para satisfacer los requisitos del mercado durante las próximas décadas. La fuente de silicio es la sílice en diversas formas naturales, como la cuarcita. Las reservas en la mayoría de los principales países productores también son amplias en relación con la

demanda, no hay estimaciones cuantitativas disponibles. La producción mundial de silicio metal en 2015 ascendió a 8.100 TN y estaba altamente concentrada, con China aportando el 68%, Rusia el 8%, Estados Unidos el 5% y Noruega el 4%. En el gráfico 49 se puede observar cómo ha evolucionado la producción mundial de silicio desde 2010 hasta 2016, teniendo un pico en el 2014 de 8.110 TN y volviendo en 2016 (7.200) a los valores de 2010 (7.290). El silicio metálico tiene una muy baja sustituibilidad, con un índice de 0,81, para todas las aplicaciones. Al igual que el grafito, la tasa de entrada de reciclado al final de vida útil del metal de silicio es nula.

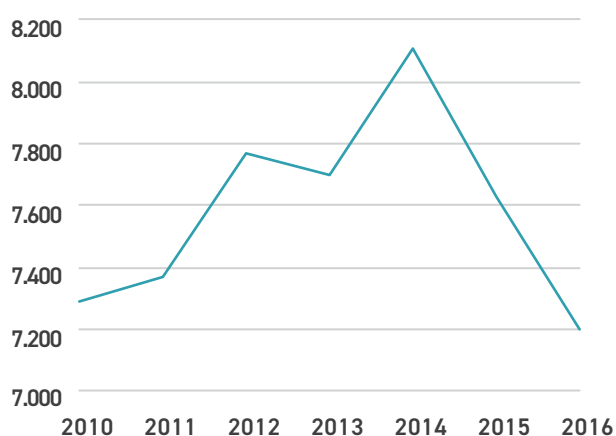


Gráfico 49. Producción mundial de silicio 2010-2016 (en 1.000 TN)

PRODUCCIÓN DE COMPONENTES PARA LAS CELDAS

Podemos agrupar los componentes de celdas para baterías en 4 grupos: el cátodo, el ánodo, los electrolitos y los separadores. A continuación, se presenta un resumen sobre estos conjuntos de materiales, sus mercados y los actores principales.

La lámina de cobre se utiliza como colector de corriente para ánodos en celdas de ion-litio. Los líderes del mercado en la producción de láminas de cobre para aplicaciones de baterías son las japonesas Furukawa Electric, Nippon Foil Mfg. y Nippon Denkai. En tanto, diversos materiales carbonosos tales como grafito natural y artificial, carbón amorfo y mezclas de carbón amorfo y cristalino y, más recientemente, óxidos y aleaciones de estaño y silicio, así como de litio-titanato (LTO), se utilizan como materiales activos anódicos.

Históricamente, la producción de materiales activos anódicos ha estado dominada por Japón y China.

En 2011, tres productores tuvieron una participación de mercado del 65%: las japonesas Hitachi Chemicals (34%) y Nippon Carbon (19%), y la china BTR Energy (12%). En 2015, estas 3 compañías seguían siendo líderes en el mercado de materiales activos de ánodo, dominando el 61% del mercado. Otros productores de materiales activos de ánodo incluyen a las japonesas Mitsubishi Chemical y Tokai Carbon, la coreana LS Mtron Carbonics, y la china ShanshanTech. Se espera que el mercado de materiales activos anódicos crezca de 76.000 a más de 250.000 TN entre 2015 y 2025.

En lo que se refiere a la fabricación material activo de cátodo, que es el componente más sensible de la batería, en 2016 se produjeron aproximadamente 211.000 TN. Como se observa en la tabla 20, cada tipo de cátodo está liderado por distintas empresas, con unas pocas, como Umicore, Pulead y ShanShan, que operan en más de un mercado. Esto indica que la especialización antes mencionada no solo se da al interior de los eslabones, sino dentro de cada uno de ellos. Los niveles de concentración de mercado en el segmento de material activo de cátodo son también muy elevados. Las diez firmas más grandes controlan más del 80% del mercado y, en los casos de las tecnologías LCO y NCA, casi la totalidad del mismo. Asimismo, también en este rubro la participación de China como plataforma de producción es notable, ubicándose en torno al 60% en los casos de las tecnologías LCO, NMC y LMO y alcanzando un pico de 92% en LFP que, como se verá más adelante, es la que se fabricaría en la provincia de Jujuy. La única excepción corresponde al material activo de cátodos NCA, el menos relevante en términos de participación en la oferta total, donde China tiene solo un 7% y el dominio está en manos de las firmas japonesas y coreanas.

El mercado mundial de electrolitos para todas las aplicaciones de baterías de ion-litio fue ligeramente superior a las 62.000 TN en 2015. De forma similar a los materiales activos de ánodo y cátodo, la producción de electrolitos para baterías de ion-litio está dominada por los proveedores asiáticos, con China actualmente produciendo cerca del 60% (en peso) del mercado total, seguida por Japón (18%) y Corea (14%). Los nuevos participantes en el mercado mundial de electrolitos para baterías de ion-litio son compañías como la coreana LG Chem, la estadounidense DuPont y la japonesa Daikin. Se espera que el

mercado de electrolitos crezca de las 62.000 TN de 2015 a más de 235.000 TN en 2025, con un aumento de la participación del segmento automotriz del actual aproximado de 33% a alrededor de un 50% del mercado.

El mercado total de separadores para todas las aplicaciones de baterías de ion-litio fue de aproximadamente 900 Millones de m2 en 2015. Cerca del 30% de esta oferta abastece a la producción de celdas de baterías de ion-litio para su aplicación en la industria automotriz.

De la misma forma que en los casos anteriores, el mercado de separadores para baterías de ion-litio está dominado por Asia, con una cuota de mercado para Japón del 48% (por área de superficie del producto), seguido por China (17%) y Corea (10%), datos a 2015. Los líderes del mercado son las japonesas Asahi Kasei y Toray Tonen, y la coreana SK Energy. Se espera que el mercado de separadores de baterías de ion-litio continúe creciendo, alcanzando aproximadamente 2.700 Millones de m2 en 2025, impulsado en

gran medida por las necesidades de los vehículos y autobuses eléctricos.

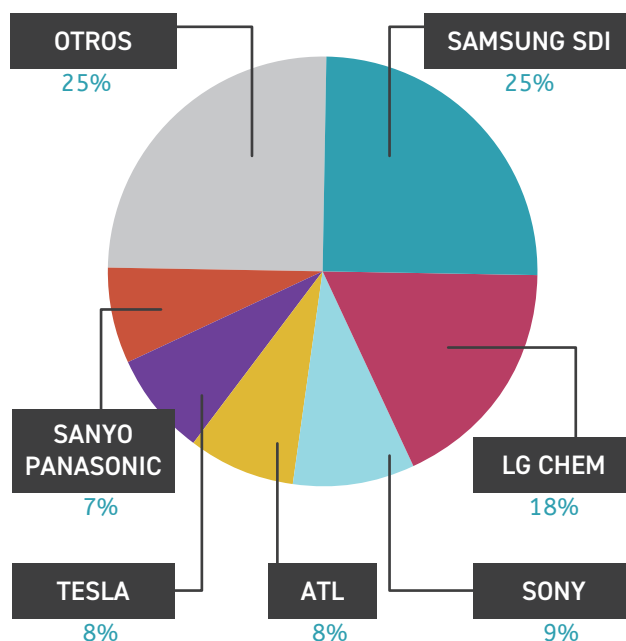


Gráfico50. Participación de las principales empresas fabricantes de celdas para baterías de ion-litio en 2015

LCO		NMC		NCA		LFP		LMO	
-21%		-26%		9%		36%		8%	
EMPRESA	%	EMPRESA	%	EMPRESA	%	EMPRESA	%	EMPRESA	%
L&F	16	Internal	14	Sumitomo	73	Pulead	13	Qyanyun	14
Umicore	15	Umicore	12	Toda Kogyo	10	BYD	8	Posco	12
B&M	12	Shan Shan	12	Ecopro	5	Zhuoneng	6	JGC	12
Pulead	12	Xiamen	10	Nihon Kagaku	5	STL	5	Mitsui	9
		Tungsten		Kelong				5	
Top 5	65		57		98		35		59
Top 10	>98		89		>99		n.d		82
% de China	61		59		7		92		60

Tabla20. Participación de las empresas líderes en la oferta mundial de material activo de cátodo (2016)

PRODUCCIÓN DE CELDAS

En 2016 se vendieron alrededor de 6.400 Millones de celdas de baterías de ion-litio; el valor aproximado de dicho mercado fue de USD 22,5 miles de Millones. Las compañías asiáticas dominan el mercado, con destaque para las coreanas Samsung SDI y LG Chem, las

japonesas Sanyo-Panasonic y Sony, y la china ATL, a las que se suman la estadounidense Tesla (grafico 50).

En 2015 la capacidad de producción global de celdas para baterías de ion-litio para todas las aplicaciones fue de aproximadamente 100 GWH (concentrándose en Japón, China y Corea del Sur cerca del 90% del total de dicha capacidad), de los

cuales 40 GWH fueron para celdas de ion-litio utilizadas en baterías portátiles y 60 GWH para todas las demás aplicaciones, incluida la automotriz, para la cual cerca del 80% de la capacidad de producción se ubicó en Asia. En 2015 alrededor del 30% de las ventas totales de celdas de baterías de ion-litio tuvo como principal destino el sector automotriz.

Entre 2014 y 2016 la capacidad de fabricación de celdas de ion-litio para uso automotriz ha aumentado significativamente, en el caso de Corea creció aproximadamente 1,5 veces, en Japón 2,4 veces y en China 2,7 veces. A partir de 2017 se observa un crecimiento importante de la capacidad en Estados Unidos como resultado de la entrada en producción de celdas de la Tesla Gigafactory (previamente fabricaba baterías utilizando celdas producidas por otras firmas). Los fabricantes de celdas para aplicaciones automotrices, además de Tesla, incluyen a las japonesas Panasonic, GS Yuasa, AESC, Li Energy Japón, y Toshiba, las coreanas Samsung SDI y LG Chem, y las chinas BYD, Wanxiang y Lishen Tianjin.

PRODUCCIÓN DE BATERÍAS

En lo que se refiere a la fabricación de battery packs y baterías, los principales productores son, por lo general, empresas de electrónica y vehículos. También aquí los países asiáticos son los líderes, aunque en este caso encabezados por Japón, que, en 2015, explicó el 58% del mercado de baterías. China, sin embargo, ha aumentado rápidamente su participación en este segmento, pasando del 10% en 2014 al 22% en 2015. Este crecimiento ha sido impulsado, fundamentalmente, por la demanda explosiva de vehículos eléctricos en el país.

El mercado de baterías de ion-litio para todas las aplicaciones fue de más de USD 22.000 Millones en 2015; la cuota del sector automotriz fue ligeramente inferior a los USD 8.000 Millones en dicho año, y se espera que siga aumentando en el futuro con el creciente uso de los vehículos eléctricos. Se espera que para 2025 la participación del sector automotriz en el mercado mundial de baterías se eleve al 64% solo China explicaría el 43% del total de mercado.

Los fabricantes de EV tienen diferentes estrategias respecto de las baterías, ya que, mientras algunos las

diseñan y producen internamente, otros las adquieren de proveedores especializados. Sin embargo, la mayoría de ellos mantiene una competencia tecnológica básica en torno al diseño del battery pack, aun cuando subcontraten su fabricación y respecto del sistema de administración de las mismas para mantener algunos márgenes de control del proceso productivo y cierto nivel de ganancias. La consideración de las circunstancias específicas de la cadena de valor de la fabricación de celdas de ion-litio en diferentes regiones (Estados Unidos, Unión Europea, China, Japón) puede ayudar a explicar las distintas estrategias de fabricación adoptadas por los productores ubicados en cada una de ellas. Por ejemplo, mientras que la empresa estadounidense General Motors contrata la fabricación completa de las celdas y de las baterías, las europeas BMW, Renault y Daimler mantienen el diseño y la fabricación del battery pack in-house, las japonesas Nissan y Mitsubishi además producen las celdas mediante subsidiarias controladas, y la china BYD mantiene el control completo sobre la producción de las celdas, y sobre el diseño y la fabricación de los battery packs.

Se puede observar, entonces, que las empresas japonesas y chinas normalmente preservan un mayor control en todas las etapas hasta el segmento de fabricación de baterías y celdas. Por su parte las empresas europeas no cuentan con capacidad de producción dentro de sus países, aunque, intentan mantener el diseño y ensamblaje de las baterías in-house. En Estados Unidos, en tanto, los dos actores principales en el negocio de EV, Tesla y General Motors, están adoptando estrategias opuestas. Tesla, en lugar de depender de la cadena de suministro, opta por producir la mayoría de sus componentes clave. General Motors, por otro lado, opta por externalizar toda su fabricación de celdas y baterías, incluido el sistema de gestión de estas últimas.

Una aplicación promisoriosa e incipiente para las baterías de ion-litio es en el almacenamiento de energía. En 2015, el 94% de la capacidad global total de las instalaciones de almacenamiento de energía correspondía a plantas hidráulicas de bombeo. Como la demanda de energía varía constantemente, cuando la misma es baja las centrales hidroeléctricas bombean el agua al embalse superior, y cuando la demanda de energía aumenta, estas bombas se apagan para incrementar la generación de energía hidroeléctrica. De esta manera el almacenamiento se materializa en reservas del potencial gravitacional de energía del agua en horas de baja demanda para ser luego utilizado en horas pico. Debido a la pérdida de energía en el proceso de bombeo, la eficiencia total de la energía almacenada por este método es del 70-80%.

Una alternativa a este proceso sería usar baterías de ion-litio. En 2015, la capacidad instalada de almacenamiento de energía mediante baterías de acumulación fue de 1,1 GWH, de los cuales cerca del 30% se encontraba en Estados Unidos (350 MWH). Para el 2025 la utilización de baterías para almacenamiento de energía crecerá hasta 50 GWH anuales. Esta estimación se basa en las expectativas sobre el auge de las baterías de ion-litio, las mejoras en su desempeño y la reducción de su costo.

Aunque entre los tipos de baterías que se utilizan para almacenamiento se encuentran las de plomo-ácido, sodio-azufre, haluro metálico sódico y baterías de flujo, las de ion-litio serían aquellas en las que se espera una mayor reducción de costos. Se observa que los niveles de integración vertical en este tipo de baterías son muy bajos. Sus productores adquieren en el mercado buena parte de los componentes vinculados a carcasas y electrónica. Su precio, en tanto, es mucho más elevado que el de las baterías para automóviles: mientras que, en 2016, el costo de un battery pack de ion-litio para automóviles eléctricos rondaba los USD 410/KWH, el costo de los productos de almacenamiento de energía basados en baterías de ion-litio rondaba los USD 1.000/KWH. Existen otras consideraciones que han limitado la penetración de las baterías de ion-litio, incluyendo problemas asociados a la gestión de la temperatura, la profundidad de descarga y su vida útil. Sin embargo, la reducción esperada de sus costos haría que estas debilidades sean cada vez un obstáculo menor para su penetración en el mercado de almacenamiento de energía.

Los diferentes tipos de baterías de almacenamiento de energía dependen de los requerimientos para sus aplicaciones, con variables determinantes como la capacidad de carga, profundidad de descarga, vida útil, tiempos de los ciclos de carga/descarga, seguridad, dimensiones, y costos entre otros. Entre los varios usos que tienen las baterías de almacenamiento los más relevantes son los siguientes:

- *Cambios en picos (peak shifting)*
- *Cambios de carga (load shifting)*
- *Gestión de red*

- *Servicios auxiliares*
- *Reserva de potencia*

Como ya se mencionó, se espera que la capacidad total instalada de baterías para almacenamiento llegue a 50 GWH en 2025; dentro de este total, el uso más importante será el de “*cambios en picos*” (40 GWH), impulsando un mercado de USD 3.900 Millones. En cuanto al llamado “*cambio de carga*”, se requieren mayores reducciones de costos para que su aplicación se generalice (hoy compiten con sistemas como los de bombeo hídrico); se estima que este uso genere una capacidad demandada de 7,3 GWH en 2025. Asimismo, se espera que para 2025 la tecnología ion-litio sea líder en 4 de las 5 aplicaciones citadas (la excepción sería la de reserva de potencia, donde las baterías de plomo-ácido mantendrían su predominio). La proyección sobre la participación de las baterías ion-litio en la demanda de estas 5 aplicaciones para 2019 es del 95%, en 2015 llegaba al 56%.

PRODUCCIÓN DE BATERÍAS Y DERIVADOS DE LITIO EN LA ARGENTINA

En esta sección se analizarán las iniciativas argentinas en las actividades “*aguas abajo*” en la cadena de valor del litio. La presentación está organizada en torno a dos grandes segmentos de dicha cadena: en primer lugar, los compuestos y productos derivados de litio, en particular, hidróxido de litio, litio metálico e isótopos 6 y 7 de litio; en segundo lugar, las baterías de ion-litio y sus componentes.

PRODUCTOS EN BASE A LITIO

En la Argentina, el modelo de negocios implementado por las firmas que operan en los salares ha privilegiado la producción local de carbonato de litio, en el caso de FMC, también cloruro de litio, para el posterior procesamiento de sus derivados en el exterior. Ello ha conducido a que el país deba importar el hidróxido de litio utilizado para la producción local de los bienes que lo necesitan como insumo (grafico 51).

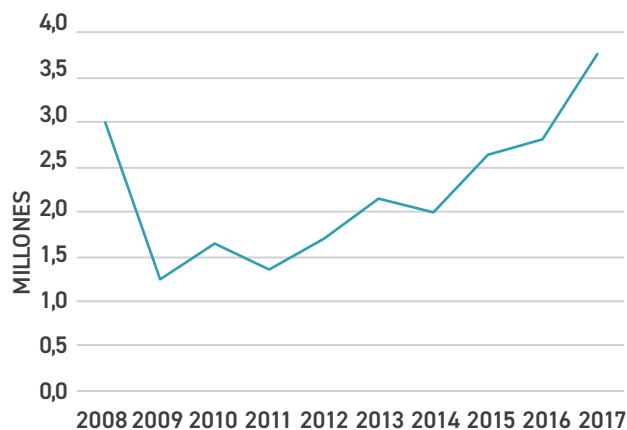


Gráfico51. Importaciones de óxido e hidróxido de litio en la Argentina (valor CIF en USD Millones; 2008-2017)

En el grafico 52, se observa la distribución geográfica de la cadena de producción de litio de FMC. Allí se aprecia que el hidróxido de litio, el bromuro de litio, el butil-litio, el litio metálico y sus derivados se elaboran en las plantas que la firma tiene en Estados Unidos, China, India y el Reino Unido. Mientras que en

el caso del butil-litio la cercanía geográfica con el lugar de demanda final se justifica por la peligrosidad de su traslado, en el resto de los casos existirían oportunidades para la expansión de la producción local en la Argentina.

Según se aprecia en el último informe anual presentado por FMC, la empresa está en proceso de profundizar este modelo de división del trabajo. En 2017, la capacidad de producción de hidróxido de litio se expandió en China unas 9.000 TN, lo que representa una ampliación del 90% de la planta, que ahora llega a 19.000 TN. Hacia 2019, el objetivo de la compañía es alcanzar una capacidad de producción de 30.000 TN. En la Argentina, por su parte, FMC invertirá unos USD 300 Millones para elevar la capacidad de producción de carbonato de litio a unas 40.000 TN hacia 2022. La fuente de ingresos de su división litio se ha modificado sustancialmente: la participación del hidróxido de litio pasó de 27% (2014) de los ingresos al 59% (2018), mientras que, como contrapartida, el carbonato de litio cayó de 54% a 35% y el butil-litio y otros compuestos cayeron desde 19% a 6%.

