CHILE Y EL LITIO

Heinrich R. Obermöller, PhD*
Ximena S. Salas**

INTRODUCCION

Periódico, después del hidrógeno y el helio, y el primero del grupo de los metales alcalinos, es el más liviano de todos los elementos sólidos, con una densidad de 0,534 (g/cm3), es blando y de color blanco plateado. Se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, y aunque se presenta en alrededor de 145 especies mineralógicas, en salmueras de distintos orígenes y en el agua de mar, existe principalmente en minerales pegmatíticos, en arcillas sedimentarias y en salmueras (ref. 1).

Gracias a sus propiedades físicas y químicas de carácter único, ha desarrollado un mercado diversificado que ha crecido en forma significativa en los últimos años. En el período 1970-1990 la tasa acumulativa anual de crecimiento del mercado del litio fue del orden de un 4 por ciento. Sin embargo, el tamaño de éste es todavía relativamente pequeño. La demanda estimada de todos los productos de litio (concentrados de minerales y productos químicos) en el mundo occidental alcanzó en 1992 a 86 millones de libras de Carbonato de Litio Equivalente (LCE), que representa un valor de 250 millones de dólares, aproximadamente (ref. 2).

El interés por el litio en nuestro país comenzó al conocerse su presencia en altas concentraciones en las salmueras del salar de Atacama, como resultado de los trabajos de exploración de agua industrial realizados por la empresa Anaconda en dicha área, a mediados de los años sesenta. Lo anterior llegó a conocimiento de Foote Mineral Company, que a mediados de 1974, convertido ya en uno de los dos mayores productores de litio del mundo, estableció contacto

con la Corporación de Fomento a la Producción (CORFO), empresa con la cual suscribió un contrato el año 1975 para realizar trabajos de exploración e investigación en el salar de Atacama.

El año 1980 se formó la Sociedad Chilena de Litio (Sociedad), con la participación de Foote Mineral Company (55 por ciento) y de la CORFO (45 por ciento), cuyo objetivo sería la explotación, producción y venta de litio o productos de litio en cualquiera de sus formas. Entre 1988 y 1989, la CORFO vendió su participación del 45 por ciento a Foote Mineral Company, empresa norteamericana que había sido adquirida por Cyprus Minerals Company en 1988, pasando esta última a ser la actual propietaria de la totalidad de la Sociedad (ref. 3).

Los estudios realizados en el salar de Atacama confirman que Chile posee las segundas reservas mundiales de litio, que alcanzan a los 4,3 millones de toneladas, representando más del 40 por ciento de las reservas de interés económico actualmente identificadas a nivel mundial.

En la actualidad, Chile exporta su recurso, principalmente, como carbonato de litio, que es uno de los productos de litio de menor precio de cuantos se transan en los mercados internacionales.

En efecto, como se desprende de un análisis simple de la tabla 1, la diferencia entre el valor comercial del carbonato de litio y otros materiales con mayor incorporación de tecnología es de entre un 78 por ciento y un 2.800 por ciento. Así las cosas, pareciera deseable identificar oportunidades que nos permitan incorporarnos a fases intermedias de las cadenas productivas para poder comercializar nuestro producto con un mayor valor agregado.

Revista de Marina № 2/94 169

^{*} El C.C. Heinrich R. Obermöller se desempeña en la actualidad como Jefe del Programa de la Comisión Chilena de Energía Nuclear, C.CH.E.N.

^{**} La Srta. Ximena Salas es memorista de Ingeniería Civil Industrial de la U. de Chile y se encuentra desarrollando, patrocinada por la C.CH.E.N., su tesis de grado en el "Estudio del Mercado Mundial del Litio".

TABLA 1
Precios de productos químicos de litio en EE.UU. (1993)

PRODUCTO	US\$ Kg
Hipoclorito	3,42
Carbonato	4,32
Hidróxido, monohidratado	5,53
Cloruro anhidro	10,30
Bromuro en solución	12,06
Fluoruro	15,15
Bromuro anhidro	15,32
n-butil-litio (solución al 15% en hexano, base 100%, lotes de 453,6 Kg. mínimo)	42,64
Hidruro (4.536 Kg. mínimo)	64,27
Litio metálico (lingotes de 2 lb., 99,8%, lotes de 453,6 Kg. mínimo)	71,5-82,7
Litio metal en escamas, grado batería	110,2-132,3

Fuente: Chemical Marketing Reporter

MERCADO MUNDIAL DEL LITIO (Ref. 2, 4, 5).

Producción de litio

Actualmente existen cinco principales productores "básicos" de compuestos químicos de litio en el mundo, denominándose como tales a aquellos que poseen yacimientos propios y obtienen carbonato de litio, ya sea a partir de salmueras o de minerales de litio. Dos de ellos se encuentran en Estados Unidos y son las empresas Food and Machinery Corporation (FMC) (Lithium Division) y Cyprus Foote Mineral Company, las que poseen alrededor del 36 por ciento de la capacidad mundial de producción (4.170 toneladas de litio metálico), siendo líderes a nivel mundial en la producción y venta de productos químicos de litio, repartiéndose prácticamente en partes iguales el mercado actual.

El tercer productor básico se halla en Chile y es la Sociedad Chilena de Litio Ltda., empresa que formaron originalmente la CORFO y la Foote Mineral Company, como ya se dijo. Su capacidad de producción en 1992, del orden de las 2.200 toneladas de litio metálico, cubría un 19 por ciento de la producción mundial.

Los otros productores principales son los Gobiernos de Rusia y de la República Popular China, Australia, Canadá, Zimbabwe y Brasil, con una capacidad de producción conjunta, en 1992, de unas 5.200 toneladas de litio metálico.

En resumen, la oferta total en el mercado del litio, lo que se refleja en la actual capacidad instalada mundial de producción de compuestos químicos de litio (incluido el metal) y los concentrados de uso directo existentes actualmente en el mundo, ya sea a partir de minerales o salmueras, es del orden de las 11.600 toneladas de litio metálico.

De esta cifra un 83 por ciento corresponde a productos químicos de litio, es decir, 9.600 (ton/año) de litio metálico, cantidad que está todavía por encima de la demanda actual de este tipo de productos, algo más de 6.200 (ton/año) de litio metálico en todo el mundo, más aún si se considera que se mantendrá durante esta década la tasa anual de crecimiento de 2-3 por ciento, que ha sido la tónica en los últimos diez años.

Demanda mundial de litio

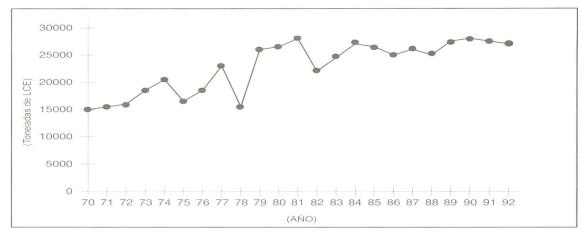
En la figura 1 se muestra la evolución que ha tenido el consumo de productos químicos de litio (incluido el metal) en el mundo occidental, desde 1970 a 1992, según datos estimados por Cyprus Foote Mineral Company. También se pueden observar claramente los efectos de la

crisis energética de 1974 y el impacto de la contracción económica sufrida durante los años 1982 y 1983, después de lo cual no ha habido un aumento muy significativo del mercado. En relación a 1981, el volumen de ventas en 1982 cayó en un 21 por ciento, bajando a 21.900 toneladas de LCE.