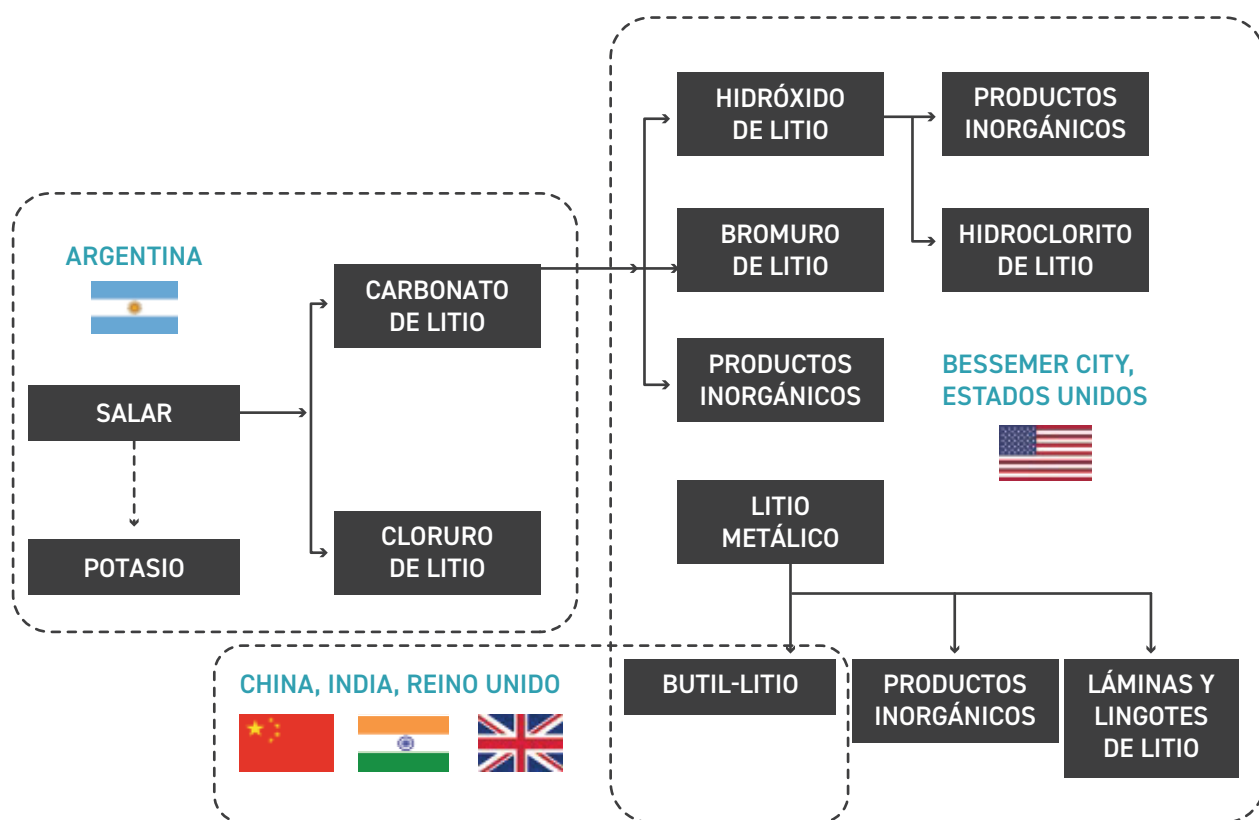


Gráfico52. Distribución geográfica de la cadena del litio de FMC

Debe destacarse que el hidróxido de litio ha ganado progresivamente importancia en relación al carbonato de litio como insumo para la producción de cátodos de baterías, en particular en cátodos que tienen un contenido de níquel superior al 50%, como los NCA y NMC. Aunque su precio es mayor al del carbonato de litio, tiene un desempeño más eficiente, ya que, al descomponerse a menores niveles de temperatura, permite una mayor cantidad de producción de material activo con menos energía.

Actualmente, los países que extraen litio de salares tienen una desventaja en la producción de hidróxido de litio respecto a aquellos que lo hacen a partir de minerales. Mientras que, en estos últimos, el hidróxido de litio se produce a partir del concentrado de litio de espodumeno, los productores a partir de salares deben previamente obtener el carbonato de litio, sobre el que luego se produce el hidróxido de litio.

En el CIDMEJU existen proyectos para el desarrollo, en colaboración con el INTI de nuevos procesos para la producción de hidróxido de litio que eviten tener que producir antes el carbonato de litio, lo que permitiría reducir los costos de producción.

En la misma línea, Oro cobre (socio mayoritario de Sales de Jujuy) ha anunciado un plan para cons-

truir en Naraha (Japón) una planta para la producción de hidróxido de litio 84. El proyecto, que sería confirmado durante la segunda mitad de 2018, utilizaría como insumo el carbonato de litio proveniente del Salar de Olaroz. Por su parte, el proyecto de explotación de Minera Exar en la provincia de Jujuy, aún en fase de construcción y con fecha tentativa de inicio de la explotación en 2019, prevé la producción de carbonato de litio. Uno de los accionistas de Lithium Americas a su vez socia en Minera Exar, la empresa de capitales chinos Ganfeng, es uno de los principales productores mundiales de hidróxido de litio, litio metálico, butil-litio y otros derivados. También SQM, otro de los socios, produce hidróxido de litio en la planta que opera en Salar del Carmen, próxima a la ciudad de Antofagasta. En este marco, según el modelo de negocios publicado por la empresa, en la Argentina se producirá carbonato de litio, quedando, probablemente, la responsabilidad de procesar los derivados de dicho producto en subsidiarias de la firma en el exterior.

Otro de los proyectos del CIDMEJU, en este caso con la participación de la firma Clorar, es el desarrollo de litio metálico. El potencial crecimiento de este producto está asociado al desarrollo de baterías de estado sólido, que tendrían más autonomía, menor tiempo de recarga y mayor seguridad que las baterías de ion-litio actuales. En esta tecnología, en la que trabajan firmas como Toyota, BMW y Dyson, el

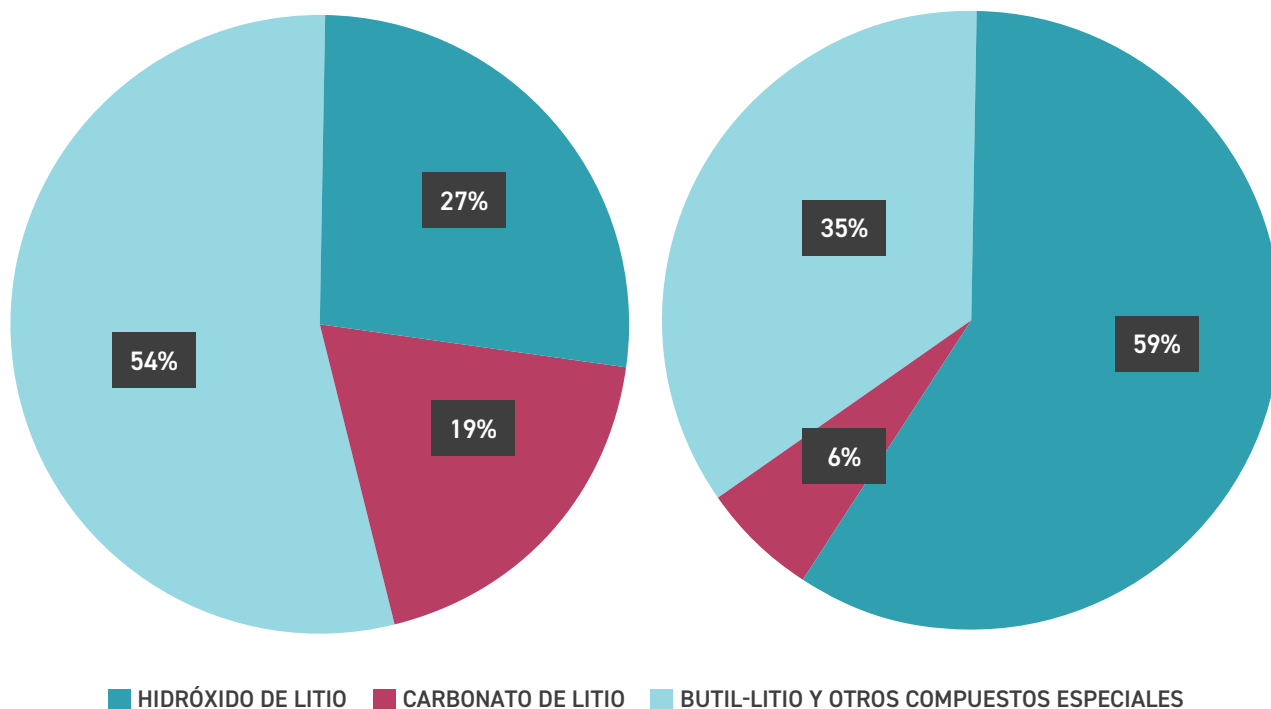


Gráfico 53. Evolución (izquierda: 2014; derecha: 2018) de las fuentes de ingresos de FM Corporation (división litio)

litio metálico sería utilizado como ánodo. Clorar ya ha realizado producción de muestras, para probar la factibilidad de la elaboración local. Sin embargo, el escalado del proceso presenta desafíos significativos. Uno de ellos concierne el desarrollo de procesos menos intensivos en energía. El costo de la energía en los principales países productores (China, Estados Unidos y Rusia) se ubica entre USD 0,05 y 0,07/KWH, muy por debajo del costo vigente en la Argentina que, de acuerdo a las estimaciones presentadas por Clorar hacia finales de 2017, se ubicaría en USD 0,10 KWH.

Finalmente, el CIDMEJU, junto con la UNJU, está intentando desarrollar un proceso para alcanzar la separación isotópica de litio 6 y litio 7. Esta última puede lograrse vía la utilización del proceso de separación mediante columna de intercambio, y también mediante láser sobre vapor metálico o separación de éter de corona. En China, el Shanghai Institute Of Applied Physics (SINAP) ha desarrollado métodos de extracción centrífuga con un nivel de pureza del 99.99%.

BATERÍAS Y SUS COMPONENTES (MATERIAL ACTIVO, CELDAS)

A medida que el interés por la explotación de litio en Argentina fue creciendo, lo propio sucedió con la motivación de distintos grupos de actores por avanzar en la localización de procesos de industrialización del litio, con el objetivo de llegar a producir baterías de ion-litio en el país. El análisis en este punto se dividirá en dos partes: en primer lugar, se presentarán las iniciativas de investigación que surgen fundamentalmente de redes formadas al interior del sistema de CyT; en segundo lugar, se hará lo propio con las iniciativas en curso de mayor envergadura, orientadas a la producción local de baterías. Cabe aclarar, sin embargo, que ha existido una fuerte interacción entre los grupos de investigación y los actores del sector productivo, ya que los primeros han sido activos promotores de una agenda estratégica para la industrialización local del recurso.

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN BATERÍAS Y SUS COMPONENTES EN EL ÁMBITO UNIVERSITARIO

En la Argentina se ha desarrollado una red que cuenta ya con una trayectoria de más de una década en la investigación sobre baterías de ion-litio. La misma ha sido liderada, principalmente, por la Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (FAMAF) de la Universidad Nacional de Córdoba y el Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA) de la Universidad Nacional de La Plata. La red está integrada también por las siguientes instituciones:

- *El Centro de Investigaciones y Transferencia de Catamarca (CITCA) del CONICET y el Centro de Física y Energía (CEFEN) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Catamarca.*
- *El Instituto Balseiro (Río Negro).*
- *El Laboratorio de Energías Sustentables, de la Universidad Nacional de Córdoba, integrado, además de FAMAF, por la Facultad de Ciencias Químicas y la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, y por dos institutos CONICET: el Instituto de Investigaciones en Fisicoquímica (INFIQC) y el Instituto de Física Enrique Gaviola (IFEG).*

En lo que respecta a las actividades de investigación y desarrollo, existe al interior de la red una división del trabajo según la cual el INIFTA lidera los trabajos sobre tecnologías de cátodos (litio-fosfato de hierro, litio-oxígeno, litio-azufre y litio-manganeso), mientras que el equipo de FAMAF, hace lo propio con las investigaciones sobre ánodos (silicio, grafito, titanato, estaño) y electrolitos. El grupo ha desarrollado una amplia red internacional que se ha traducido en convenios con universidades de Alemania, Eslovenia, España e Italia. Y-TEC se ha incorporado a la red, involucrando tres investigadores propios. Recientemente, como se describirá más adelante, la empresa ha importado una planta piloto para la producción de material activo en colaboración con la empresa tecnológica italiana Lithops.

Aunque no forma parte de esta red, debe señalarse que los equipos de trabajo de los investigadores Ernesto Calvo (INQUIMAE) y César Barbero (Universidad de Río Cuarto) han trabajado sobre distintos aspectos tecnológicos de baterías litio-aire, incluyendo las reacciones químicas del cátodo de oxígeno y el desarrollo del carbón poroso especial que se usa para fabricar el electrodo de litio. Asimismo, Victoria Flexer tiene en el CIDMEJU una línea de trabajo sobre baterías litio aire.

Un rasgo particular de la red organizada en torno al INIFTA y FAMAF es que, además de los proyectos de naturaleza académica, ha mostrado interés por desarrollar iniciativas para avanzar en la industrialización del litio 87. Sin embargo, a pesar de los avances desde el punto de vista tecnológico, hasta el momento no ha sido posible desarrollar un modelo de negocios que resulte atractivo para que empresarios operando en el país tomen la decisión de avanzar en la fabricación de baterías.

Desde 2011, se han presentado distintos proyectos que han involucrado a empresas nacionales como el grupo industrial Ithurbide-Plaka. En agosto de 2018, en el marco del proyecto “*Moto Eléctrica Litio Catamarca*” (MeLICA), liderado por la Universidad Nacional de Catamarca, se presentó el prototipo de una batería realizada con impresora 3D y una aplicación para teléfonos móviles que permite controlar el sistema de gestión de la batería y sus indicadores: temperatura, voltaje, corriente y velocidad. La empresa SOL.Ar, vinculado a Ithurbide-Plaka-, y se especializa en la producción de las baterías, está interesada en el proyecto con el objetivo de incorporarlas a motocicletas.

Otro desarrollo en el ámbito universitario, vinculado a las baterías aunque fuera de esta red, corresponde a la Universidad de Cuyo. Un grupo de investigadores del Laboratorio de Metalurgia Extractiva y Síntesis de Materiales, de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, y del CONICET, han desarrollado y patentado un método, exitoso en fase de laboratorio, para el reciclado de baterías de litio que, además de lograr una tasa de recuperación del 95% de los componentes, resulta mucho más amigable con el medioambiente en comparación con las líneas de desarrollo que predominan actualmente. En primer lugar, el método trabaja a temperatura ambiente, evitando los tratamientos a baja temperatura, el uso de sistemas al vacío o de gases inertes. Asimismo, utiliza

ácidos orgánicos biodegradables, con menor impacto sobre el ambiente y se producen varios subproductos de aplicación industrial, minimizando la generación de efluentes (gaseosos, líquidos y sólidos). En 2018, se ha montado en Godoy Cruz, en la provincia de Mendoza, una planta piloto con capacidad para procesar 600 baterías mensuales. El objetivo es probar la tecnología y evaluar si es posible expandir la experiencia a otros puntos del país y tramitar la patente en China, Europa y Estados Unidos.

INICIATIVAS EN CURSO PARA LA PRODUCCIÓN LOCAL DE BATERÍAS

El principal proyecto para la fabricación de baterías en la Argentina se apoya en un convenio firmado el 8 de mayo de 2017 entre el grupo italiano SERI y la empresa del Estado provincial jujeño JEMSE. En el marco de este acuerdo, en diciembre de 2017, se creó la empresa provincial Jujuy Litio, que sería el socio del grupo SERI en el país y en el mundo. El convenio tiene como objeto la constitución de una sociedad para la construcción de un complejo modular industrial en la provincia de Jujuy para la fabricación de material activo, celdas de litio y sistemas y/o dispositivos que utilicen baterías de este tipo.

Dentro del grupo SERI, es la firma FIB-FAAM (en adelante, FAAM) la que controla las unidades de negocio relacionadas con la acumulación de energía (gráfico 54). FAAM inició sus actividades en 1974, en los sectores de movilidad, telecomunicaciones y smart grid. Tiene plantas productivas en Italia y en China, mientras que, en otros países de Europa, de Asia y en Sudamérica tiene socios para las áreas de venta y asistencia técnica. Actualmente, FAAM produce baterías con tecnología de litio-ferrofosfato para acumulación de energía fotovoltaica de uso doméstico e industrial, ensambladas a partir de la importación de celdas.

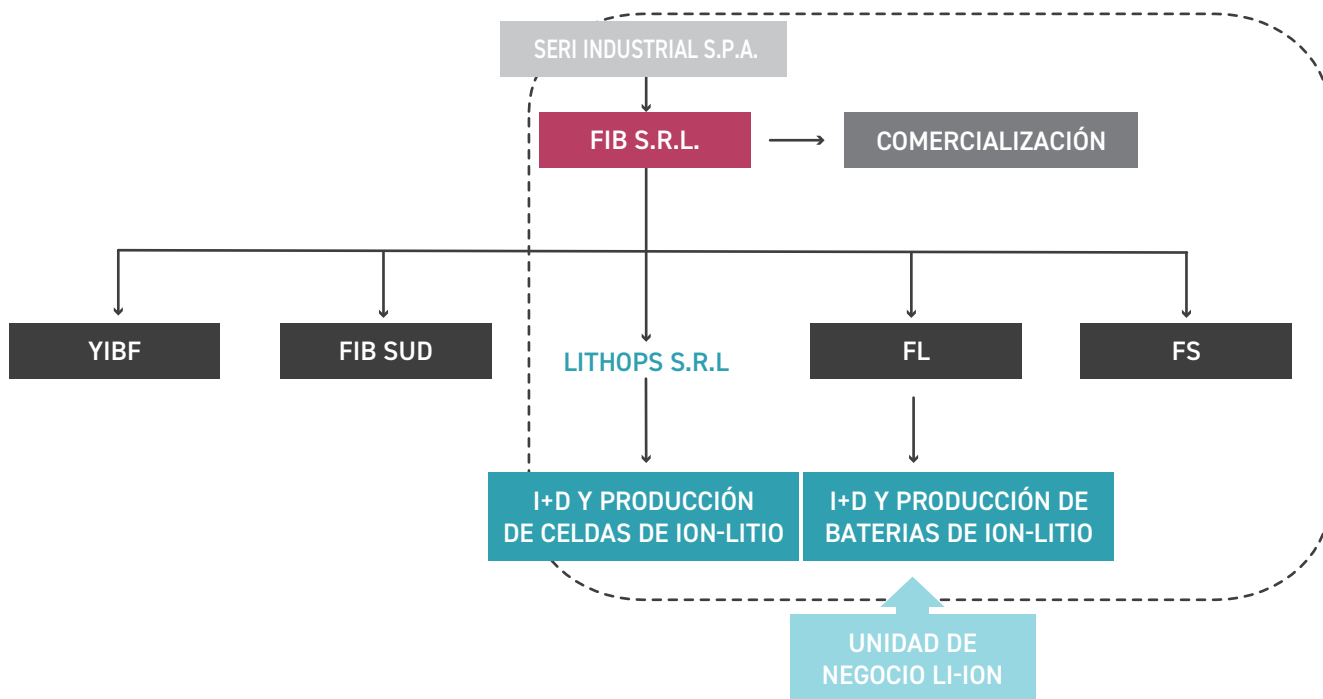


Gráfico54. Unidades de negocio del Grupo SERI vinculadas al litio

Los compromisos básicos asumidos por JEMSE en el marco del convenio firmado incluyen:

- Contribuir a la constitución de una sociedad mediante un aporte de al menos 60% del valor del capital para determinar la versión definitiva del modelo de negocios.
- Negociar con la administración de la provincia de Jujuy el desarrollo y la implementación de programas provinciales para la utilización de los bienes que se producirán en el complejo y la obtención de un terreno para la construcción del mismo.

Por su parte, FAAM ha manifestado su interés por evaluar, en caso de darse las circunstancias adecuadas, eventuales aportes (en especie, mediante la transferencia de know how) a la sociedad a constituirse. Vale decir, en este sentido, que el grupo SERI “debe aún entrar” en el mercado de baterías de ion-litio. A tal fin, está construyendo una planta para la producción de material activo, celdas de ion-litio y baterías con capacidad de 200 MWH en las cercanías de Nápoles, para fabricar baterías utilizadas en sistemas de almacenamiento de energía y movilidad a nivel industrial.

El grupo ha planteado para su planta italiana un plan de negocios de tres años, que comprende dos fases para tres áreas del segmento de baterías de litio, a saber: el material activo, las celdas y las baterías (gráfico 55). La primera fase consiste en la construcción de una planta piloto para actividades de I+D en las áreas de material activo (2017-2018), el desarrollo y testeo de las celdas (2017) y la compra de prototipos industriales para el ensamblaje de baterías (2017-2018). En una segunda etapa, se avanzaría en la producción de material activo litio-ferrofosfato (2019), la producción de celdas (2018) y el ensamblaje industrial de baterías (2019). La planta estaría diseñada, principalmente, para producir baterías que utilicen LFP como material activo, aunque otros materiales (por ejemplo, NMC, NCA, LTO, etc.) podrían ser utilizados, dependiendo de las demandas de los clientes.

La escala de producción de la planta se correspondería con la de aquellas que operan en otros países europeos (tabla 21). En comparación con sus similares asiáticas, las plantas europeas, que explican menos del 1% del mercado global de baterías, son menos numerosas y mucho más pequeñas.

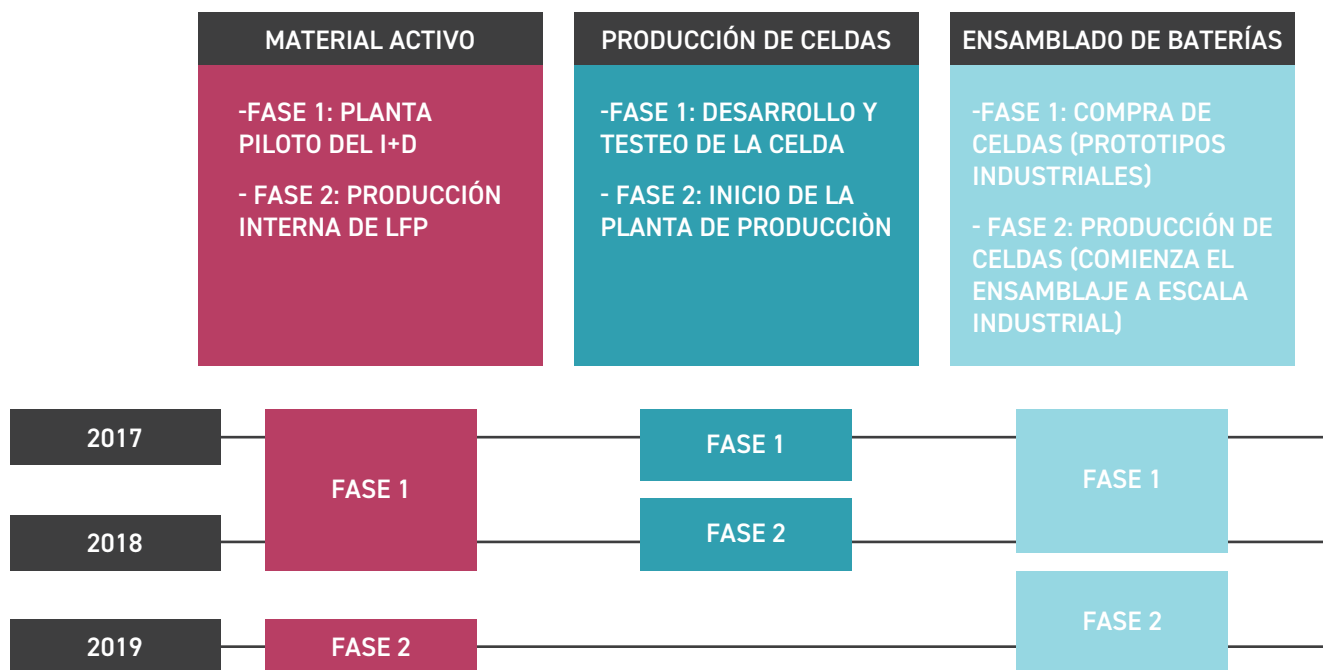


Gráfico55. Áreas y fases del plan de negocios del Grupo SERI en el “Proyecto Lito”

EMPRESA	PAIS	CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN (MWH)	USOS
SAFT	Francia	60	Aplicaciones espaciales, militares y aeronáuticas
EAS Germany GmbH	Alemania	100	Aplicaciones espaciales, marítimas, automotrices y submarinas
Litarion GmbH	Alemania	500	Telefonía celular y energía estacionaria
Leclanche GmbH	Alemania	100	Acumulacion de energía
European Battery Technologies	Finlandia	30	Grandes baterías recargables basadas en celdas y sistemas de baterías primaticos que pueden ser utilizados en trenes híbridos y eléctricos y para acumulación de nergía de fuentes renovables
Custom Cells Itzehoe GmbH	Alemania	20	Varios
Advanced Lithium System Europe S.A	Grecia	100	Defensa (por ejemplo, torpedos)
AGM Batteries Ltd SSL Energie GmbH	Reino Unido Alemania	50 0,1	Defensa, mercados del petróleo y el gas, Telecomunicaciones, plantas industriales y electro- movilidad (en tierra y agua plantas industriales y electro- movilidad (en tierra y agua)
Bolllore	Francia	500	Baterías especiales con celdas de estado sólido y ánodos del litio metálico
TOTAL		1.460,10	

Tabla21. Empresas europeas con producción de baterías de litio

Según se prevé, la planta en la Argentina sería una réplica de aquella que se montará en Italia. En una primera etapa, la inversión prevista para esta planta ascendería, según estimaciones difundidas y confirmadas en el trabajo de campo, a unos USD 60 Millones. Las funciones de la planta se concentrarían, inicialmente, en el ensamblado de baterías. No están definidos los plazos para avanzar hacia las tareas de producción de material activo y celdas. De acuerdo al esquema presentado para la planta de Nápoles, se estima que se emplearían alrededor de 65 personas. La localización sería el parque industrial de Perico, a 35 km de San Salvador de Jujuy.

El beneficio mutuo del acuerdo, según entienden las partes, representaría, en el caso de la provincia de Jujuy, una oportunidad para “agregar valor” al carbonato de litio producido en la zona, además de generar puestos de trabajo en el sector manufacturero. Por el lado del grupo SERI, el acuerdo representa la posibilidad de acceder a un derecho prioritario para comprar hasta el 5% de la producción anual del litio al que tiene acceso JEMSE por su participación en las operaciones en Sales de Jujuy. En las condiciones actuales de estrangulamiento del mercado de litio a nivel mundial, ello le permitiría eliminar un problema crítico para su modelo de negocios, orientado a controlar la cadena de valor desde la materia prima al reciclaje de las baterías agotadas. El proyecto de FAAM, bautizado “de la cuna a la tumba” (dalla culla alla tomba), ya es aplicado en la unidad de negocio de baterías de plomo-ácido.

El volumen de litio a disposición del proyecto supera ampliamente las cantidades necesarias para la escala de producción inicial de baterías. El excedente permitiría, según prevén sus responsables, que la sociedad se convierta en un jugador mundial en la producción de material activo para baterías. Como se verá debajo, el grupo SERI (en particular, su empresa de base tecnológica Lithops) está trabajando junto a Y-TEC en el desarrollo de material activo. La planta en Jujuy tendría como potencial destino el mercado sudamericano aunque no existe actualmente demanda de material activo en la región, puesto que no se producen baterías, mientras que la demanda europea sería atendida desde Italia. En el caso del mercado asiático, se está evaluando la posibilidad de que, una vez confirmada la iniciativa, se puedan construir plantas en China e India. En todos los casos, como se ha señalado, Jujuy Litio participaría como socio de los emprendimientos que se concreten en otras partes del mundo y que utilicen la cuota de JEMSE.

Este plan de negocios, según la información recogida en el trabajo de campo, se replicaría en la provincia de Jujuy, donde, una vez completadas las tres etapas, se produciría material activo, celdas y baterías. En la fase inicial, prevista para 2018 o comienzos de 2019, se ensamblarían baterías con partes importadas. La planta tendría tres islas de montaje, con capacidad de adaptar la producción a distintos tipos de baterías.

Con relación a los mercados de destino de las baterías ensambladas en Jujuy, como se ha señalado anteriormente, sería el gobierno de la provincia el responsable del “desarrollo y la implementación de programas provinciales para la utilización de los bienes que se producirán en el complejo”. Hasta el momento, existirían tres proyectos en estudio:

- *La reconversión de la flota de buses urbanos*
- *La producción de baterías de respaldo de uso industrial*
- *La provisión de baterías para acumulación de energía para el parque solar de Cauchari, en proceso de construcción en la provincia.*

De estos tres proyectos, cabe destacar, solo el último se encuentra totalmente bajo la jurisdicción de la provincia de Jujuy (descartando, por supuesto, la posibilidad de que solo se pretenda renovar las flotas de buses urbanos de esta provincia). El primero requeriría coordinación con otras jurisdicciones, mientras que el segundo supondría una competencia directa en el mercado con productos similares que utilicen tecnologías alternativas.

En el caso de los buses, la reconversión mencionada tendría un costo aproximado de EUR 5.437 Millones considerando una flota de 29.392 unidades, y un costo estimado de EUR 185.000 por unidad. En Italia, FAAM tiene experiencia en procesos de estas características, por haber formado parte del proyecto liderado por la firma Pininfarina de reconversión de buses urbanos, presentado en 2011, y que contó con financiamiento del gobierno de la región Piamonte.

Como se ha mencionado, otro de los actores involucrados con el grupo SERI es la firma YTEC,

que tiene como principal misión brindar soluciones tecnológicas al sector energético y formar especialistas para el desarrollo de la industria de la región. Como se ha mencionado, en conjunto con los equipos (INIFTA/CIDMEJU) y (FAMAF), Y-TEC forma parte de un proyecto de I+D con la firma Lithops, una empresa de base tecnológica que opera en Turín, fundada en 2010 y adquirida en 2015 por el grupo SERI, como parte de su plan “Proyecto Litio”.

La tecnología para la producción del material activo se encuentra aún en desarrollo por parte de Lithops e Y-TEC. Las firmas trabajan sobre un proceso para la producción de LFP, que se encuentra a nivel de planta piloto, en colaboración con el Politécnico de Milano –Lithops también trabaja sobre el desarrollo de celdas. Asimismo, esta empresa participa de distintos consorcios europeos de investigación que tienen por objetivo desarrollar tecnologías para baterías de ion-litio. En abril de 2018, Y-TEC importó una planta piloto para la producción de celdas con el objetivo de validar procesos para la producción local de materiales activos y desarrollar el escalado. Con una perspectiva de más largo plazo, se trabaja en el desarrollo de material activo tanto para aquellas baterías que se producen en la actualidad como para las que utilizarían cátodos de sodio o azufre.

Debe destacarse que el objetivo último de Y-TEC y de los grupos de investigación del CONICET asociados al proyecto no es la producción de material activo. De hecho, Y-TEC no está involucrada en el proyecto de producción de baterías llevado a cabo por Jujuy Litio y el grupo SERI. Por lo tanto, una vez desarrollada la tecnología, se debería buscar un socio local interesado en producirla (YPF podría ser un candidato) o, en su defecto, alguna firma interesada en licenciar la tecnología.

DESAFÍOS QUE PRESENTA EL PROYECTO DE FABRICACIÓN LOCAL DE BATERÍAS

Como se ha discutido, actualmente el mercado mundial de baterías y sus componentes está dominado por países asiáticos, tanto en términos de volumen como de costos de producción. En lo que se refiere a baterías, la participación de China es casi absoluta en

la tecnología de litio-ferrofosfato, de la que explica el 92% de la oferta mundial (tabla 22).

En este escenario, el objetivo de la alianza entre Jujuy Litio y el grupo SERI de participar de todas las actividades que forman parte de la cadena de valor (“*dalla culla alla tomba*”) plantea importantes desafíos. Aunque no ha sido posible acceder a las estimaciones de costos del proyecto del grupo SERI, es de esperar que el lanzamiento del mismo tenga lugar durante la fase ascendente de la curva de aprendizaje de la firma, toda vez que, actualmente, el grupo produce baterías de litio a partir de la importación de componentes, y sus procesos internos para la producción de material activo y celdas se encuentran en fase de prueba piloto. Por lo tanto, los precios de comercialización se encontrarán por encima de los de mercado.

PRODUCTO	DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA OFERTA		
Material activo de cátodos	China	39%	
	Japón	19%	
	Europa	13%	
	Corea	7%	
	Otros	22%	
Material activos de ánodos	China	57%	
	Japón	27%	
	Corea	5%	
	Estados unidos	1%	
	Otros	10%	
Electrolitos	China	60%	
	Japón	18%	
	Corea	7%	
	Estados unidos	7%	
	Otros	8%	
Separadores	Japón	48%	
	China	17%	
	Estados unidos	12%	
	Corea	10%	
	Otros	13%	
Baterías	LFP: China	92%	Otros: 8%
	LCO: China	61%	Otros: 39%
	LMO: China	60%	Otros: 40%
	NMC: China	55%	Otros: 45%
	NCA: China	7%	Otros: 93%

Tabla22. Producción de baterías y sus componentes

Esta situación plantea la necesidad de definir cuál será la estrategia de comercialización de las baterías y cuándo se espera, según el modelo de negocios formulado, alcanzar el punto de equilibrio. Dado que la provincia de Jujuy se ha comprometido de algún modo a buscar, o “crear”, los mercados domésticos para la producción de baterías, los eventuales compradores deberían estar dispuestos a pagar un sobre precio por los productos o, el Estado en cualquiera de sus niveles a subsidiar la compra, con el objeto de fomentar un proceso de desarrollo productivo o tecnológico bajo algún esquema de compras públicas para la innovación.

En este caso, sin embargo, sería deseable contar con una planificación que indique cuál es el sendero de aprendizaje que debería seguir la firma para que su producción se vuelva competitiva. No debe dejar de señalarse que la tecnología seleccionada (LFP) está consolidada en el mercado y los actores dominantes cuentan con procesos de producción ya maduros, lo que constituye una barrera a la entrada de nuevos competidores.

Hasta el momento, las opciones de comercialización se orientarían a la compra de baterías con algún tipo de intervención pública, por ejemplo, mediante un esquema de subsidios para la conversión de la flota de buses urbanos o para la acumulación de energía producida por fuentes renovables. Ello también requeriría cierta coordinación con las instancias federales de gobierno, por ejemplo, en lo que se refiere a los instrumentos de política comercial que regulan la importación de este tipo de vehículos. En este sentido, en enero de 2018, se promulgó un decreto que fija un cupo para la importación de 350 buses eléctricos con un arancel reducido. Asimismo, se otorga un tratamiento arancelario diferencial a las empresas que pretendan producir localmente ómnibus eléctricos, con niveles de integración nacional de un mínimo de 10%, durante los primeros dos años, y 25% a partir del tercer año 104. Hasta el momento, las empresas que han mostrado interés por la fabricación local de buses son Bravo Motor Company de origen argentino, pero con sede en Estados Unidos, CTS Auto en alianza con la china BYD y Dongfeng. En principio, ninguna de estas firmas compraría baterías a la alianza Jujuy Litio-SERI, ya que las producen internamente o las adquieren a sus socios estratégicos. Por lo tanto, el nicho de la alianza Jujuy Litio-SERI quedaría restringido a la conversión de buses para aquellas empresas que no deseen comprar unidades nuevas.

Otro de los aspectos que debe aclararse del proyecto de fabricación local se refiere a las posibilidades reales de replicar el modelo de negocios previsto para la planta que el grupo SERI instalará en Nápoles. Varias de las personas entrevistadas durante el trabajo de campo han llamado la atención sobre aspectos que comprometerían la eficiencia técnica y la viabilidad económica de localizar en la Argentina la producción de material activo, celdas y baterías, al menos en las condiciones previstas.

Como se observa en la tabla 23, el costo de producción de los electrodos y otros materiales supera el 50% del costo de la batería, mientras que el litio supone, dependiendo de la tecnología utilizada, entre el 4% y el 10% de aquel. Gran parte de los componentes para la producción del material activo, los electrodos y la batería deberían inicialmente importarse, puesto que, en la actualidad, no hay disponibilidad en la Argentina. Este es el caso, por ejemplo, el grafito, cuya producción se encuentra concentrada a nivel mundial, como hemos visto más arriba, en China, India y Brasil.

CONCEPTO	PARTICIPACIÓN
DEPRECIACIÓN	18%
CÁTODO	16%
OTROS MATERIALES	12%
SEPARADOR	10%
ELECTROLITO	8%
ÁNODO	6%
MARGEN	6%
CHATARRA	4%
I+D	4%
SERVICIOS DE INGENIERÍA	4%
TRABAJO DIRECTO	4%
GARANTÍA	3%
OVERHEADS	3%
VENTAS Y ADMINISTRACIÓN	2%
TOTAL	100%

Tabla 23. Estructura de costos promedio de la batería de ion-Litio

Del mismo modo, se ha señalado que el equipamiento para la producción de celdas que, recordemos, que todavía no ha sido implementada por el grupo SERI a escala industrial es sofisticado. Asimismo, la falta de claridad respecto a la demanda del mercado

sudamericano, que sería, eventualmente, la principal referencia para la planta argentina, lejos de los principales centros de consumo, plantea dudas respecto a la conveniencia económica de su instalación en Jujuy. De hecho, Y-TEC elaboró un caso de negocios con el objetivo de evaluar la viabilidad económica de la fabricación local de celdas. Las conclusiones del estudio pusieron de relieve que los obstáculos que enfrenta una empresa de estas características son muy significativos y afectan la posibilidad de encontrar actores privados interesados en participar del negocio. Entre los más relevantes se encuentran la incertidumbre respecto a los costos reales de producción y la dimensión del potencial mercado junto con la elevada inversión requerida para montar la planta en torno a los USD 60 Millones.

POLÍTICAS DEL SECTOR: EXPERIENCIAS INTERNACIONALES

CHILE

Como vimos en secciones previas, Chile es uno de los principales productores de litio del mundo y el primer país en procesar litio a partir de salares a gran escala. El interés por el litio en este país emerge en la década de 1960, en el marco de su utilización en la fabricación de bombas de hidrógeno. En 1969 se iniciaron exploraciones en el Salar de Atacama, a cargo del Instituto de Investigación Geológicas (IGG) y en 1970 se puso en marcha un programa de prospección llevado adelante por CORFO.

Un aspecto central a tener en cuenta es que, tal como se mencionó más arriba, en 1976 el litio fue declarado de interés nuclear en Chile (a través de la ley orgánica de la Comisión chilena de Energía Nuclear, CChEN). En 1979 se estableció su carácter estratégico, nuevamente por sus aplicaciones en el sector nuclear. En 1982 la Ley Orgánica Constitucional sobre Concesiones Mineras (Nº18.097) lo declaró como sustancia no susceptible de concesión minera, *“sin perjuicio de las concesiones mineras válidamente constituidas con anterioridad a la correspondiente declaración de no concesibilidad o de importancia para la seguridad nacional”*. Estas concesiones incluían las propiedades de CORFO en el Salar de Atacama y las de la Corporación Nacional del Cobre (CODELCO) en los salares de Pedernales y Maricun-

ga. En vistas de esta normativa, desde entonces, la explotación de litio se puede realizar en Chile solo directamente por el Estado, o bien por firmas privadas mediante contratos especiales de operación o concesiones administrativas. Actualmente, el Estado chileno tiene en arriendo a dos titulares sus pertenencias en el Salar de Atacama: SQM y Albemarle.