Esta abrupta caída en la demanda aún afectaba la tasa de crecimiento del mercado en 1985, en parte debido a la recesión de 1974, seguida por una caída neta en el volumen de mercado

durante 1984. Esto se debe principalmente a que los concentrados de minerales de litio (espodumeno y petalita), en razón a su aporte de aluminosilicatos y a un precio de venta más bajo en términos de carbonato de litio equivalente (el cual contiene un 18 por ciento de litio metálico), han substituido en cantidades significativas al carbonato de litio en algunas aplicaciones de las industrias del vidrio y cerámica, absorbiendo el crecimiento experimentado por dichos mercados.

Consumo historico de productos químicos de litio

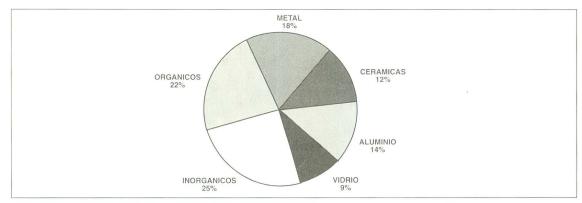


Si consideramos que la demanda total de productos de litio (concentrados de minerales y productos químicos) en el mundo occidental fue en 1992 del orden de las 7.300 toneladas de litio metálico, representando un valor aproximado de 250 millones de dólares, de esta cifra un 35 por ciento está constituido por los concentrados y el carbonato de litio vendidos a las industrias del

aluminio primario, cerámica y vidrio.

El 65 por ciento de las ventas en términos de dólares corresponde a los productos de mayor valor agregado obtenidos a partir del carbonato de litio (38 por ciento de productos inorgánicos, 34 por ciento orgánicos y 28 por ciento metal y derivados).

Ingresos por ventas de litio en el mundo occidental (1992)



Valor estimado: USS 250 millones Fuente: FMC Lithium División Estados Unidos, además de ser el principal productor de litio, es el mayor consumidor del mundo de compuestos de litio, con alrededor de un 40 por ciento de la demanda global.

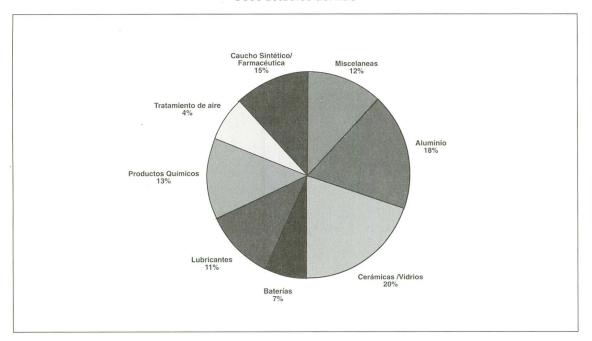
Productos comerciales de litio

El litio se comercializa y utiliza como concentrado de mineral, metal y compuestos químicos, orgánicos e inorgánicos. El mayor consumo es en la forma de productos químicos inorgánicos, especialmente como carbonato de litio, que satisface aproximadamente un 60 por ciento de la demanda total y además sirve de

material de partida para obtener más de 80 derivados químicos de litio usados comercialmente.

El carbonato y el hidróxido de litio, que le siguen en orden de importancia, abarcan un poco menos del 25 por ciento del mercado; son considerados "commodities", es decir, productos de transacción comercial. Entre los productos especializados de litio que satisfacen el resto del mercado destacan, entre otros, el cloruro de litio, bromuro de litio, butil-litio, hidruro de litio, hipoclorito de litio y litio metálico.

Usos actuales del litio



PRESENCIA DE CHILE EN LOS MERCA-DOS DEL MUNDO

Principales fuentes de litio (ref. 3,4,6)

a. Minerales de litio

Los minerales de pegmatita se conocen como la fuente tradicional en las que se encuentran los minerales, a partir de los cuales comúnmente se extrae litio (espodumeno, petalita, lepidolita); se conoce como la más antigua y por mucho tiempo ha sido considerada como las únicas reservas evidentes. El mineral de pegmatita es una roca ígnea de granulación grue-

sa, compuesta principalmente de cuarzo, feldespato y mica.