En el contexto más reciente, en el que se ha apaciguado la sensibilidad que despierta el litio en tanto insumo utilizado en el ámbito nuclear y, en cambio, ha ganado importancia por ser un recurso económicamente valioso, en 2014, bajo la administración de Michelle Bachelet, se creó la Comisión Nacional del Litio, integrada por funcionarios y expertos de distintas disciplinas (provenientes tanto del sector académico como privado), con el propósito de generar una *“visión estratégica”* en torno a una política nacional para el litio que garantice una gestión sustentable de los salares y donde el Estado cumpla un rol normativo, regulador y fiscalizador. A tal fin se proponía crear una nueva institucionalidad pública coordinadora que, entre otras tareas, estableciera modalidades de exploración y explotación, flujos máximos de extracción de salmueras y programas anuales máximos de comercialización del litio.

En el documento final de la Comisión también se manifiesta que el diseño de una política para el litio no debe considerar sólo este metal, sino que debe orientarse a asegurar la sustentabilidad del conjunto de los salares del norte del país, ya que estos últimos son ambientes naturales frágiles, habitados por pueblos indígenas, y que contienen otros recursos económicamente valiosos (Comisión Nacional del Litio, 2015). En consecuencia, en paralelo a la necesidad de alcanzar altos niveles de eficiencia y sustentabilidad en la recuperación de sales de interés comercial, el informe también destaca la importancia de minimizar la generación de residuos sólidos y asegurar una eficiente reinyección de salmueras, ya que ambos factores, si no son manejados adecuadamente, podrían generar una pérdida del valor económico de los recursos presentes en los salares.

En ese marco, la Comisión propuso crear una nueva empresa pública o sociedad anónima estatal (o bien una filial de las actuales empresas existentes, pero dedicada exclusivamente a este fin), dotada de las atribuciones y competencias necesarias para desarrollar una serie de funciones en la cadena del litio, incluyendo la exploración y explotación (preferentemente en asociación con terceros) de los salares, la realización de actividades de monitoreo del mercado

internacional, la promoción del conocimiento científico-tecnológico en las distintas etapas de la cadena y el fomento de la inversión en los salares apuntando a garantizar condiciones de sustentabilidad y la generación de valor agregado doméstico. En este último apartado se incluyen aspectos tales como la elaboración local de productos de mayor valor agregado y el abastecimiento de insumos y servicios relacionados; paralelamente se busca promover la vinculación con otras industrias con potencial de consumo creciente de productos de litio y otras sales, particularmente en temas energéticos.

La Comisión consideró que, en verdad, el *“actual sistema de concesiones judiciales mineras no resulta aplicable a los salares si lo que se quiere hacer es una explotación racional y sustentable del litio contenido en ellos, conjuntamente y por un mismo explotador, del resto de la riqueza minera que hoy se califica como concesible. La actual legislación define que la explotación de las pertenencias mineras estará delimitada por la extensión territorial establecida en el otorgamiento de la concesión minera. Bajo el subsuelo que comprende esta extensión, el titular de la concesión tendrá el derecho de explotación de los recursos minerales concesibles que ahí se encuentren”*. Sin embargo, mientras que la explotación minera tradicional se basa en depósitos minerales estáticos, los recursos salinos en salmueras tienen un comportamiento hidrodinámico y, por tanto, la extracción de salmueras en un determinado punto del salar tiene el potencial de afectar las concentraciones presentes en una zona contigua a la que es explotada, ya que se trata de un mismo cuerpo salino y en movimiento. A esto se suma la fragilidad del ecosistema de los salares, en particular por el hecho de que la extracción de salmueras puede afectar los recursos hídricos presentes en los mismos.

En cuanto a los contratos vigentes para la explotación del litio (en el momento de creación de la Comisión, en manos de SQM y Rockwood), se partía de un diagnóstico crítico, a partir del cual se recomendaba su revisión y la no renovación a su vencimiento. Este diagnóstico se apoyaba en factores tales como los pobres estímulos para la generación de valor agregado local y el escaso nivel de transferencia de tecnología, la baja capacidad de fiscalización de las operaciones en los salares (incluyendo niveles de extracción e impactos ambientales), las reducidas compensaciones que percibían las comunidades locales por las externalidades negativas sufridas a partir de la explotación del litio y el bajo nivel de regalías percibido por el Estado (de hecho en la explotación de Albemarle no se recibían

regalías porque CORFO había capitalizado su aporte en la empresa).

En este contexto, la Comisión sugirió que en los contratos de asociación público-privada que autorizasen la explotación del litio se establezca una política de regalías, gravámenes y otros cobros que se apliquen sobre el precio de venta final del conjunto de los productos derivados del litio y que a su vez contemple mecanismos flexibles para adecuar el valor de las regalías a las condiciones cambiantes del mercado mundial. Asimismo, se recomendaba que los contratos contemplaran un trato preferencial para incentivar el proceso de explotación, industrialización y comercialización de productos elaborados en base a litio, privilegiando la agregación de valor local y que una parte significativa de las rentas captadas por el Estado se destinara a garantizar la sustentabilidad ambiental, económica y social de la actividad.

Como consecuencia de las recomendaciones de la Comisión, se renegociaron los dos contratos vigentes, dando lugar a una significativa mejora en las condiciones de explotación desde el punto de vista de los intereses de la sociedad chilena. En diciembre de 2016 entró en vigencia la modificación del acuerdo con Albemarle. El mismo contempla una inversión de USD 600 Millones y autoriza a Albemarle a ampliar su producción desde 26.000 TN anuales a 82.000 TN durante los próximos 27 años. Más conflictivo resultó el caso de SQM, ya que desde 2013 se habían iniciado demandas de parte del Estado por incumplimientos en los contratos y supuestas maniobras para impedir un proceso licitatorio en 2030, cuando vencía el contrato entonces vigente. Finalmente, luego de diversos arbitrajes, en enero de 2018 se materializó el nuevo acuerdo con SQM. En la tabla 24 se comparan las condiciones contractuales antes y después de la renegociación con SQM (en general las mismas condiciones se aplican al nuevo contrato con Albemarle).

Para ilustrar el impacto de las renegociaciones sobre las rentas percibidas por la sociedad chilena, se calcula que, manteniendo las condiciones del contrato anterior de SQM, para 2018 el Estado chileno hubiese percibido, en todo concepto, USD 327 Millones y, para 2030, USD 42 Millones, lo que totaliza para el periodo 2018-2030 casi USD 2.000 Millones. Con la renegociación el Estado recibirá en 2018 un monto levemente superior (USD 378 Millones), pero además se contemplan USD 37 Millones para la comunidad y USD 11 Millones para I+D. Lo más destacable es que la renta a percibir por el Estado aumentará progre-

sivamente hasta 2030, cuando alcanzará USD 1.097 Millones, lo cual totaliza para el periodo más de USD 9.500 Millones. La misma situación surge con el nuevo contrato de Albemarle, donde el Estado recibirá en 2018 USD 165 Millones, con aportes a la comunidad (USD 12 Millones) y fondos para I+D (USD 7 Millones); la renta estatal en este caso totalizará USD 3.425 Millones en el periodo 2018-2030 y USD 6.850 Millones hasta 2043 (cuando vence el contrato). Recuérdese que, en este caso, la mayoría de estos ingresos son ganancias netas frente a la situación anterior, ya que Albemarle no pagaba regalías hasta la renegociación estimaciones presentadas en CORFO.

Otro aspecto central del documento de la Comisión se vinculaba con la competitividad de la cadena del litio en Chile. Allí se recordaba que las condiciones naturales del Salar de Atacama permiten producir a los más bajos costos mundiales, a pesar de los mayores precios de la energía y de los insumos importados. Sin embargo, en otros salares del país, dichas ventajas naturales no están presentes, por lo que resulta necesario investigar si hay tecnologías alternativas más convenientes para dichas áreas.

Adicionalmente, el informe señalaba la necesidad de que, para mejorar la competitividad de la cadena, se debían promover procesos de agregación local de valor tanto en las etapas aguas arriba como aguas abajo. En este sentido, se presentaban las siguientes alternativas de industrialización:

Aumentar la producción del hidróxido de litio monohidratado grado batería, cuya demanda, como hemos discutido, está creciendo en forma significativa en la fabricación de cátodos para baterías secundarias. De acuerdo con el documento que venimos comentando, con el objeto de que la oferta de hidróxido de litio chileno sea más competitiva, debe estudiarse su posibilidad de obtención a partir de sulfato de litio en lugar del carbonato de litio, que utiliza una materia prima importada en su fabricación (ceniza de soda, Na_2CO_3). SQM está investigando el proceso de utilización de las sales de sulfato de litio.

Desarrollar el nitrato de litio como componente de sales fundidas para el almacenamiento térmico en plantas de concentración solar de potencia. En esta misma área, se señalaba la posibilidad de vincular la cadena del litio con el desarrollo de la industria solar en Chile a partir del privilegio de contar con uno de los índices de radiación solar más altos del

mundo. En este sentido, el documento afirmaba que se abrían oportunidades en el almacenamiento de energía por plantas fotovoltaicas y, posteriormente, para baterías y sales fundidas para plantas de concentración solar. Para ello, se proponía la realización de estudios que permitieran dimensionar las relaciones entre el mercado de la energía solar y el del litio, así como identificar oportunidades para agregar valor a través de proyectos de innovación y formación de capacidades diseñados en conjunto con la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) y CORFO.

En cuanto a la I+D aplicada a la cadena del litio, dentro de las áreas de trabajo identificadas por la Comisión se incluyen: el desarrollo de procesos productivos de carbonato de litio para la producción de baterías y sales acumuladoras de energía, tanto para la propulsión de vehículos como para la acumulación de energía en plantas de energías renovables; la generación de tritio para aplicaciones de energía nuclear; las aleaciones litio-aluminio y litio-magnesio para la producción de materiales livianos de alta resistencia; los usos en la industria farmacéutica y las posibles sinergias con la nanotecnología, entre otras. Asimismo, se proponía la conformación de un clúster sectorial que permita fortalecer a los centros de investigación asociados a universidades y/o a la industria, así como promover asociaciones público privadas orientadas a generar nuevos conocimientos y tecnologías. En este contexto, se desarrolló un plan para crear un Instituto Solar Minero en Antofagasta, financiado con los ya mencionados aportes para I+D que deben hacer las empresas que explotan litio en Chile.

Finalmente, como se señaló más arriba, en las renegociaciones de contratos con SQM y Albemarle se estableció que ambas empresas deban vender "hasta un 25% del total de su capacidad de producción teórica de productos de litio a un precio preferente, a productores especializados, públicos o privados, situados o que se establezcan en Chile y a fin de que éstos elaboren productos con valor agregado, entre otros cátodos de litio o componentes de éstos, componentes de baterías de litio y/o sales de litio".

En base a esta disposición CORFO realizó una convocatoria a la cual se presentaron 12 proyectos para aprovechar las cuotas preferenciales de litio arriba mencionadas, de los cuales 7 fueron seleccionados para una segunda etapa de evaluación (Tabla 25). La convocatoria fue gestionada de ma-

nera conjunta con la agencia de inversión Invest Chile. La inversión total de las tres empresas que han sido finalmente seleccionadas se estima en USD 754 Millones y se generarán alrededor de 650 empleos calificados, de acuerdo a CORFO.

MATERIA	1993-2017	2018 (APROBADO)
COBRO POR EL LITIO	Renta del 5,8%	Un cobro que depende del precio pagado a SQM o sus partes relacionadas con cargos marginales que van desde un 6,8% del precio hasta un 40% para precios sobre USD 10 mil , que son los mas altos a nivel mundial.
INCENTIVO AL VALOR AGREGADOS	No existían	SQM se obliga a vender hasta un 25% de la cantidad de producción teórica de productos de litio, a un precio preferente, a productores especiales que se establezcan en Chile para fabricar productos con valor agregado.
APORTES PARA I+D	No existían	Compromiso de aportes a distintos institutos por USD 18 md al año, mientras dure el contrato.
CONTROL	No habia regulación	Dos auditores externos hasta el 2030 que reportarán sobre el cumplimiento de las obligaciones ambientales de SQM y de los contratos de proyecto y de arrendamiento.
GANANCIAS PARA LA COMUNIDAD	No existían	Compromiso de aportar 1,7% de las ventas para obras municipales e inversión pública. Aporte adicional para el desarrollo de las comunidades.

Tabla24. Comparación de las condiciones contractuales con SQM antes y luego de la renegociación

EMPRESA	PAÍS DE ORIGEN	PRODUCTOR A SER DESARROLLADO EN CHILE	ESTADO
TVEL FUEL COMPANY OF ROSATOM	Rusia	Litio Metálico, Material activo para baterías de Ion Litio: LFP, LCO, NMC, NCA, LTO	Pre-seleccionado
SICHUAM FULIN INDUSTRIAL GROUP CO.LTD.	China	Material de cátodo del tipo LFP, NMC, LMO, y LTO	Aprobado Produccion estimada: 20.000 tn por año
JIANGMEN KANHOO INDUSTRY CO. LTD.	China	Material de cátodo del tipo LMO	Pre-seleccionado
MOLYMET	Chile	Material de cátodo del tipo LMO y LFP	Aprobado Produccion estimada: 19.000 tn por año
GANSU DAXIANG ENERGY TECHNOLOGY CO. LTD.	China	Material de cátodo del tipo LMO, NMC y LFP	Pre-seleccionado
UMICORE	Bélgica	Material activo de cátodos de litio basado en la patente de NMC	Pre-seleccionado
SAMSUNG SDI CO. LTD.	Corea	Material activo de cátodo del tipo NMC, Material activo del cátodo del tipo NCA	Aprobado Produccion estimada: 19.000 tn por año

Tabla25. Proyectos presentados para el desarrollo de productos basados en litio en Chile

BOLIVIA

Como se ha mencionado, Bolivia es uno de los países con mayores reservas potenciales de litio en el mundo. La historia de los intentos de explotación de esta riqueza natural se remonta a las investigaciones realizadas desde los años setenta por el Departamento de Geociencias de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) y la Office de la Recherche Scientifique Technique Outre Mer (ORSTOM) y las llevadas adelante por la Universidad Tomás Frías de Potosí (UATF), en coordinación con la Universidad de Freiberg de Alemania, cuyos investigadores, ya desde los años 60, desarrollaban trabajos sobre el origen, contenido y estructura de sales y salmueras del Salar de Uyuni. Las investigaciones de UMSA-ORSTOM concluyeron en 1983, señalando la presencia de grandes recursos evaporíticos de litio, potasio, boro y magnesio.

Luego de algunos intentos fallidos de atraer inversiones privadas en las décadas del 80 y 90, a partir de la primera década del nuevo siglo se dan los primeros pasos firmes para explotar de manera efectiva los recursos de litio disponibles en el país. En octubre de 2008, se creó el primer laboratorio de salmueras en instalaciones del Instituto de Investigaciones en Metalurgia y Materiales de la UMSA, con el objeto de realizar análisis químicos de muestras provenientes de perforaciones iniciadas en el Salar de Uyuni y se construyeron las primeras pequeñas piscinas de evaporación experimentales. En 2009, comenzó la construcción de una planta piloto en Llipi. Estos años fueron entonces importantes en tanto se avanzó en la investigación orientada al estudio geoquímico del salar y al desarrollo de procesos en etapa de laboratorio y en el diseño y dimensionamiento de equipos a escala piloto.

En 2010 se adoptó un plan denominado Estrategia Nacional de Industrialización de los recursos Evaporíticos de Bolivia, que contemplaba desarrollar actividades de investigación, pilotaje y producción industrial de litio, potasio, materiales catódicos y baterías eléctricas de ion-litio. La ejecución de este plan fue encomendada a la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE), en ese momento dependiente de la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL). La estrategia de implementación del proyecto se efectuaría en tres fases:

- *La primera tenía el propósito de alcanzar, hacia finales de 2011, la producción de 40 TN mensuales de carbonato de litio y 1.000 TN mensuales de cloruro de potasio en dos plantas piloto (la inversión estimada se situaba en torno a los USD 16 Millones).*
- *La segunda consistía en el diseño y construcción de las plantas industriales para estos mismos productos, bajo la conducción, la administración, el financiamiento, la operación y la comercialización del Estado boliviano (USD 485 Millones de inversión estimada), a través de créditos otorgados por el Banco Central de Bolivia (BCB).*
- *La tercera fase correspondía a la producción de materiales catódicos y baterías de litio (aproximadamente USD 400 Millones de inversión) y contemplaba la participación de empresas extranjeras que aportaran tecnología.*

En relación con la primera fase, durante 2011 se concluyeron los diseños de ingeniería de los equipos e instalaciones de las plantas piloto en Llipi. El montaje de la planta piloto de carbonato de litio se inició en julio de 2012 y la misma fue finalmente inaugurada en enero de 2013. Ésta logró obtener en 2015 carbonato de litio en grado batería con una pureza del 99,6%. En agosto de 2016 la GNRE concretó dos contratos de venta de carbonato de litio para su exportación con destino a China. Según información periodística, para abril de 2017 esta planta producía alrededor de 5 TN de carbonato de litio por mes y se planteaba el objetivo de alcanzar las 10 TN mensuales.

La segunda fase involucra el diseño y construcción de la infraestructura y el equipamiento necesarios para producir 30.000 TN anuales de carbonato de litio y 700.000 TN anuales de cloruro de potasio. Según la memoria de YLB, en 2017 se concluyó la ingeniería del diseño final para la construcción, montaje y puesta en marcha de la planta industrial de carbonato de litio a cargo de la empresa alemana K-Utec Technologies, y se inició el proceso para la selección

y contratación de la empresa que se hará cargo de su ejecución. De acuerdo a fuentes periodísticas, YLB informó que el inicio de la construcción de la planta está previsto para junio de 2018, a cargo de un consorcio liderado por la empresa china Maison Engineering. En tanto, en diciembre del 2017 culminó la construcción y montaje de la planta industrial de sales de potasio, a cargo de la empresa China CAMC Engineering, con una capacidad de producción de 350 mil TN/año, habiendo ya iniciado las primeras pruebas de funcionamiento en vacío.

La tercera fase tiene como eje al Centro de Investigación, Desarrollo y Pilotaje (CIDYP), que es la institución que reúne a las unidades que despliegan tareas de investigación y a nivel piloto relacionadas a la industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia. En este marco, se encarga de supervisar, gestionar y coordinar proyectos referidos a baterías de litio, materiales activos (cátodos), electrolitos de litio y otros productos avanzados. El CIDYP está compuesto por la planta piloto de baterías, la planta piloto de materiales catódicos y el Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Materiales y Recursos Evaporíticos de Bolivia (CICYT MAT-REB).

En cuanto a la planta piloto de baterías, en abril de 2012 se concretó un contrato con la empresa china Linyi Dake Trade Co. Ltd. para la compra “*llave en mano*” de la misma, por un monto de USD 2,7 Millones. La misma fue inaugurada en 2014 y es operada exclusivamente por profesionales bolivianos. Según la memoria de YLB de 2017, esta planta viene desarrollando diferentes actividades enmarcadas en la optimización del proceso de ensamblado de baterías de alta capacidad. Actualmente, es capaz de elaborar dos tipos de baterías de celdas prismáticas: I) LCO, formato 403650 y capacidad 0.8 AH y II) LFP, formato 1865130 y capacidad 10 AH.

Respecto de la planta piloto de materiales catódicos, la misma se inauguró en agosto de 2017 y fue adquirida mediante la modalidad “*llave en mano*” a la empresa francesa ECM GreenTech en noviembre de 2015. En esta planta se sintetizan dos tipos de materiales activos o materiales catódicos: I) una línea de producción de LMO, con una capacidad mínima de 1,2 kg cada 100 horas continuas; y II) una línea de producción de NMC con una capacidad mínima de 1 kg cada 100 horas continuas. La planta piloto de materiales catódicos ya comenzó a hacer entregas materiales catódicos activos NMC y LMO a la planta

piloto de baterías, sintetizados a partir del carbonato de litio boliviano de la planta piloto de Llipi.

En cuanto al CICYT MAT-REB, el cual se orienta a realizar investigaciones sobre el desarrollo de materiales de cátodo a partir del carbonato de litio producido en la planta de Llipi, en octubre de 2016 se firmó un contrato con la empresa colombiana Solar Data Lab para el diseño final del centro. En septiembre de 2017 se efectuó la primera convocatoria pública para la construcción de dicho laboratorio y en diciembre del mismo año la segunda.

Finalmente, en abril de 2018 se cerró un proceso licitatorio por el cual se adjudicó a una empresa alemana, ACI Systems GmbH, la construcción, montaje y puesta en marcha de cuatro plantas para fabricar hidróxido de litio, materiales catódicos, baterías e hidróxido de magnesio respectivamente. Todo el proyecto involucraría inversiones por más de USD 1.300 Millones, aportados por el Estado boliviano y la empresa adjudicataria. En el caso de las baterías, el propósito es exportar a Europa para uso principalmente del sector automotriz. Asimismo, se prevé convertir a YLF en una empresa corporativa de modo de poder formalizar la alianza con ACI Systems (donde el Estado tendría 51% y la empresa alemana el 49% restante) y se prevé que la nueva entidad pueda incluso abrir oficinas y filiales en el exterior.

Queda claro que, como se ha visto, los plazos originalmente establecidos para las sucesivas fases de la estrategia nacional de industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia no se han cumplido. Es posible que esto se deba a una combinación de insuficiencia de recursos financieros y las propias dificultades para gestionar un plan ambicioso en cuanto a la autonomía productiva y tecnológica, en un país que dispone de limitadas capacidades en esos ámbitos. En relación con este último tema, si bien se preveía que la participación de empresas internacionales se limitara a la provisión de la tecnología necesaria en la etapa de fabricación de baterías de litio, el gobierno ha accedido a la contratación de diversas empresas, principalmente de origen chino, para la construcción llave en mano de las plantas, tanto piloto como de escala industrial. Resta ver cómo se desarrollarán los proyectos en marcha, que son indudablemente los más desafiantes, tanto tecnológicamente como desde el punto de vista productivo y comercial.

UNIÓN EUROPEA

En el campo específico de las baterías y sus componentes, la Unión Europea (UE) cuenta con sistemas de innovación consolidados, que han comprometido un elevado monto de recursos para desarrollar tecnologías más eficientes, en particular, en el campo de la movilidad. En los últimos años, la región se ha propuesto revertir, o al menos amortiguar, el dominio de Asia en la industria de celdas de baterías. Con este propósito busca avanzar tanto en el desarrollo de tecnologías disruptivas como en la transferencia de competencias al sector productivo que tiene en Europa una base extendida en el sector de baterías tradicionales.

En el marco del programa de trabajo de la UE, se han identificado cinco temas principales:

- *Materiales avanzados para baterías*
- *Producción ecoeficiente*
- *Desarrollo de baterías con capacidad para carga rápida*
- *Reutilización de baterías eléctricas*
- *Reciclaje de alta rentabilidad*

La estrategia fija objetivos para el año 2030 en términos de: desempeño (densidad de energía gravimétrica y volumétrica; densidad de poder gravimétrico y volumétrico; vida útil de la batería); costos y producción (volumen, reciclado, reutilización).

En el diseño del plan trabajaron más de 40 expertos que han definido un esquema de implementación que fija las actividades mínimas que serían necesarias para alcanzar las metas acordadas. Este plan representa un insumo para la elaboración de una hoja de ruta para futuras inversiones en tecnología de baterías bajo el auspicio de la European Battery Alliance. Por su parte, la construcción de plantas piloto para el desarrollo de nuevas tecnologías en celdas cuenta con financiamiento de

InnovFin, la línea del Banco Europeo de Inversiones (BEI) para iniciativas innovadoras.

La European Battery Alliance se lanzó el 11 de octubre de 2017 en Bruselas. Participan de ella la Comisión Europea, los Estados miembro de la UE que han demostrado interés, el BEI, empresas relevantes de la industria y actores del sistema de innovación. La alianza creó diferentes grupos de trabajo en temas que van desde la cadena de valor, el financiamiento de inversiones y comercio, hasta las actividades de I+D. La propuesta apunta a crear una cadena de valor en la fabricación de baterías con el núcleo de la estrategia en la fabricación de celdas de baterías, en la cual Europa no posee actores clave. Para cubrir la demanda europea se requerirían entre 10 y 20 instalaciones de producción de celdas de baterías a gran escala (giga factories).

La alianza cuenta con un plan estratégico que incluye:

- *Garantizar el acceso a las materias primas que se encuentran fuera de la UE, a aquellas de origen europeo y a las que resultan del reciclado de baterías.*
- *Apoyar en Europa la fabricación a escala de celdas de batería y la conformación de la cadena de valor completa. Para esto, la alianza reúne a los principales actores de la industria y a las autoridades nacionales para trabajar en asociación con los países de la UE y el BEI para apoyar proyectos transfronterizos de fabricación a escala.*
- *Fortalecer el liderazgo industrial a través de la aceleración de la investigación y el apoyo a la innovación tanto en tecnologías más maduras (por ejemplo, ion-litio) como disruptivas (por ejemplo, baterías de estado sólido).*
- *Desarrollar y fortalecer el trabajo altamente calificado a lo largo de toda la cadena de valor para cerrar la brecha de capacidades. Aquí se incluye proporcionar*

una formación adecuada tanto a nivel de la UE como a nivel país, reentrenar y mejorar el nivel de calificación de la fuerza de trabajo y hacer de Europa una locación atractiva para expertos a nivel mundial.

- Apoyar que la fabricación de baterías en la UE tenga el menor impacto ambiental posible, estableciendo requisitos para una producción segura y sostenible en el continente.
- Garantizar la coherencia de las actividades con el marco regulatorio y habilitante más amplio de la UE (“Estrategia de Energía Limpia y Paquetes de Movilidad”, política comercial, etc.)

Para cada una de estas líneas estratégicas se han definido acciones concretas contenidas en un comunicado 115 de la Comisión Europea, publicado en mayo de 2018. Entonces, la alianza contaba con 120 actores industriales y de innovación activos que han respaldado las recomendaciones de acciones prioritarias dirigidas por EIT InnoEnergy, en asociación con países de la UE y el BEI.

InnoEnergy es una asociación público-privada que fue designada en 2019, tras competencia pública, por la junta de gobierno del Instituto Europeo de Innovación y Tecnología (EIT, por sus siglas en inglés) como KIC (Knowledge and Innovation Community) en el área de energía sustentable. Apoyada por el EIT, InnoEnergy se dedica a promover la innovación, el emprendedorismo y la educación en el campo de la energía sostenible, reuniendo al sector privado, académicos e institutos de investigación. Por su experiencia en el campo de innovación en baterías y almacenamiento, se le pidió a EIT InnoEnergy que organizara dos reuniones, en diciembre de 2017 y en enero de 2018, donde se establecieron 49 acciones necesarias para que la European Battery Alliance pueda direccionar a la UE hacia su conversión en un actor clave del mercado global de baterías. De estas acciones, 21 de ellas se han identificado como de alta prioridad. A su vez, en la presentación del plan de acción por parte de EIT InnoEnergy en febrero de 2018 se dio a conocer el mapeo de actores europeos en cada uno de los eslabones de la cadena de valor de baterías, desde las materias primas hasta el reciclado.

APLICACIONES						
MATERIAS PRIMAS	MATERIALES ACTIVOS	CELIDAS DE BATERIAS Y BATTERY PACKS		E - MOBILITY	ESS APLICACIONES INDUSTRIALES	RECICLADO/ 2DA VIDA
Elt Raw Materials	Nanomakers	EAS Batteries	Akasol	VOLKSWAGEN	ENEL	Umicore
Eramet	NXP Semiconductors	Saft	E4V	FIAT	TERNA	Veolia
Outotec	BASF	Varta	Continental	RENAULT	EDF	Solvay
EUROMINES	Arkema	Leclanche	LIONE - Mobility	BMW	Atlas Corpo	EBRA
Leading Edge Materials	Blue Solutions (Bollere)	Litarion Gmbh	BMZ - Batterie montagezentrum	Jaguar Land Rover	cyber GRID Gmbh	SUEZ
Boliden	SGL Carbon SE	Terra E	Sonnen Gbmh	PSA Group	Manz	
Terrafame	BELENOS	Liacon	EoCell Inc	NISSAN (FR)	Elring - Klinger	
Río Tinto	CEFIC	Northvolt	HE3DA	VOLVO	Stihl	
Magnis/ Allocate	Heraeus Nanomakers	Custom Cells Klib		Husqvarna Daimler	Vattenfall Total	
INVESTIGACION Y ASOCIACIONES ACTIVAS EN TODA LA CADENA DE VALOR	Fraunhofer	CEA	ENEA	T&E		
	EMIRI	ANIE	RECHARGE	SET PLAN TWG7		
	EASE	Angstrom Advance Battery Center		Akkurate 0Y	EUROBAT	CEPS

Tabla26. Actores europeos en la cadena de valor de baterías

El primer paso hacia el establecimiento de una cadena de valor europea para la construcción a gran escala de baterías de ion-litio 120 se dio a partir de que el BEI aprobó un préstamo para la construcción y operación de una planta piloto de fabricación de dicho tipo de baterías en Västerås (Suecia). Dicho préstamo, de hasta EUR 52,5 Millones, de tiene como beneficiario a Northvolt AB y es instrumentado por medio de InnovFin en el marco de “Energy Demo Projects”.

Se proyecta que la planta de Northvolt AB estaría finalizada en 2019, con una capacidad de 125 MWH anuales. El objetivo será desarrollar, probar e industrializar celdas de baterías antes de escalar la producción. El paso siguiente será la construcción de una planta de gran escala de Northvolt AB en Skellefteå (Suecia), para la fabricación de celdas de baterías con una capacidad planeada de 32 GWh para 2023. A su vez, Northvolt se ha asociado estratégicamente con socios industriales como la suiza ABB, la danesa Vestas, y la sueca Scania. La compañía también ha anunciado su asociación con la japonesa SECI, un productor de equipamiento para la fabricación de baterías.

En cuanto a la provisión de la materia prima, Northvolt AB llegó a un acuerdo con Nemaska Lithium,

la cual planea dar inicio a su planta de hidróxido de litio en Sawinigan, Quebec, Canadá. Según este trato, una vez que ambas plantas estén operativas, Nemaska Lithium proveerá a Northvolt AB de hasta 5.000 (y no menos de 3.500) TN de hidróxido de litio de grado batería por un período de 5 años.

ANÁLISIS DE LAS OPORTUNIDADES Y OBSTÁCULOS PARA EL DESARROLLO DE ESLABONAMIENTOS

A lo largo del estudio se han presentado las principales iniciativas para la construcción de eslabonamientos en torno al litio con potencial para generar capacidades e impactos benéficos para la Argentina y, en particular, para las provincias en donde se localizan las reservas respectivas. En base al enfoque sobre eslabonamientos discutido y considerando las características de las cadenas globales de valor relevantes en cada caso, se analizarán aquí las oportunidades y obstáculos que presenta estas distintas iniciativas.

AGUAS ARRIBA (HACÍA ATRÁS)		AGUAS ABAJO (HACÍA ADELANTE)			
EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO	DERIVADOS DE LITIO	MATERIAL ACTIVO	CELDA Y SUS COMPONENTES	BATTERY PACK	RECICLADO DE BATERIAS
1. Explotación sustentable de los salares	7. Desarrollo de procesos para producción de hidróxido de litio:	10. Desarrollo y fabricación de material activo	11. Fabricación de celdas	12. Ensamblado y fabricación de baterías	14. Desarrollo de procesos para el reciclado de baterías
2. Mejora en la eficiencia de métodos evaporíticos	8. Desarrollo de procesos para producción de litio metálico:				
3. Desarrollo de métodos no evaporíticos para operación en salmueras	9. Desarrollo de procesos para separación isotópica de litio 6 y 7	13. Investigación y desarrollo en baterías y sus componentes			
4. Explotación integral de salares					
5. Eslabonamientos productivos entorno a operaciones en salares					
6. Desarrollo de procesos para la explotación de yacimientos de litio en pegmatitas					

Tabla27. Principales iniciativas relevadas relacionadas con litio

En la tabla 27 se clasifican los proyectos relevantes de acuerdo al tipo de eslabonamiento productivo al que darían lugar es decir, “*hacia adelante*” (o, como se ha denominado en este trabajo, “*aguas arriba*”) o “*hacia atrás*” (“*aguas abajo*”). Como podrá verse, no se han incluido eslabonamientos horizontales (o laterales), ya que, en general, solo es posible observar el salto hacia otros sectores una vez que se han consolidado las capacidades en áreas directamente vinculadas al recurso. Aunque es difícil predecir qué tipos de eslabonamientos horizontales podrían desarrollarse, se puede afirmar que distintos factores aumentan las posibilidades de que ocurran, por ejemplo, la existencia de un sistema de innovación dinámico, una estructura productiva que incluya sectores productivos con demandas de conocimiento y firmas que lleven adelante proyectos de I+D y otras actividades de búsqueda y absorción de conocimiento.

Entre los proyectos analizados puede observarse que, tanto aguas arriba como aguas abajo, la mayor parte se concentra “*en torno*” al litio, es decir, tiene un vínculo directo con el recurso. Estas iniciativas pertenecen, principalmente, al CIDMEJU (y sus colaboradores) y a la red de investigadores liderada por FAMAFA e INIFTA. Más allá de la amplitud y profundidad de los eslabonamientos que puedan alcanzarse, esto conlleva ciertas ventajas respecto a iniciativas más “*distantes*” del recurso, que se desarrollan en extremos de la cadena de valor. En primer lugar, otorga a las autoridades encargadas del diseño de las estrategias de intervención una mayor capacidad para alinear los intereses y las acciones de los actores involucrados, puesto que tienen competencias normativas directas sobre el recurso. En segundo lugar, las iniciativas se articulan en torno a tecnologías que son familiares para los actores que operan sobre el recurso y sobre las cuales se han acumulado ya capacidades. La elección de proyectos con vínculo directo al litio permitiría construir un sendero evolutivo, en base a la acumulación incremental de capacidades, que habilitaría luego la expansión hacia otros sectores, así como la posibilidad de escalar posiciones dentro de la misma cadena del litio.

Por su parte, las iniciativas vinculadas a la batería, mayormente promovidas por instancias de gobierno y de las que participan también las redes de investigadores identificadas aquí, son aquellas que han recibido más impulso político y cuentan con mayor apoyo presupuestario. Ello no es de extrañar, puesto que, como se ha discutido, son las iniciativas de eslabonamientos productivos aguas abajo aquellas generalmente privilegiadas por los responsables de la política pública.

A pesar del atractivo que presenta, por ejemplo, la posibilidad de fabricar localmente la batería y sus componentes, no se pueden dejar de señalar desafíos importantes que tienen origen en la gran “*distancia*” que separa al recurso del producto que se pretende desarrollar o producir distancia que, por supuesto, aumenta a medida que avanzamos en la cadena de valor. Esta distancia tiene múltiples dimensiones:

- *Una distancia “material”, ya que el litio representa entre un 4% y un 10% de la batería, y la provisión del resto de los componentes debería cubrirse mediante importaciones o desarrollarse localmente (algo imposible en muchos casos ya que no existen los recursos naturales en el país).*
- *Una distancia “tecnológica”, porque la fabricación de las baterías y sus componentes supone una cantidad de desarrollos que exceden el tratamiento del litio, en los que, además, se debe recorrer un largo sendero de aprendizaje.*
- *Una distancia “competitiva”, que se observa en mercados altamente complejos y dinámicos, dominados por empresas mayormente asiáticas, en las que ni siquiera las empresas estadounidenses y europeas han logrado ingresar con fuerza.*
- *Una distancia “operativa”, porque la gestión de emprendimientos productivos de estas características involucra dimensiones que no están vinculadas con las ventajas que ofrece el recurso.*

En general, los factores intrínsecos que promueven la localización de eslabonamientos resultan favorables a la promoción de proyectos aguas arriba. Entre estos factores se destacan las especificidades que presentan los depósitos de litio que, como se ha discutido, exigen esfuerzos locales de investigación, por ejemplo, para mejorar el conocimiento de la hidrogeología y de los recursos que contienen los salares, así como el desarrollo de métodos más eficientes para su extracción. Asimismo, la intención de realizar una explotación más eficiente y sustentable del recurso abre lugar a la búsqueda de mejores procesos de extracción, tanto dentro de las actuales tecnologías evapo-

ríticas, como a partir de innovaciones disruptivas mediante técnicas no evaporíticas.

En el caso de los eslabonamientos aguas abajo la presión de los factores intrínsecos para la localización de procesos resulta menor, puesto que no se registran exigencias significativas ligadas a la eficiencia productiva más allá del procesamiento in situ del carbonato o cloruro de litio ni especificidades que deban ser atendidas mediante el agregado de valor local. Estos factores se articulan con intereses que provienen del sistema de innovación nacional, ya que refuerzan una agenda de investigación con la que ciertos actores del sistema científico y tecnológico venían trabajando aun antes de la puesta en marcha de las políticas específicas.

En las tablas 28 y 29 se presenta una síntesis de los proyectos, identificando sus objetivos, actores involucrados y los obstáculos que enfrentan. Del mismo emergen algunas asimetrías de intereses y objetivos de los actores involucrados. Aquellos de carácter privado tienen menor interés por la agenda de investigación de los actores del sistema de CYT. Los geólogos entrevistados que se desempeñan en el ámbito universitario sostuvieron que las empresas que han sido beneficiadas con la concesión para la operación de salares en la región son reacias a darles acceso para realizar investigaciones hidrogeológicas y cuando lo hacen, afirman, controlan y restringen el diseño de las mismas. De igual modo, las empresas tienen pocos incentivos para colaborar en el desarrollo de métodos no evaporíticos de extracción y procesamiento, puesto que ya han hundido capital en las instalaciones que tienen en uso. Asimismo, por su naturaleza transnacional, tienen preferencia por realizar al interior de la corporación el estudio y desarrollo de soluciones vinculadas a los procesos de producción de los bienes relacionados con el litio.

En tanto, la situación del CIDMEJU, como se discutirá con mayor detalle más adelante refleja las dificultades para formular una agenda consistente en torno al sector. La ausencia de un presupuesto estable en gran medida vinculada al estado actual de la estructura organizativa del instituto se identifica como uno de los obstáculos más significativos para el desarrollo de los proyectos.

Asimismo, se destacan los obstáculos estructurales que impone el funcionamiento de las cadenas globales de valor dentro de las cuales el litio es un

elemento destacado. Esto es particularmente visible en el caso de los mercados de baterías, donde los niveles de competencia y jerarquía entre los participantes de la cadena imponen restricciones para el ingreso de actores más pequeños, que operan lejos de los principales mercados y son tecnológicamente más retrasados. Pero también en la fase de extracción y procesamiento las asimetrías son notorias, por ejemplo, en el vínculo entre empresas transnacionales del sector minero y el entorno productivo local, lo que repercute negativamente en la posibilidad de promover eslabonamientos.

Al compararse con las estrategias adoptadas en los países vecinos del triángulo del litio, las iniciativas promovidas en la Argentina muestran un mayor nivel de dispersión. Más allá de la evaluación que se pueda realizar en el futuro sobre la efectividad de los proyectos boliviano y chileno que ocupan, al interior del triángulo, posiciones extremas por su ambición respecto a la cobertura de la cadena de valor, parece existir en estos casos una mayor alineación entre la visión estratégica en la que se encuadran, el esquema de gobernanza diseñado para el recurso, las herramientas de política diseñadas y las prácticas de los actores. En el caso chileno, como hemos visto, la actual estrategia fue precedida por las discusiones de expertos reunidos en la Comisión Nacional del Litio. El caso de Bolivia, por su parte, responde a una posición política más amplia respecto al control de los recursos naturales, que ofrece el marco de acción en el que se desenvuelve la política de control e industrialización de los recursos evaporíticos. Una vez más, las características del régimen de gobernanza de los recursos, basado en el sistema federal que rige en la Argentina, imponen condiciones que dificultan la alineación de incentivos y aumentan los costos de coordinación de políticas.