Las mayores reservas de pegmatita se encuentran en Estados Unidos, Australia, Canadá, Zaire, Zimbabwe, China y Unión Soviética.

b. Salmueras

Otra fuente de explotación del litio comercializado en el mundo y que pasó a ser una de las más significativas desde los años sesenta, son las salmueras, por producir productos químicos de litio a costos más bajos, comparados con el procesamiento de los minerales de pegmatita.

Las mayores reservas de litio en salmueras

	Tabla 2	
Minerales de liti	o de importancia	comerciall

D. 4.	Farmenta Onfraia	Contenido del litio %		
Mineral	Formula Química	Teor. Máx.	Real	
Ambligonita	LiA1 (P04) (F, OH)	4,76	3,5-4,2	
Lepidolita	K2Li3A13 (AlSi3O10) 2(F,OH)4	3,60	1,4-1,9	
Petalita	Li20 • A1203 • 8Si02	2,28	1,4-2,2	
Espodumeno	Li20 • Al203 • 4Si02	3,73	1,4-3,6	
Eucriptita	Li20 • Al203 • 2Si02	5,55	3,2-3,3	

Fuente: US Bureau of Mines Minerals Facts and Problems (1985), publicado enRoskill "The Economics of Lithium", 1087.

se encuentran en Silver Peak (Estados Unidos), salar de Uyuni (Bolivia) y en el salar de Atacama (Chile), con lo cual nuestro país toma una posición protagónica entre los productores de litio, a través de la Sociedad Chilena de Litio Ltda.

En la Tabla 3 se compara la composición típica de salmueras de interés económico presentes en lagos salinos y salares de mayor importancia (se debe agregar que además existen otras salmueras con interesantes contenidos de litio

en algunos pozos petrolíferos y en campos geotermales).

Reservas mundiales de litio (ref. 4)

En julio de 1985, Keith Evans de Amax presentó una nueva evaluación de las reservas y recursos de litio, a las ya estimadas en 1977, en la Tercera Conferencia Internacional sobre aleaciones de litio-aluminio, celebrada en París. Las reservas y recursos de litio estimadas hasta esa

Tabla 3
Composición química de salmueras
porcentaje en peso

Elemento	Mar Muerto	Grat Salt Lake (Utah)	Silver Peak (Nevada)	Salar de Atacama	Salar de Uyuni
Na	3,210	8,000	6,200	7,600	8,800
K	0,600	0,650	0,530	1,850	0,720
Mg	3,330	1,000	0,033	0,960	0,650
Li	0,002	0,004	0,023	0,150	0,035
Ca	1,180	0,016	0,020	0,030	0,046
SO4	0,070	2,000	0,710	1,650	0,850
CI	17,320	14,000	10,060	16,000	15,700
В	0,003	0,006	0,008	0,060	0,020
Li/Mg	1/2200	1/250	1/1,5	1/6,4	1/19

Revista de Marina № 2/94 173

oportunidad se resumen en la tabla 4.

De esta información podemos ver que el total de reservas y recursos de litio mundiales, estimadas al año 1986, es del orden de los 36,7 millones de toneladas de litio metálico, de las cuales Chile posee casi un 12 por ciento.

Otro dato de interés es que las salmueras contenidas en el salar de Atacama son conside-

radas actualmente los mayores y más activos recursos de litio existentes en el mundo, siendo sus reservas del orden de las 4,5 millones de toneladas de litio metálico, las que incluyen tanto las reservas probadas por exploración sistemática como las inferidas a partir de evidencia tecnológica.

Si consideramos sólo las reservas mundia-

Tabla 4
Estimación actualizada de reservas y recursos de litio (Evans, 1885) (en toneladas de litio metálico)

PAIS	PEGMATITAS	SALMUERAS	TOTAL	FRACCION %
Estados Unidos Canadá Zimbabwe Zaire Namibia Australia Brasil Argentina Chile Bolivia	18.257.000 668.000 113.000 2.340.000 11.000 1.141.000 18.000 1.000	4.409.000* 4.290.000 5.500.000	22.666.000 668.000 113.000 2.340.000 11.000 1.141.000 1.000 4.290.000 5.500.000	61,68 1,82 0,31 6,37 0,03 3,10 0,05 0,001 11,67 14,97
Total	22.549.000	14.199.000	36.748.000	100,00

^{*} La estimación incluye las reservas de stock del Gobierno de Estados Unidos, que alcanzan a 7.000 toneladas, y las salmueras geotermales, que alcanzan a 4.000.000 de toneladas.

les de litio en los salares, las que alcanzan a 10,2 millones de toneladas de litio metálico, según la tabla 4, Chile posee un 42 por ciento de estas fuentes, como se aprecia en la tabla 5.

De ella se desprende que las reservas estimadas de litio en los salares citados ubican a Chile en el segundo lugar después de Bolivia, considerando el tamaño de las reservas. Pero el salar de Uyuni presenta varias desventajas comparado con el salar de Atacama, pues además de tener una menor concentración de litio en sus salmueras, la mayor razón de magnesio/litio en ellas aumenta su costo de procesamiento.

Además, menores tasas de evaporación en el salar boliviano, al encontrarse éste a una altitud

de 3.653 metros sobre el nivel del mar, junto con una más alta precipitación pluviométrica, hacen necesario un sistema de pozas solares de mayor tamaño, para una misma producción comercial de sales. Otros factores negativos en el salar de Uyuni son los siguientes:

- mayor distancia a puertos de embarque
- condiciones de acceso más difíciles
- mayores costos de operación
- muy difícil (casi imposible) de explotar durante los meses de invierno.

Todo esto convierte a Chile en la fuente de litio económicamente más atractiva conocida en el mundo.

Tabla 5 Reservas y Recursos en salares (toneladas de litio metálico)

PAIS	TOTAL	%
Estados Unidos	402.000	3,94
Silver Peak (Nevada)	118.000	
Searles Lake (California)	24.000	
Great Salt Lake (Utah)	260.000	
Chile (Salar de Atacama)	4.290.000	42,10
Bolivia (Salar de Uyuni)	5.500.000	53,96
Total	10.192.000	100,00

Producción de litio en Chile

a. Sociedad Chilena de Litio Ltda.

Esta sociedad obtiene carbonato de litio a partir de las salmueras contenidas en el salar de Atacama, siendo actualmente el productor con los costos más bajos del mundo, alrededor de los 1,10 US\$/kg.

Las instalaciones de esta empresa —pozas de concentración de las salmueras en el salar, estación de transferencia camión/ferrocarril en Pan de Azúcar y planta química en Antofagasta—permiten producir 11.800 ton./año desde comienzos de 1991, ofreciendo un producto que satisface todas las exigencias de calidad.

En 1992 la producción de carbonato de litio de la Sociedad alcanzó a 10.800 toneladas; sin embargo, las ventas fueron ligeramente menores (10.000 toneladas), con lo cual la oferta de la planta chilena representó aproximadamente un 33 por ciento de la demanda mundial estimada de productos químicos de litio durante ese año,

considerando que la demanda por productos químicos de litio en 1992 fue de alrededor del 85 por ciento de la demanda total estimada (7.300 toneladas de litio metálico).

Las ventas de la producción de la Sociedad, cuyo producto tiene como mínimo un 99,2 por ciento de carbonato de litio, siendo las impurezas cloro, sodio y magnesio, se destinan principalmente a los mercados de exportación en Estados Unidos, Alemania, Japón, Venezuela, Corea del Sur, Holanda, Canadá, Brasil y Argentina. Los tres primeros países absorben el 80 por ciento de las exportaciones nacionales de carbonato de litio (ref. 7).