Luego, existen obstáculos que conciernen la fase productiva y comercial de los proyectos y que, principalmente, se refieren a la indefinición sobre los modelos de negocios que adoptarían dichos proyectos una vez finalizados. En particular se han relevado durante el trabajo de campo observaciones sobre las dificultades de encontrar empresas (públicas o privadas) con capacidades e interés para explotar los eventuales desarrollos, especialmente en el caso de las técnicas extractivas y la producción de derivados de litio. Las dudas sobre el modelo de negocios son muy intensas en el segmento de baterías, tema que se trata con mayor profundidad más adelante.

AREAS DE INTERVENCIÓN	PROYECTO - OBJETIVOS
AGUAS ARRIBA	
<p>Explotación sustentable de los salares.</p>	<p>Mejorar la cuantificación de los recursos y conocimiento sobre la composición de los salares. Mejorar el conocimiento sobre la hidrogeología de los salares y los factores que gobiernan su dinámica. Objetivos: I) conocer mejor las modalidades y los tiempos de recarga de la salmuera y II) conocer mejor el origen de los salares.</p>
<p>Mejora en la eficiencia de métodos evaporíticos.</p>	<p>Utilización de membranas sobre piletas de evaporación. Objetivos: I) recuperar agua para actividades de riego y II reducir dependencia de condiciones climáticas. Producción de biogás a partir de aguas negras de campamentos mineros. Objetivos I) mejorar la gestión ambiental de campamentos y II) sustituir insumos traídos desde el llano.</p>
<p>Desarrollo de métodos no evaporíticos para operaciones en salmueras.</p>	<p>Método de recuperación electroquímico en un medio acuoso. Objetivos: I) reducir el tiempo para la obtención de cloruro de litio a unas pocas horas y II) reducir el consumo de agua durante el proceso.</p>
<p>Explotación integral de salares</p>	<p>Desarrollo de procesos para realizar una explotación viables en términos económicos de otros recursos presentes en los salares (por ejemplo, hidróxido de magnesio, sulfato de magnesio, sulfato de calcio). Estudio integral de la composición química de las salmueras.</p>
<p>Eslabonamientos productivos entorno a operaciones en salares</p>	<p>Generar eslabonamientos en operaciones ligadas a la explotación de salares. Objetivos: I) mejorar capacidad de actores locales para aumentar su participación en la provisión de servicios de ingeniería y consultoría intensiva en conocimiento y II) mejorar capacidades de comunidades locales en proveer servicios de calidad a las empresas que operan en los salares (por ejemplo transporte y logística, reparación de planta e infraestructura, alimentación, lavandería y limpieza, pequeñas obras de mantenimiento, etc.).</p>
<p>Desarrollo de procesos para la explotación de yacimientos de litio en pegmatitas.</p>	<p>Testear a escala piloto el proceso desarrollado para obtener litio a partir de pegmatitas, caracterizado por su bajo consumo de energía y su capacidad para recuperar otros elementos presentes en la roca.</p>

ACTORES LOCALES PARTICIPANTES	OBSTÁCULOS IDENTIFICADOS
AGUAS ARRIBA	
Mesa del litio de los salares (COFEMIN)/ Autoridades de aplicación provinciales SEGEMAR Instituto de Geología y Minería (UNJU) CIDMEJU Servicios geológicos de China y Estados Unidos	Dificultades para acceder a salares por parte de investigadores de organizaciones públicas y Universidades. Presupuesto limitado. Limitada articulación con equipos de CyT.
CIDMEJU Universidad Nacional de Salta Sales de Jujuy INTI (Palpalá) CIDMEJU	Presupuesto limitado. Limitada cooperación con empresas concesionarias. Falta de incentivos para que las empresas modifiquen el tratamiento de aguas negras. Presupuesto limitado para actividades de desarrollo. Dificultades técnicas.
Ernesto Calvo (INQUIMAE - UBA) CIDMEJU Y - TEC Clorar	Dificultades técnicas. Dificultad para recaudar fondos para construcción de planta piloto. Poco interés de empresas instaladas en la adopción de métodos alternativos. Conflicto por derechos de coercialización. Métodos alternativos en estadio más avanzado.
Daniel Galli (UNJU) CIDMEJU INTI (Palpalá) SEGEMAR	Poco interés por parte de las empresas para explotar recursos considerados de poco interés de negocios. Escasa capacidad de regulación de las actividades de las empresas. Presupuesto limitado para actividades de desarrollo. Poca información para identificar y cuantificar recurso en salares.
CIDMEJU INTI (Palpalá) Sistema científico y tecnológico (Secretarías provinciales de Ciencia y Técnica: universidades y centros de formación CONICET).	Baja tasa de retención del sistema educativo en áreas relacionadas (especialmente en provincias donde se encuentran los salares). Preferencia de empresas que operan en salares por realizar tareas de desarrollo intermitente. Asimetría entre empresas transnacionales y comunidades locales. Bajas capacidades técnicas y de gestión empresarial en comunidades locales. Presupuesto limitado para actividades de formación.
Universidad Nacional de Cuyo CONICET Latin Recursos	La explotación de yacimientos de pegmatitas se encuentran en estado inicial y es incierta la posibilidad de explotación futura.

Tabla28. Proyectos locales identificados en relación al Litio Aguas Arriba

AREAS DE INTERVENCIÓN	PROYECTO - OBJETIVOS
AGUAS ABAJO	
Elaboración local de derivados de litio	Crear capacidades para la producción de derivados de litio en el país. Objetivos: desarrollo de procesos para producción de hidróxido de litio II) desarrollo de procesos para producción de litio metálico y III) desarrollo de procesos para separación de litio 6 y litio 7.
Investigación y desarrollo en baterías y sus componentes.	Desarrollar capacidades locales que alivian como base para el avance de las iniciativas productivas relacionadas con la fabricación de baterías y sus componentes.
Fabricación de baterías y sus componentes	Plan de negocios para producir en la provincia de Jujuy, baterías de ion-litio y sus componentes. Objetivos: I) producción en la provincia de Jujuy de batería, celdas y material activo en asociación con el Grupo SERI; II) participación accionaria en emprendimientos que el Grupo SERI desarrollo en Italia y otros países para la producción de baterías, celdas, y material activo y III) utilización de la cuota de litio a disposición de JEMSE para aumentar los flujos de recursos económicos de la provincia de Jujuy.
Desarrollo de procesos para el reciclado de baterías	Desarrollo procesos amigables con el medioambiente que permitan un alto grado de recuperación de baterías de ion - litio.

En efecto, los desarrollos aguas abajo son particularmente sensibles a obstáculos relacionados con las condiciones de competencia de mercados. En este sentido, se observan dificultades para ingresar en mercados altamente competitivos, dominados por empresas asiáticas (o que producen en Asia). La sustentabilidad de estos proyectos queda supeditada, por lo tanto, a la necesidad de establecer un plan de negocios que prevea, en primer lugar, una curva

de aprendizaje tecnológico que permita reducir costos de producción aceleradamente, al tiempo que, en segundo lugar, asegure un volumen de demanda que habilite que los proyectos operen en una escala adecuada. Esto supone, asimismo, asegurar una línea de presupuesto que permita financiar el período de desarrollo de los negocios, hasta alcanzar el punto de auto sustentabilidad del negocio.

ACTORES LOCALES PARTICIPANTES	OBSTÁCULOS IDENTIFICADOS
AGUAS ABAJO	
<p>CIDMEJU INTI (Palpalá) Clorar UNJU Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)</p>	<p>El modelo de negocios de las empresas que de derivados del litio. Concentración de mercado por parte de empresas establecidas (principalmente asiáticas). No hay agentes locales que manejen la tecnología para producción a escala industrial. Elevados costos de producción locales. Dificultades para lograr apoyo de políticas públicas que promueven la industrialización de las innovaciones desarrolladas.</p>
<p>FAMAF / INTA Universidad Nacional de Catamarca CONICET / Y - TEC</p>	<p>Dificultades para desarrollar modelos de negocios atractivos para empresarios operando en el país . Dificultades para lograr apoyo de políticas públicas que promueven la industrialización de las innovaciones desarrolladas.</p>
<p>Grupo SERI (FIB-FAAM, Lithops) JEMSE/ Jujuy LITIO Y - TEC CIDMEJU</p>	<p>El grupo SERI actualmente no produce material activo y celdas a escala industrial. Es un actor pequeño en el mercado de baterías ion litio. Falta de información sobre estructura de costos de la producción local de las baterías y margen respecto a precio "de mercado". Importante para estimar "costo" del proceso de aprendizaje del proyecto. Poca precisión sobre programa de transferencia de tecnología por parte de Grupo SERI a actores locales. La responsabilidad de comercialización de las baterías producidas recae sobre la provincia de Jujuy. Falta de coordinación con políticas nacionales para mejorar condiciones de desarrollo del proyecto (por ejemplo, política de renovación de la flota de autobuses). Limitaciones presupuestarias para programas de compras públicas para la innovación. Barreras a la entrada: concentración del mercado de baterías en pocos productores (mayormente asiáticas).</p>
<p>Universidad Nacional de Cuyo CONICET Departamento de Godoy Cruz (Mendoza)</p>	<p>Proceso en escala piloto con los altos costos del litio recuperado.</p>

Tabla29. Proyectos locales identificados en relación al Litio Aguas Abajo

El informe de Deutsche Bank (2016) realiza una evaluación de las barreras a la entrada de nuevas firmas en los distintos eslabones de la cadena del litio en base a un conjunto de indicadores y dimensiones analíticas (tabla 30). A medida que se avanza en la cadena, las barreras a la entrada van disminuyendo, aunque también caen los márgenes de rentabilidad. A su vez, las condiciones de competencia son más intensas y los mercados más dinámicos, por lo que la

supervivencia en estos segmentos requiere elevados niveles de productividad y una mejora permanente de costos y procesos. Se estima que los costos de producción de celdas de baterías disminuirán del valor actual de alrededor de USD 200/KWH en 2010 roza-ban los USD 400/KWH a alrededor de USD 150/KWH en 2025. Adicionalmente, las empresas dedican grandes recursos a las actividades de I+D para mantenerse en la fuerte carrera tecnológica que predomina en el

	COMPUESTO DE LITIO	CATODO	ELECTROLITO	BATERIAS
Nivel de concentracion de mercado				
Participacion de las 4 mayores empresas	75%	42%	50%	65%
Participacion de las 10 mayores empresas		67%	85%	90%
Barreras a la entrada	medio	bajo	bajo	medio
Requisitos de capital	bajo	bajo	bajo	medio
Know how de produccion	medio	bajo	bajo	medio
Estandares industriales claros	no	no	si	si
Acceso a la materia prima	dificil	medio	medio	facil

Tabla30. Análisis de barreras a la entrada en la cadena de valor del litio

sector. En este sentido, se señala que pueden pasar entre 10 y 20 años desde el desarrollo de un prototipo de batería hasta su lanzamiento en el mercado. Las actuales tecnologías, por ejemplo, fueron desarrolladas hace ya más de 20 años LCO fue lanzada en 1991, LTO en 1993 y LFP en 1995.

En los siguientes puntos se analizarán con mayor detalle las iniciativas relevadas a lo largo del informe, con el objeto de profundizar las observaciones adelantadas aquí, sugiriendo, además, algunos elementos para la construcción de una agenda de política en torno al sector.

PROCESOS DE EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DEL LITIO

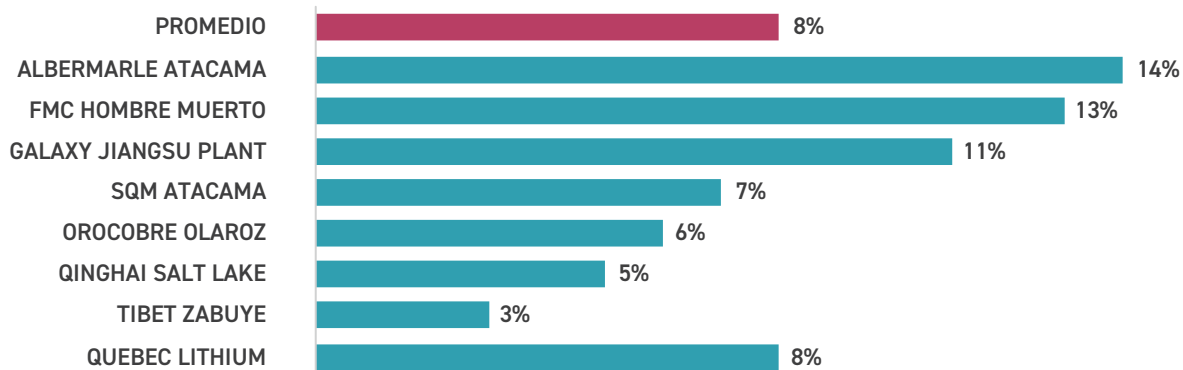
Como se ha discutido, la tecnología de extracción utilizada para la explotación de salares y el procesamiento del litio es relativamente madura. Sin embargo, ello no significa que el desarrollo de procesos para la producción de carbonato de litio sea sencillo. La recuperación de litio de alta pureza a partir de salmueras requiere la remoción de muchos elementos entre los que se incluyen el sodio, el calcio, el magnesio, el boro y el potasio 125. Por otra parte, la composición química de los salares puede diferir notablemente y, en consecuencia, los métodos deben ser ajustados para maximizar la obtención de litio de calidad de las distintas salmueras. Estas diferencias no se registran solo entre salares, sino también entre los distintos puntos de un mismo salar donde se hacen las perforaciones. Como ponen de manifiesto las experiencias recientes que han tenido lugar en la Argentina, la curva de

aprendizaje tiene elevada pendiente, lo que retrasa la posibilidad de alcanzar el volumen, los costos y la calidad del producto que demanda el exigente mercado de baterías. El gráfico 56, por ejemplo, muestra la evolución de la producción de carbonato de litio durante los tres primeros años de operación.

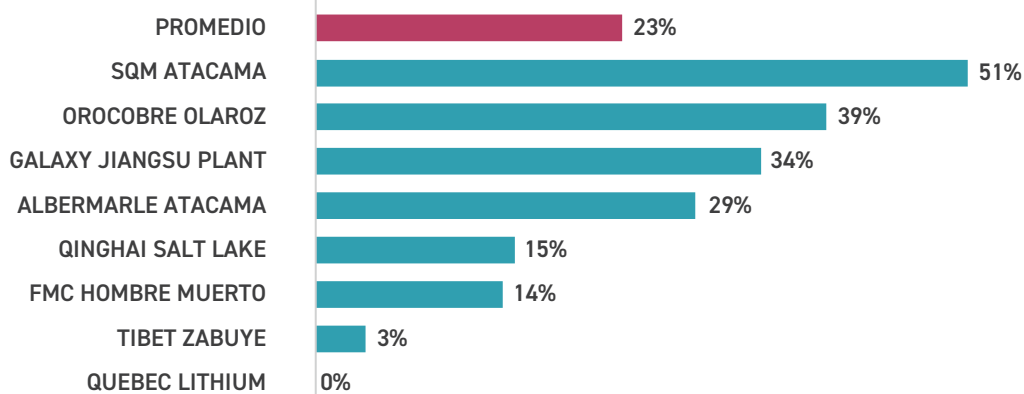
La información reportada por Sales de Jujuy, la última gran explotación de litio en salares que inició operaciones a nivel mundial, ilustra las dificultades para alcanzar los costos de producción esperados en este tipo de explotaciones. En su informe trimestral de operaciones para el período finalizado en marzo de 2018, Oro cobre (socio mayoritario de la subsidiaria) informa un costo operativo de USD 4.365 por tonelada de carbonato de litio, por encima de los USD 3.946 del trimestre anterior (Oro cobre, 2018). Esto ubica a la firma muy por encima de las explotaciones de salares en Chile, con costos de producción en torno a los USD 2.500 o USD 3.000, en los casos de SQM y Albemarle, respectivamente, y más cerca de las explotaciones a partir de mineral de pegmatita, en Australia, con costos que rondan los USD 4.500 por tonelada (Deutsche Bank, 2016).

Como se ha señalado antes en este documento, existen oportunidades para generar mejoras dentro de las técnicas predominantes, así como también una intensa competencia por desarrollar métodos disruptivos que resuelvan los puntos débiles que tienen las tecnologías de explotación dominantes. En el caso particular de los procesos de operación de salares, los trabajos de investigación se orientan, fundamentalmente, a acortar los extensos plazos que transcurren entre el bombeo y la obtención del carbonato de litio, a reducir el CAPEX 126, y a minimizar la evaporación de grandes volúmenes de agua y la generación de residuos.

PRIMER AÑO



SEGUNDO AÑO



TERCER AÑO

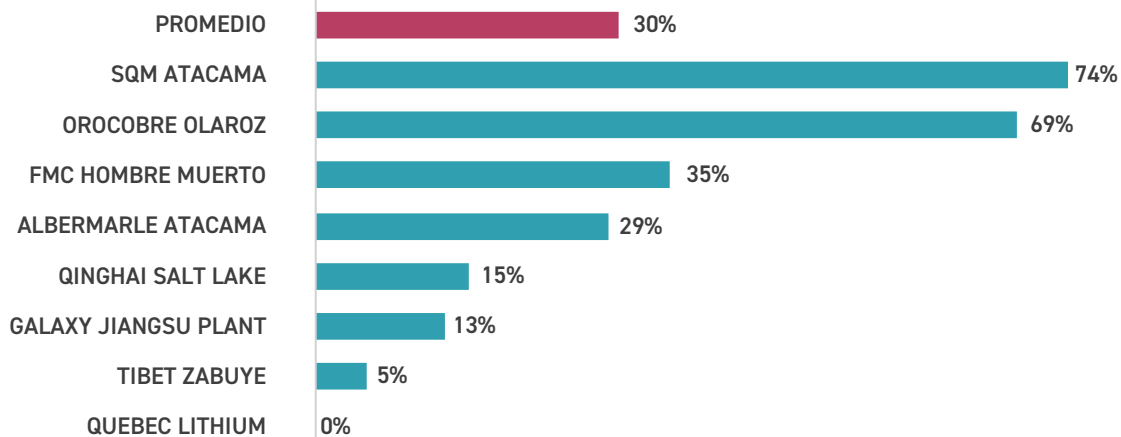


Gráfico56. Crecimiento de la producción de distintas explotaciones de litio a partir de sales durante los tres primeros años

En la actualidad, en las firmas que realizan actividades de exploración, desarrollo u operación de salares en Argentina, los servicios de consultoría e ingeniería más intensivos en conocimiento son provistos internamente por la misma corporación o por firmas especializadas del exterior. El sistema científico y tecnológico local es aún muy limitado y sus capacidades muy incipientes, ya que, además de tratarse de un país con limitada tradición minera, la industria del litio tiene un desarrollo relativamente reciente.

Si la Argentina pretende convertirse en un líder tecnológico en la producción de litio deberá generar capacidades domésticas, con conocimiento adecuado sobre las condiciones idiosincráticas de explotación, que induzcan a las empresas a buscar en el ámbito local soluciones para sus problemas. Ciertamente, el control total de los salares por parte de empresas multinacionales con sus centros de I+D en el exterior plantea obstáculos para avanzar en esta dirección. Sin embargo, como demuestra, por ejemplo, el exitoso caso noruego, es posible concebir mecanismos que favorezcan las actividades de cooperación entre dichas empresas transnacionales y los organismos y actores nacionales del sistema de CYT.

En particular, el desarrollo de nuevas técnicas de procesamiento de litio constituye un campo altamente intensivo en conocimiento, sumamente competitivo y con posibilidades de conseguir un alto impacto en el mercado internacional, además de generar capacidades que pueden tener aplicación en otros ámbitos. El desarrollo de nuevos métodos que reduzcan los costos de inversión y/u operativos, y que disminuyan la escala eficiente de operación, permitiría, además de acortar los tiempos para poner en marcha la explotación de salares, aumentar significativamente la oferta de litio a nivel mundial (lo que, a los efectos de los intereses del país, tendría como contrapartida, *ceteris paribus*, un precio por tonelada inferior). Además de avanzar en el terreno científico y tecnológico, el desarrollo de este tipo de tecnologías requiere de elevadas inversiones –por ejemplo, para construir una planta piloto, por lo cual se hace necesario definir con claridad el modelo de negocios asociado.

Pero en el ámbito de las actividades de extracción y procesamiento se presentan también desafíos que requieren la combinación de iniciativas a nivel institucional con avances en el terreno científico. En particular, en línea con las conclusiones de la Comi-

sión Nacional del Litio (2015) en Chile y de lo discutido, en particular, en la Sección 3, se destaca aquí la necesidad de asegurar una explotación integral y sustentable de los salares.

En lo que se refiere a la explotación integral de los recursos, el aprovechamiento de otros elementos presentes en los salares requiere, simultáneamente, un mayor conocimiento de los salares, el desarrollo de tecnologías de recuperación y procesamiento que vuelvan más eficiente su extracción y el desarrollo de modelos de negocios que incorporen la explotación de los recursos y sus derivados (como es el caso de las empresas chilenas). Para ello, desde el punto de vista institucional, se necesitan reglas que generen incentivos en esta dirección y faciliten, al mismo tiempo, la cooperación entre el sistema científico y tecnológico y los actores privados del sector.

En lo que se refiere a la segunda cuestión, la sustentabilidad de los salares y el ecosistema de la Puna, se destaca la necesidad de mejorar el conocimiento sobre su hidrogeología, al menos, en el dominio público. En este ámbito, como se ha discutido, el SEGEMAR tiene proyectos en curso. Esto implica, por ejemplo, analizar en profundidad la interacción entre los sistemas de aguas de los salares y las aguas frescas que rodean a los mismos considerando, por ejemplo, su permeabilidad y porosidad–, la cual será específica de cada salar y se verá afectada de manera distinta según las modalidades de explotación. Esto resulta importante no solo para considerar cuáles son las condiciones de explotación que permitirían reducir la pérdida de agua disponible para otras actividades económicas, sino también para minimizar la disolución de los propios salares. También en este ámbito resulta imprescindible la articulación de acciones de los organismos públicos con competencia para la aplicación de los códigos mineros provinciales y, por lo tanto, de dictar, monitorear y asegurar el respeto de la normativa, el sistema científico y tecnológico –en particular de los geólogos especializados– y las empresas beneficiadas con las concesiones de los salares. El papel del SEGEMAR en este tipo de actividades puede resultar muy importante, no solo por los proyectos en desarrollo para mejorar el conocimiento sobre distintos aspectos de los salares reservas, dinámica, etc. sino también para prestar apoyo técnico a las provincias, que muchas veces no cuentan con capacidades y recursos adecuados para desarrollar plenamente estas funciones.

PROYECTOS LOCALES DE INDUSTRIALIZACIÓN

Como se ha discutido, los proyectos locales de industrialización del litio pueden dividirse en dos grandes grupos. En primer lugar, se encuentran aquellos que se orientan a desarrollar tecnologías para la producción de compuestos del litio que se ubican en eslabones cercanos a la fase de extracción y procesamiento del carbonato de litio. En este grupo se encuentran, principalmente, los proyectos relacionados con el hidróxido de litio, el litio metálico y la separación isotópica de litio 6 y litio 7. En segundo lugar, se encuentra el proyecto de producción de baterías, que se ubica cerca del final de la cadena de valor del litio justo antes de la fase de reciclado, que hoy ocupa un lugar menor en dicha cadena.

El proyecto de producción de baterías en la provincia de Jujuy, materializado a través del acuerdo entre JEMSE y el Grupo SERI, aparece como la iniciativa que, hasta el momento, ha alcanzado un mayor grado de avance. En esencia, el proyecto tiene una doble finalidad para la provincia: crear un mecanismo extraordinario de apropiación de la renta minera que complementa las regalías obtenidas por las concesiones y, al mismo tiempo, generar eslabonamientos productivos “*hacia adelante*” con la perspectiva de constituir un espacio en torno al cual se puedan desarrollar capacidades productivas y tecnológicas que contribuyan al desarrollo de la provincia de Jujuy (además de generar empleo). Para el grupo SERI, claramente, el principal incentivo radica en la posibilidad de conseguir un recurso que, en un contexto de demanda creciente y alta concentración de mercado, se ha vuelto de difícil acceso para las empresas más pequeñas.

Con relación a la cuestión de la renta minera, debe señalarse que la existencia y tamaño de los ingresos adicionales que reciba la provincia por este proyecto dependen de la capacidad que tengan las operaciones en las que Jujuy Litio tenga participación en Jujuy, en Italia y, potencialmente, en otras partes del mundo— para generar ganancias. Solo en ese caso la provincia sería capaz de convertir la cuota de carbonato de litio que posee en Sales de Jujuy y, más adelante, en otras operaciones que se pongan en marcha en la provincia, a través de la firma JEMSE, en una renta de naturaleza extraordinaria que supere los ingresos por la venta misma del carbonato de litio.

En base al análisis realizado en las secciones precedentes deben, sin embargo, tomarse en consideración algunos puntos que ponen en riesgo la generación de estos recursos:

CONDICIONES DE MERCADO

A pesar de las oportunidades de negocio que ofrecen las perspectivas de crecimiento de la demanda de baterías a nivel mundial, la producción de aquellas y sus componentes está concentrada en unos pocos países asiáticos que han demostrado tener elevados niveles de competitividad y que controlan el mercado. Esto es particularmente cierto en el caso de la tecnología LFP, que sería la elegida por la empresa para producción en Jujuy, al menos durante los primeros años de la operatoria. El grupo SERI, por su parte, aun no produce a escala industrial material activo ni celdas. En el entorno competitivo actual, y considerando la curva de aprendizaje que seguramente deberá recorrer la firma en el proceso de desarrollo y escalado de la tecnología, es probable que durante los primeros años de la operatoria no se obtengan los beneficios esperados.

CONDICIONES INSTITUCIONALES

Existe entre los socios del emprendimiento una marcada asimetría, que no solo concierne a la dimensión tecnológica, sino también a las áreas de gestión y comercial, que hacen a la operación misma del negocio. En esta última área, en particular, se requieren capacidades para “*crear*” un mercado, el sudamericano, que es pequeño en baterías e inexistente en celdas y material activo. La complejidad y el dinamismo del sector que se abordará requiere un mayor nivel de profesionalización por parte de los socios locales que mejore la capacidad para:

- *Diseñar una estrategia que permita superar la fase inicial del modelo de negocios, sustentada fundamentalmente en compras directas o subsidiadas por el Estado bajo algún esquema de compras públicas para la innovación, y pueda dar sustentabilidad económica al proyecto (aunque en el actual contexto de restricción presupuestaria, la alternativa de una estrategia de estas características no parece viable).*
- *Operar el negocio de manera autónoma. Esto supone no solo tomar responsabilidad por los aspectos tecnológicos del emprendimien-*

to, sino también por aquellos de naturaleza no tecnológica, como los servicios de venta y postventa para la región sudamericana –que sería el mercado que se pretende abastecer desde la Argentina.

- *Monitorear y auditar las actividades de la sociedad, tanto en la Argentina como en Italia. A partir de la información recogida durante el trabajo de campo realizado, se vislumbra un ambicioso plan de negocios que pretende ampliar las fronteras de la operatoria de la sociedad más allá de estos países –en principio, se mencionó interés por instalar plantas en India y China. La expansión geográfica de la firma, que Jujuy Litio acompañaría como socio en tanto poseedor indirecto de la cuota de litio, reforzaría la demanda de una administración profesional.*

En relación a la segunda dimensión del emprendimiento entre Jujuy Litio y el grupo SERI esto es, la productiva y tecnológica–, es necesario destacar que las posibilidades de generar capacidades a partir de un emprendimiento de naturaleza exclusivamente ensambladora son muy limitadas – más allá, por supuesto, de los puestos de trabajo directos que generará la planta, estimados en unos 65, inicialmente. Como se ha discutido ampliamente en la literatura, el potencial para emprender un proceso virtuoso de aprendizaje tecnológico depende, fundamentalmente, de las así llamadas “*capacidades de absorción*”, así como también de las actividades de I+D desarrolladas localmente. En base al análisis de la información que se ha logrado relevar sobre el proyecto, surge la necesidad de definir algunos puntos importantes, que generarían mejores condiciones para que dicho proceso tenga lugar:

- *Especificar las actividades de transferencia tecnológica desde el grupo SERI a los socios argentinos, más allá de los grupos de investigación que participan del equipo de Y-TEC. Se podría incluir en el esquema la participación de investigadores y la formación de becarios en los centros de I+D que el grupo SERI tiene en el exterior. Asimismo, instituciones locales, en particular el CIDMEJU, el INIFTA y FAMAFA, podrían participar del plan de trabajo de los consorcios de investigación de los que participa Lithops.*

- *Generar articulaciones con actores del sistema productivo local que puedan tener interés en beneficiarse de la transferencia de la tecnología desarrollada y generar modelos de negocios que den lugar a eslabonamientos locales. Debe destacarse que durante las primeras fases de operatoria de la planta de baterías el litio extraído de Jujuy ni siquiera sería transformado en material activo para baterías en la provincia. El papel de Y-TEC para facilitar estos procesos puede ser relevante, por su naturaleza de empresa tecnológica.*
- *Definir un plan de trabajo y formas de vinculación entre el proyecto y los equipos locales que llevan adelante tareas de I+D en temas relacionados con el litio, la producción de baterías y sus componentes (en particular, el CIDMEJU, que podría coordinar un programa integrado de actividades que incluya a equipos de investigación en otras instituciones del país).*

Volviendo al grupo de proyectos vinculados a la producción de compuestos del litio que se ubican en eslabones cercanos a la fase de extracción y procesamiento inicial del recurso, cabe destacar que los mismos presentan desafíos que son de naturaleza particular vis a vis el de fabricación de baterías. En principio, todos ellos se orientan a resolver problemas tecnológicos complejos, especialmente en lo que se refiere al desarrollo de nuevos procesos. Por ejemplo, producir litio metálico en condiciones competitivas con los costos de energía local o desarrollar tecnología para la producción de hidróxido de litio sin pasar por carbonato de litio. Sin embargo, a diferencia de la batería (en las condiciones planteadas en el proyecto antes discutido), implicarían innovaciones domésticas, antes que la importación de tecnología con fines productivos. Asimismo, se requerirían capacidades de comercialización menos sofisticadas, por tratarse de productos menos diferenciados que las baterías. Estos factores alentarían el desarrollo local de emprendimientos de este tipo.

FORTALECIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE INNOVACIÓN NACIONAL Y REGIONALES

A medida que se avanza hacia niveles más complejos, el proceso de aprendizaje tecnológico requiere el desarrollo de un sistema de innovación que favorezca los procesos de creación y difusión de conocimiento. Ello implica, entre otras condiciones, que los actores que pertenecen al sistema de CYT operen en un entorno institucional que tenga una dotación de recursos adecuada, proponga incentivos eficaces a los investigadores y favorezca el intercambio de conocimiento con los actores del sector privado.

En el campo específico de las baterías y sus componentes, distintos países y regiones del mundo, con sistemas de innovación consolidados, han comprometido un elevado monto de recursos para desarrollar tecnologías más eficientes, en particular, en el campo de la movilidad. La dimensión de los desafíos en el ámbito de las baterías queda ilustrada en el documento *“Become competitive in the global battery sector to drive e-mobility forward”*, que publica los objetivos del programa de la Comisión Europea para el desarrollo de la industria de baterías para la movilidad eléctrica:

- *La competencia en este sector es intensa y no deja espacio para la complacencia. Por lo tanto, es necesario aumentar la investigación y la innovación para no perder el tren del desarrollo y la adopción de baterías en el mundo. Las actividades de investigación e innovación son necesarias para volverse competitivo en el sector de baterías.*

La decisión política de crear el CIDMEJU constituye un paso hacia la articulación de un sistema de innovación en torno a los salares. El centro no solo pretende ocupar un lugar destacado en la agenda de investigación sobre litio, sino que, tal como evidencia su nombre *“Centro de Investigación y Desarrollo en Materiales Avanzados y Almacenamiento de Energía”* representa una oportunidad para generar capacidades y formar recursos en desarrollo de ciencias de materiales y con orientación hacia aplicaciones en energía.

Desde su creación, el CIDMEJU ha sido beneficiado con distintas líneas de financiamiento que le han permitido adquirir equipamiento, así como desarrollar sus líneas de investigación. Sin embargo, no pueden dejar

de señalarse desafíos que enfrenta el CIDMEJU y ponen en riesgo su capacidad para constituirse en una organización capaz de articular y motorizar el desarrollo de capacidades en torno al litio. Entre aquellas se pueden enumerar las siguientes:

- *Los problemas para lograr la radicación de investigadores, lo que, a su vez, repercute negativamente sobre la posibilidad de consolidar la organización del centro.*
- *Agenda de trabajo dispersa, con una definición poco consensuada entre los miembros del equipo de trabajo.*
- *Los vínculos con otros actores del sistema de CYT, tanto del país como del exterior, son de naturaleza personal y no forman parte de una agenda de trabajo institucionalizada.*
- *La actual ausencia de equipos de geólogos, necesarios para profundizar estudio de los salares y su dinámica. Este problema quedaría subsanado de concretarse el ingreso del SEGEMAR al CIDMEJU.*

Pese a estas debilidades, consideramos que el CIDMEJU podría ocupar un lugar estratégico como coordinador de la agenda de investigación nacional en torno al litio. Sin embargo, para ello sería necesario:

- *Definir un programa de investigación y un plan de trabajo, elaborados a partir del diálogo conjunto con actores del sector privado relacionados con el litio o que podrían participar de la cadena de producción.*
- *Fortalecer las redes con otros actores del sistema de CYT, incluyendo a las universidades, el INTI y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), entre otros.*
- *Consolidar un presupuesto que permita la planificación de líneas de trabajo plurianuales, la compra de equipamiento y la contratación de personal de apoyo. Este presupuesto se puede alimentar adicionalmente con financiamiento derivado del sector*

privado, así como también de las rentas obtenidas por JEMSE y Jujuy Litio.

- *Mejorar los incentivos para la radicación de investigadores en el CIDMEJU.*
- *Incluir las áreas de investigación relacionadas con el estudio geológico de los salares.*
- *Promover las alianzas internacionales.*

Asimismo, a los fines de fortalecer la dimensión productiva del sistema de innovación, resulta imprescindible involucrar a los actores privados en la definición e implementación de proyectos. Esto se presenta como una condición necesaria para que la I+D pueda convertirse en una herramienta para la construcción de eslabonamiento amplios y, especialmente, profundos, con preferencia para la localización de procesos en el territorio local. Más allá de las orientaciones adoptadas, las experiencias de los países vecinos constituyen referencias valiosas para la construcción de agenda. En particular, el caso de la Comisión del Litio, en Chile, se presenta como el de un proceso informado que ha convocado a una gran diversidad de actores y que se ha plasmado en iniciativas que involucran al sector privado. Asimismo, la construcción de agenda mediante procesos de este tipo permite reforzar el respaldo político y social de las medidas adoptadas.

CONCLUSIONES DE LA EXPLOTACIÓN DE LITIO

El litio ha adquirido notoriedad en tiempos recientes debido al gran interés que ha despertado tanto en inversores mineros que buscan nuevas oportunidades de negocios como en aquellas empresas que desarrollan productos en los que el litio es un insumo crítico. Entre estas últimas se encuentran, principalmente, los fabricantes de baterías, ya no solo en la electrónica, sino también en la industria automotriz y para almacenamiento energético. El mayor uso de las baterías de litio en estos dos últimos sectores se da en el contexto de las iniciativas globales para avanzar no sin dificultades en el uso de tecnologías limpias y en el proceso de descarbonización (del que son ejemplos los acuerdos de París de 2015 en el marco de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático).

Si bien el litio no es un metal escaso, la oferta de los insumos utilizados en la producción de material activo de las baterías principalmente el carbonato de litio no ha logrado responder a la demanda explosiva por parte de los usuarios. La puesta a punto de un proyecto para la explotación de salares puede demorar hasta 10 años, mientras que los proyectos dirigidos a obtener el litio de pegmatitas pueden implementarse más rápidamente, aunque con costos operativos mucho más elevados.

Los países donde se concentran las mayores reservas de litio, Argentina, Australia, Chile y China –además de Bolivia, que tiene vastos recursos, pero cuyo potencial económico no ha sido debidamente cuantificado– se presentan entre los potenciales beneficiarios de este escenario. Estos países buscan atraer inversiones, las cuales una vez concretadas generan mayores ingresos por regalías e impuestos, así como divisas por exportaciones. En algunos casos, como los de los países del triángulo del litio, los gobiernos nacionales y locales han buscado aprovechar la posesión de un recurso codiciado para promover impactos positivos sobre sus territorios en materia de eslabonamientos productivos, proyectos de innovación y/o desarrollo local.

La Argentina es el cuarto país del mundo en reservas y el tercero en volumen de producción, de acuerdo a datos del U.S. Geological Service (2018). El grueso de las reservas probadas y potenciales de litio está en salares situados en tres provincias norteñas, Catamarca, Jujuy y Salta (solo en las dos primeras se

produce en 2018, aunque hay proyectos en desarrollo en los tres casos). El país también posee yacimientos en pegmatitas que actualmente se encuentran en fase de exploración.

El potencial en este sector es tan grande que algunos analistas especulan con la posibilidad de que la Argentina se convierta en el principal productor de carbonato de litio. Esto ha motivado que en la prensa local se hable del “oro blanco”. Las expectativas generadas sugieren incluso la posibilidad de que el litio se convierta en un nuevo producto “estrella” de la canasta exportadora. Sin embargo, el optimismo es a todas luces desmedido, aun considerando las proyecciones más optimistas respecto a las proyecciones sobre el volumen de producción del país en los próximos años. Actualmente, con precios que han alcanzado su máximo histórico, las exportaciones de carbonato y cloruro de litio no llegan a representar el 0,4% de las exportaciones locales. Para alcanzar apenas el 1% de las exportaciones debería, ceteris paribus, más que duplicarse la producción, lo cual, considerando el ritmo de exploración, de puesta en marcha y evolución de los proyectos durante sus primeros años de funcionamiento, no parece factible en los próximos 5 años.

Si, en cambio, existen dos tipos de impacto que son más prometedores. El primero de ellos es de naturaleza local y concierne a las provincias donde se localizan los salares. La generación de ingresos que suponen las actividades de exploración y prospección, así como la construcción y operación de las plantas, puede tener un impacto importante sobre los recursos fiscales y el empleo de dichas provincias, que se encuentran entre las de menor desarrollo relativo del país. Esto último es particularmente importante en los territorios donde se realiza la actividad extractiva, ya que se trata de zonas que están incluso más rezagadas que el promedio de los respectivos distritos provinciales donde se localizan. Para ilustrar la dimensión de la actividad, basta señalar que las exportaciones de carbonato y cloruro de litio representan alrededor del 16% de las exportaciones jujeñas y en torno al 10% de las de Catamarca.