En 1991, Alemania desplazó a Japón del segundo lugar ya que su principal comprador, la firma Chemetall Gmbh, se ha interesado particularmente por el nuevo producto con baja cantidad de boro, obtenido a partir de esa fecha. El precio de venta promedio FOB Antofagasta en 1992 fue de 3,0 US\$/kg., aproximadamente.

Tabla 6 Comparación costos de producción de litio (1992)

PRODUCTOR	COSTO PRODUCCION (US\$/Kg)
 FMC Lithium Division Bessemer City, Carolina del Norte, EE.UU. 	2,43
- Cyprus Foote Mineral Company Silver Peak, Nevada, EE.UU.	1,65
- Sociedad Chilena de Litio Ltda. Salar de Atacama/Antofagasta, Chile	1,10

Revista de Marina Nº 2/94 175

b. Proyecto Sales Potásicas y Acido Bórico

Un aumento previsto en la oferta de litio, por parte de Chile, es el contemplado en la coproducción de sales de litio asociada al Proyecto Sales Potásicas y Acido Bórico de MINSAL Ltda., empresa conformada inicialmente por AMAX Inc. de Estados Unidos (63,75 por ciento), CORFO (25 por ciento) y MOLYMET S.A., (11,25 por ciento).

Desde 1986 hasta 1989, MINSAL completó la evaluación de las reservas de elementos minerales existentes en las salmueras y definió el proceso de producción y tamaño del proyecto, dando término en mayo de 1989 al estudio de factibilidad, en el que se definieron las siguientes capacidades de producción:

Tabla 7 Capacidades de producción proyecto MINSAL

COMPUESTO	CAPACIDAD
Cloruro de potasio (KCI)	500.000 (ton/año)
Sulfato de potasio (K2 SO4)	230.000 (ton/año)
Acido bórico (H3 BO3)	18.000 (ton/año)
Carbonato de Litio (Li2 CO3)*	15.000 (ton/año)
Hidróxido de litio (LiOH•H2 O)	2.270 (ton/año)

^{* 2.000} ton/año serán destinadas a la producción de hidróxido de litio

Un informe del Centro de Estudios del Cobre (CESCO), señala que Chile lograría el liderazgo de la producción mundial de litio cuando entre en funciones el proyecto MINSAL, el que se ha planteado una cifra anual de 15 mil toneladas de LCE (equivalente a unas 2.800 toneladas de litio metálico).

USOS Y APLICACIONES FUTURAS

Se vislumbra para el futuro próximo la introducción, además de las aleaciones de litio-aluminio, de dos tecnologías que provocarán un aumento substancial en el consumo de litio. Una de ellas, en el futuro cercano, diez a veinte años, será la aplicación en baterías eléctricas y la otra, en el más largo plazo, treinta a cincuenta años, en los reactores de fusión nuclear. A continuación se describen estas tres aplicaciones, pero con énfasis en las baterías de litio, por ser esta el área de mayor interés para la ingeniería naval en el futuro inmediato.

Aleaciones de litio-aluminio

El desarrollo de aleaciones de Li-Al de tecnología avanzada comenzó en la década de los años 80 con la participación de productores de aluminio, la industria aeronáutica e institutos militares de investigación, para su uso en la fabricación de partes componentes de aviones comerciales y militares. La adición de 1,5 por ciento a 3 por ciento de litio a las aleaciones convencionales de aluminio permite obtener materiales un diez por ciento más livianos, sin considerar que el ahorro de combustible puede alcanzar hasta un 20 por ciento de la capacidad de carga del avión.

En 1985 la producción de aleaciones de Li-Al para fines de desarrollo, con la participación de importantes productores de aluminio (Alcoa, Kaiser y Reynolds en EE.UU.; British Alcan y Pechiney en Europa) lograron importantes progresos en el desarrollo de técnicas de moldeo. Sin embargo, debido al alto costo, el problema de reciclar las grandes cantidades de chatarra generadas, y a la competencia de otros materiales, la demanda por las aleaciones de litio-aluminio fue muy reducida.

El consumo actual de litio metal en la fabricación de aleaciones de litio-aluminio, destinadas principalmente para pruebas, es del orden de 45 ton/año, lo que equivale a 500.000 libras/año de carbonato de litio, aproximadamente. Se cree que transcurrirán, por lo menos, cinco años para que estas aleaciones especiales sean usadas en la industria aeroespacial en cantidades comerciales.

Los materiales que competirán con tales aleaciones en la fabricación de fuselajes de aviones, serán aquellos que se obtengan como productos de mejoramientos en las aleaciones y compuestos de aluminio tradicionales. De esta forma, en el largo plazo, el desarrollo de nuevos materiales jugará un papel muy importante. Entre ellos, es posible incluir las aleaciones superplástico-aluminio, aleaciones basadas en metalurgia de polvos, hojas de aluminio híbrido, materiales de segunda generación compuestos de litio y las aleaciones de titanio (ref. 4).

Energía nuclear

El litio ha sido considerado como un material fundamental para el desarrollo de futuros reactores de fusión nuclear.

La producción de energía atómica parece inclinarse hacia los reactores de fusión, los cuales usarían, principalmente, deuterio y tritio como combustibles; éste último, que es escaso en la naturaleza, se obtendría irradiando litio con neutrones. El litio actuaría como reproductor de tritio, permitiendo además su empleo como un excelente refrigerante y medio de transporte calorífico, debido a su alta capacidad calórica, baja viscosidad, alta conductividad térmica y baja presión de vapor.

Para su utilización, en estado líquido, existen algunas desventajas ya que en ese estado y con temperaturas elevadas es un material altamente corrosivo que, en determinadas condiciones puede reaccionar violentamente en contacto con agua o aire; por esta razón, actualmente su uso está restringido en la medida que aún no se conozcan adecuadamente los mecanismos

de corrosión involucrados en la interacción litiomateriales estructurales.

Por lo mismo, la comunidad científica internacional está desarrollando cerámicos de litio como materiales de crianza de tritio. Por las características propias de los cerámicos, en estas condiciones el litio resulta extremadamente estable y se facilita enormemente su utilización en el reactor de fusión (ref. 8).

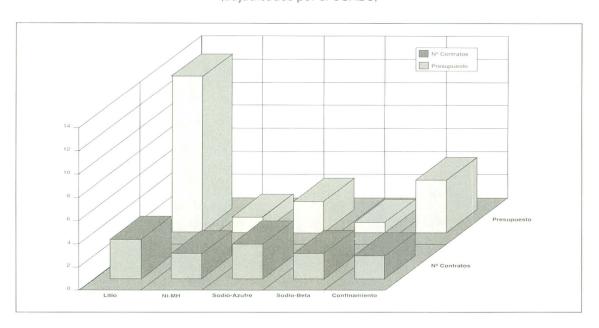
Baterías secundarias de litio

A diferencia de las pilas (baterías primarias) que en algún momento terminan por agotarse, las baterías secundarias son capaces de recargarse a partir de un suministro externo de electricidad.

En Estados Unidos la legislación de California contempla, a partir del año 1998, que el dos por ciento de los vehículos nuevos del estado deben tener cero emisión de gases contaminantes; además, once estados han dispuesto por ley que para fines de este siglo los vehículos de transporte urbano deberán ser eléctricos (ref. 9).