El segundo impacto se refiere a la oportunidad que ofrece el litio para que la Argentina se convierta en un jugador relevante en el desarrollo de tecnologías

aplicadas en las distintas etapas de la cadena de valor. Que esta oportunidad se materialice depende, en gran medida, de lo que ocurra en los distritos donde se encuentran las reservas de litio, ya que en el actual orden constitucional argentino son las provincias las que tienen el dominio originario de los recursos mineros existentes en su territorio. Pero también depende de las actividades de un conjunto más amplio de actores que incluyen al sector privado y a quienes participan del sistema de ciencia y técnica nacional.

En primer lugar, los gobiernos podrían utilizar los ingresos derivados del litio para mejorar la infraestructura y el capital humano de sus provincias, o promover el surgimiento de otras actividades que diversifiquen la estructura productiva local. Estos temas no han sido tratados en este estudio y futuras investigaciones deberían indagar sobre los mismos. Sin embargo, como se discute a lo largo del trabajo, el mayor potencial transformador de las industrias extractivas pasa por el desarrollo de eslabonamientos “productivos” (que incluyen también los de naturaleza científico-tecnológica). Para que este tipo de eslabonamientos se pueda materializar, como se ha señalado, es necesario establecer una estrategia que esté alineada con el régimen de gobernanza del recurso y las estrategias a disposición.

El camino por recorrer para concretar las oportunidades que se abren es largo. No solo se trata de un sector de incipiente desarrollo –aun cuando el Salar del Hombre Muerto, en Catamarca, se haya explotado desde 1998– sino que el país no cuenta, a diferencia de su vecino Chile, con una industria minera de alto volumen, que le haya permitido el desarrollo de capacidades productivas y tecnológicas relacionadas con la explotación de litio. En el caso argentino, Jujuy ha sido la provincia que con mayor ímpetu ha intentado avanzar por esta vía, buscando ir más allá de la fase extractiva para generar impactos y capacidades en estadios “aguas arriba” y “aguas abajo” de la cadena de valor del litio.

De estas iniciativas, la que ha concitado mayor atención en el debate público es la de la fabricación (o más bien, por ahora al menos, ensamblado, ya que el proyecto prevé el uso de celdas importadas) de baterías de ion-litio. Este proyecto se ha concebido en asociación con un grupo empresario italiano cuyo

ingreso al mercado de litio es incipiente, aprovechando la cuota de prioridad de venta de carbonato de litio que JEMSE posee en Sales de Jujuy, en Minera Exar, cuando comience a producir –y, posiblemente, en los futuros emprendimiento que operen en salares ubicados en la provincia. En esto, el gobierno de Jujuy intenta seguir la lógica predominante en la mayor parte de los países y territorios abundantes en recursos extractivos y rezagados en términos socioeconómicos: avanzar “*aguas abajo*” hacia la etapa industrial, buscando promover la emergencia de nuevos sectores productivos en base al procesamiento del mineral.

Sin embargo, la teoría económica que se ocupa de las relaciones entre recursos naturales y desarrollo, la evidencia internacional de países de altos ingresos ricos en recursos extractivos (por ejemplo, Australia o Noruega) y el propio examen de las fortalezas y debilidades del “*proyecto batería*”, sugieren que este no es necesariamente el camino más apropiado para aprovechar al litio como plataforma de una transformación estructural de las provincias dueñas del recurso. Desde un punto de vista general, los países ricos en recursos naturales y con experiencia y conocimiento en las industrias primarias no necesariamente (y, más bien, se podría decir raramente) cuentan con las capacidades necesarias para competir en las industrias aguas abajo (para ilustrar el punto, se podría decir que disponer de hierro no necesariamente genera condiciones propicias para producir eficientemente vehículos que utilizan acero).

En el caso específico del “*proyecto batería*” se han analizado diferentes dimensiones que ponen de manifiesto la “*distancia*” que separan la posesión del recurso primario litio en este caso de la posibilidad concreta de avanzar hacia la fabricación de dicho producto. En primer lugar, existe una distancia “*material*”, caracterizada por la pequeña parte que el litio representa del costo total de una batería. En segundo lugar, existe una distancia “*tecnológica*”, que se explica por el hecho de que el camino aguas abajo en la cadena de valor nos conduce hacia procesos que son, en términos tecnológicos, cada vez más “*extraños*” respecto a los procesos necesarios para extraer eficientemente el recurso. En tercer lugar, existe una distancia “*competitiva*”, ya que hay jugadores instalados con elevadas escalas, bajos costos de producción y que operan cerca de sus clientes, todas condiciones esenciales para lograr competitividad en este tipo de productos. Finalmente, identificamos una distancia “*operativa*”, ya que un proyecto de estas características requiere para ser

exitoso no solo capacidades técnicas y productivas, sino también de gestión y comerciales, que no está claro que estén disponibles hoy en Jujuy. Estas “*distancias*” no necesariamente suponen la cancelación de iniciativas de este tipo, pero deben tomarse consideración para dimensionar los desafíos que imponen para la política pública y los potenciales costos que conllevarán para la sociedad al menos durante su período de maduración proyectos de estas características.

En contraste, los eslabonamientos “*aguas arriba*”, que han sido promovidos con éxito en experiencias como las de Australia y Noruega, aun cuando no están exentos de desafíos, presentan algunas ventajas que no están presentes en las actividades “*aguas abajo*”:

Dichos eslabonamientos están “*más cerca*” de las capacidades locales desde el punto de vista de la familiaridad de los agentes con los conocimientos y tecnologías empleadas

La explotación de recursos naturales siempre tiene aspectos “*idiosincráticos*” que muchas veces hacen necesaria la generación de innovaciones específicas y adaptadas a esos aspectos

En lo que se refiere a la explotación específica del litio en salares y a partir de pegmatitas, la actividad tiene características intrínsecas que favorecen el desarrollo local de encadenamientos.

En otras palabras, disponer de litio favorece más este tipo de encadenamientos en relación a los que se desarrollan “*aguas abajo*”. De hecho, en el escenario de mercado antes descrito para el caso específico del litio, hay una evidente necesidad de desarrollar tecnologías más eficientes en pos de reducir costos y, en lo que hace a la explotación en salares, en particular, se plantea la posibilidad de implementar métodos no evaporíticos (innovaciones disruptivas), que reduzcan de manera dramática los tiempos necesarios para poner a punto los proyectos productivos.

Más aún, si se habla de eslabonamientos productivos, el mayor potencial a largo plazo está en los de tipo “*horizontal*” (es decir, aquellos que se basan en la posibilidad de que el conocimiento, los bienes de capital y los servicios asociados al sector de recursos naturales sean utilizados en otras actividades productivas). En otras palabras, es relevante resaltar

la importancia de adoptar una mirada que trascienda “*la era del litio*”. Con esto nos referimos a la necesidad de generar capacidades y competencias que sirvan de base para futuros avances hacia la diversificación productiva en los territorios ricos en litio y promuevan procesos de desarrollo sostenido que vayan más allá de los ciclos de éste u otros recursos naturales.

En este escenario, ¿cuáles son los principales desafíos que se presentan a la hora de aprovechar las oportunidades para generar eslabonamientos productivos en torno al litio con potencial de generar impactos positivos sobre el nivel de desarrollo y la creación de capacidades locales? En primer lugar, es difícil ignorar la posibilidad de que la “*ventana*” del litio como insumo dominante en el nuevo mundo de la movilidad en base a electricidad y del almacenamiento energético sea relativamente corta (¿20 años?), ya que hay otras alternativas tecnológicas en fase de exploración que son superiores, al menos en términos teóricos. En segundo lugar, hay una gran cantidad de actores, tanto en el ámbito privado como en el académico que, en distintos países del mundo, están desarrollando nuevas tecnologías que apuntan a mejorar sustancialmente la eficiencia y a reducir drásticamente los costos y los tiempos requeridos actualmente para extraer y producir carbonato o hidróxido de litio, los principales insumos del material activo de los electrodos de baterías (de paso, vale señalar que la difusión eventual de estas tecnologías motivaría probablemente una fuerte caída del precio del litio). La combinación de estos factores sugiere que hay que moverse con rapidez en la promoción de las iniciativas de eslabonamientos “*aguas arriba*” si no se quiere llegar tarde en esta carrera tecnológica.

Se suma a la enumeración de desafíos el hecho de que la Argentina está transitando un proceso de consolidación fiscal, que limita las posibilidades de contar con recursos públicos para financiar proyectos de I+D, la compra de equipamiento o programas de compras públicas para la innovación. En relación al sistema de innovación, debe señalarse que, si bien existen significativas capacidades tecnológicas en los actores que trabajan sobre el litio, no hay una “*masa crítica*” que permita expandir demasiado la cantidad y variedad de los proyectos de I+D a llevar adelante manteniendo su capacidad de lograr avances significativos. La falta de capacidades locales se hace mucho más evidente cuando hablamos de las dimensiones de producción, gestión y comercialización, así como en lo que hace al acceso y capacidad de análisis y procesamiento de la información relativa a las alternativas tecnológicas y los pronósticos del mercado global del

litio y derivados. Este déficit aumenta a medida que se avanza hacia productos con mayor nivel de diferenciación y sofisticación tecnológica.

El sistema de gobernanza del recurso en la Argentina presenta desafíos particulares. El hecho de que el dominio de los recursos minerales esté en manos de las provincias genera dificultades de coordinación en el área de las políticas públicas e incluso también en las eventuales negociaciones con empresas privadas interesadas en producir litio (por ejemplo, si hay diferencias en las políticas provinciales las empresas pueden preferir operar en el distrito con menores exigencias, llevando eventualmente a una competencia “*hacia abajo*” en las regulaciones).

Los problemas de coordinación involucran también a los agentes privados. Como demuestran las experiencias de otros países en desarrollo que han intentado promover encadenamientos en base a la minería (Chile con el cobre, por ejemplo), no es fácil alinear incentivos y articular acciones entre los distintos actores de las cadenas de valor. Las empresas productoras son, por lo general, transnacionales y tienen escaso interés e incentivos para la cooperación local más allá de la responsabilidad social corporativa, así como una fuerte renuencia a “*abrir*” sus procesos de innovación y sus estrategias productivas a la colaboración con agentes externos salvo que se trate de socios globales. En tanto, los potenciales proveedores locales, en particular en un sector emergente como el del litio, generalmente tienen deficiencias serias en su gestión productiva y carecen de capacidades tecnológicas avanzadas. Sin embargo, como muestra, por ejemplo, el caso noruego, es posible concebir mecanismos que favorezcan la cooperación entre las empresas transnacionales y los organismos y actores nacionales del sistema de CYT.

En este contexto, considerando la elevada dispersión de las iniciativas existentes y la falta de una estrategia consistente y coordinada de largo plazo, cabe aquí destacar que es imprescindible fijar prioridades de acción y articular visiones, objetivos y estrategias entre los distintos agentes de la cadena de valor del litio en el país. En efecto, hay una serie de proyectos y alternativas de política que ya han sido planteadas por distintos actores y que deberían discutirse en ámbitos que integren a representantes del sector público (en sus distintos niveles y competencias), privado y académico, incluyendo además la visión de las comunidades de pueblos originarios presentes en los territorios donde se encuentran los

salares, lo cual ayudará a reforzar el respaldo político y social de las medidas adoptadas.

Aunque la mayor parte de las iniciativas que se comentan más abajo corresponde a la provincia de Jujuy, por ser la que se ha destacado en avanzar en dirección a promover eslabonamientos productivos y tecnológicos en torno al litio, las reflexiones presentadas son de relevancia para otros distritos que pretendan seguir caminos similares.

En el caso de las iniciativas “*aguas arriba*”, el desarrollo de nuevas técnicas de extracción y procesamiento de litio constituye un campo altamente intensivo en conocimiento, sumamente competitivo y con posibilidades de conseguir un alto impacto en el mercado internacional además de generar capacidades que pueden tener aplicación en otros ámbitos. En este caso, en conjunto con el desarrollo tecnológico, que tiene una elevada demanda de financiamiento en términos de inversiones (en especial, aquellas que son carácter disruptivo), es necesario delinear con mayor claridad el modelo de negocios asociado a las respectivas innovaciones. Ya hay varios proyectos en marcha en el país en esta área y, en el contexto de relativa escasez de recursos monetarios y humanos antes planteado, parece deseable priorizar algunos de ellos en función de parámetros tales como sus posibilidades de éxito tecnológico, necesidad de inversiones, potenciales impactos sobre el ecosistema tecno productivo, existencia de un mercado potencial, etc.

Adicionalmente, es necesario asegurar una explotación integral y sustentable de los salares, tema que hasta ahora ha ocupado un lugar marginal en la agenda de discusión. Para alcanzar este objetivo se requiere mejorar el conocimiento sobre los salares (en particular, su génesis, dinámica hidrológica e inventariado) y desarrollar soluciones específicas. Asimismo, en paralelo con el trabajo en el ámbito tecnológico, resulta imprescindible cambiar el conjunto de incentivos que enfrentan las empresas, incluyendo mecanismos que estimulen una mayor cooperación con el sector científico-tecnológico, así como una mayor capacidad para monitorear y asegurar la aplicación de las regulaciones ambientales por parte de las autoridades competentes.

Finalmente, siempre en la etapa “*aguas arriba*”, hay oportunidades para promover el desarrollo de proveedores locales eficientes, tanto en tareas

tecnológicamente complejas, como en otras de carácter más rutinario pero que son importantes para el entorno socioeconómico donde se ubican los salares. Aunque algunas instituciones, como el INTI, ya están trabajando en esta materia, es necesario profundizar la articulación público-privada en este ámbito a través de mecanismos que combinen incentivos para que las empresas mineras tercericen actividades localmente y programas de capacitación para que las empresas locales puedan integrarse en la cadena de valor de las empresas mineras.

Respecto de las iniciativas “*aguas abajo*”, hay dos grandes grupos de proyectos. Por un lado, los que pretenden producir derivados de litio cercanos a la fase de extracción y procesamiento inicial del recurso (hidróxido de litio, litio metálico y la separación isotópica de litio 6 y litio 7). Todos ellos se orientan a resolver problemas tecnológicos complejos, en particular en lo que se refiere al desarrollo de nuevos procesos. Sin embargo, a diferencia del proyecto batería, implicarían innovaciones domésticas, antes que la importación de tecnología con fines productivos. La factibilidad y potencial impacto de estos proyectos deben ser analizados caso por caso.

Por otro lado, nos encontramos con los proyectos en torno a las baterías y sus componentes. En el terreno de las actividades de investigación y desarrollo, es indudable que la red desarrollada en torno al eje INIFTA-FAMAF representa una fuente importante de creación de capacidades y de transferencia tecnológica para potenciales actores privados interesados en avanzar en la fase productiva. El eslabón débil se encuentra en el desarrollo de modelos de negocios que resulten atractivos para estos actores.

Por su parte, se encuentra también en este terreno el proyecto de producción de baterías a través del acuerdo entre JEMSE y el Grupo SERI. De acuerdo al análisis aquí realizado este proyecto enfrenta una serie de desafíos que ameritan un examen cuidadoso.

En primer lugar, el mercado de baterías está muy concentrado en un puñado de países asiáticos que producen con altas escalas y bajos costos, algo que es particularmente agudo en el caso de una tecnología ya madura como la LFP (la elegida para el proyecto). En este escenario, es esperable que dada la poca experiencia del grupo SERI en la fabricación de baterías el costo promedio de las baterías producidas esté bastante por encima del de mercado sin que se pueda esperar que,

en el actual contexto de restricción presupuestaria, el Estado nacional o provincial puedan cubrir esta brecha con subsidios. En segundo lugar, existe una fuerte asimetría entre JEMSE y SERI en materia de capacidades tecnológicas, de gestión y comerciales (e incluso para monitorear el devenir del negocio conjunto, que aspira a ser global según las negociaciones llevadas adelante hasta ahora). En particular, si bien según la carta de intención publicada por el Grupo SERI, será JEMSE la encargada de buscar los mercados para las baterías producidas (algo que contrasta, por ejemplo, con los acuerdos entre el gobierno boliviano y socios alemanes para un proyecto de producción de baterías en dicho país, donde son estos últimos los responsables de buscar los compradores), la empresa jujeña carece por el momento de la capacidad profesional para realizar esta tarea, aun dentro del muy incipiente mercado sudamericano. En tanto, como se dijo, es implausible esperar que el sector público, en el actual contexto local, “*genere*” la demanda de estos productos mediante esquemas de compras subsidiadas.

En cuanto a la dimensión productivo-tecnológica del proyecto batería, las posibilidades de generar derrames y capacidades en el medio local a partir de un emprendimiento de naturaleza exclusivamente ensambladora son muy limitadas (la generación de empleo, en pequeña escala por otro lado, al menos en la fase inicial del proyecto, sería la contribución más visible). En este sentido, no están claras las actividades de transferencia de tecnología desde SERI a los socios locales, ni tampoco las posibilidades reales de articulación con otros actores que tienen capacidades para desarrollar actividades de innovación en torno a este proyecto (por ejemplo, Y-TEC, INIFTA, FAMAFA o el CIDMEJU).

Aunque no necesariamente estén involucrados en actividades de producción y comercialización, es posible que sean más importantes las capacidades generadas por los grupos que están desarrollando proyectos de investigación vinculados a tecnologías de frontera, las cuales ofrecerían un desempeño teórico superior al de las baterías comercializadas en la actualidad. Por ejemplo, este sería el caso de las baterías de litio-azufre, donde los equipos de INIFTA y FAMAFA llevan adelante proyectos de investigación en colaboración con universidades del exterior.

Más en general, y de nuevo poniendo el foco en la generación de capacidades, resulta fundamental promover una mejora sustantiva en el sistema de innovación nacional y regional asociado al litio, a

fin de dotarlo de recursos adecuados, de incentivos eficaces para los investigadores, de una agenda que sea el resultado de un proceso de coordinación entre los actores y de mecanismos fluidos de cooperación e intercambio de conocimiento con el sector privado. El CIDMEJU, por el apoyo político que ha recibido, en particular de la provincia de Jujuy, de la UNJU y del MINCYT, podría ser el eje de este sistema de innovación. Sin embargo, para desempeñar ese papel deben abordarse algunos temas pendientes tales como su institucionalidad provisoria, el reducido presupuesto operativo, las dificultades para lograr la radicación de investigadores, la agenda de trabajo dispersa y las carencias en materia de personal de apoyo. Asimismo, es crucial involucrar a los actores privados en la definición e implementación de proyectos a fin de que las actividades de I+D sean una herramienta para la construcción de eslabonamientos profundos, con preferencia para la localización de procesos en el territorio local. En la misma línea, los recursos públicos escasos para actividades de investigación podrían complementarse con fondos privados si se definieran proyectos tecnológicos factibles y de posible interés comercial.

Finalmente, más allá de las orientaciones y sistemas de gobernanza adoptados en cada caso, las experiencias de los países vecinos constituyen referencias valiosas para la construcción de una agenda local. En particular, el caso de la Comisión del Litio en Chile se presenta como el de un proceso informado que ha convocado a una gran diversidad de actores y que se ha plasmado en iniciativas que involucran al sector privado. En esta línea, también sería interesante evaluar la posibilidad de que, en el caso de Jujuy, donde el Estado provincial dispone de una cuota de prioridad de venta sobre la producción de litio, se adopte un esquema similar al aplicado en Chile, donde se “*licita*” esa cuota a fin de que los privados propongan proyectos de industrialización que tomen provecho de la misma.

Estas son apenas algunas opciones que emergen del análisis realizado en este informe. Sin embargo, las líneas concretas de acción, como se mencionó antes, deberían emerger de un ejercicio colectivo de articulación en donde las distintas partes compartan visiones e información y puedan arribar a un diagnóstico consensuado respecto de cómo aprovechar la oportunidad que brinda el litio para apoyar la transformación productiva de las provincias en donde existe el recurso, y para generar las condiciones para que el país alcance una posición relevante en el escenario tecnológico global en la cadena de valor del litio.

Cámara Argentina de la construcción

VACA MUERTA Y MINERÍA

AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO

AUTOR Jorge Nuñez
Daniel Martínez

DISEÑO Hey, Baires!