El desarrollo y la selección final del mejor sistema de baterías para vehículos eléctricos, combinado con la incertidumbre en el crecimiento de la demanda de vehículos eléctricos, hace que el desarrollo de estas baterías quede hoy día como una pregunta abierta. Sin embargo, el comportamiento del consorcio norteamericano United States Advanced Battery Consortium (USABC), formado por el

Contratos de investigación y desarrollo con laboratorios nacionales de Estados Unidos (adjudicados por el USABC)



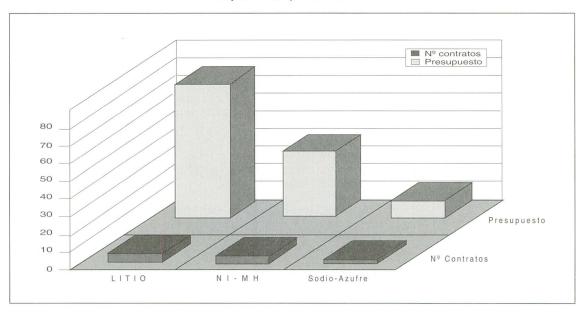
Revista de Marina № 2/94 177

Departamento de Energía (DOE) y las tres grandes compañías automotrices norteamericanas, Chrysler, Ford y General Motors, parece ser un buen indicativo de las tecnologías a las que la comunidad internacional está "apostando" (ref. 10).

En efecto, un análisis simple de los contratos de investigación adjudicados a la fecha a los laboratorios nacionales norteamericanos, revela que de ocho contratos adjudicados, tres son para el desarrollo de baterías de litio, dos para el desarrollo de baterías de sodio-azufre, uno para el desarrollo de otra batería basada en sodio, uno para el desarrollo de baterías de níquelhidruros metálicos y uno para el desarrollo de materiales para el confinamiento térmico de las baterías. Lo anterior implica que un 38 por ciento del total de contratos de I&D adjudicados a la fecha son para el desarrollo de baterías de litio, (en número de contratos adjudicados). Aún más relevante, el 68 por ciento del total de fondos adjudicados en dichos contratos son para el desarrollo de las baterías de litio.

La situación no varía si se observa el número de contratos adjudicados a las compañías que fabrican baterías. En este caso se han adjudicado seis contratos, de los cuales tres son para el desarrollo de baterías de litio, dos para la batería de níquel-hidruros metálicos y uno para la batería de sodio-azufre. Lo anterior representa un 50 por ciento en número de contratos adjudicados y casi un 60 por ciento en términos de presupuesto.

Contratos con empresas Fabricantes de baterías (adjudicados por el USABC)



Un análisis más informado de lo anterior permite concluir que el USABC está "apostando" a la batería de níquel-hidruros metálicos como la batería de mediano plazo y a la batería de litio como la batería de largo plazo. En efecto, la impresión de la comunidad científica internacional es que, durante los primeros años, por simplicidad tecnológica, los autos usarán otros sistemas de baterías, basadas en plomo ácido, sodio-azufre, níquel-hidruros metálicos y la batería zebra (compuesta por un ánodo de sodio fundido, cátodo de FeCL2 y Fe), por ejemplo; pero se prevé que, paulatinamente las baterías de litio

absorberán el mercado, cubriendo el 100 por ciento para el año 2020. La razón principal es su superioridad en términos de autonomía de los vehículos.

Las tablas 8 y 9 permiten comparar las metas de mediano y largo plazo fijadas por el USABC con las tecnologías de baterías existentes y en desarrollo. Nuevamente, en este caso se observa que las baterías de litio en desarrollo en el laboratorio nacional de Argonne, Estados Unidos, son las únicas que, por el momento, podrían alcanzar los exigentes criterios fijados por el consorcio de baterías norteamericano (ref. 11,12,13).

178 Revista de Marina Nº 2/94

Tabla 8 Algunos criterios principales fijados por el USABC (ref. 10).

CRITERIO PLAZO	POTENCIA ESPECIFICA (Deseada) [W/Kg]	ENERGIA ESPECIFICA (Deseada) [W/Kg]	DURACION (80% DOD) [Ciclos]	COSTO [USS/KWh]	RANGO OPERACION [°C]	TIEMPO RECARGA
MEDIANO	150 (200)	80(100)	600	<150	-30 a +65	<6
LARGO	400	200	1000	<100	-40 a =85	3 a 6

Tabla 9 Algunas Tecnologías disponibles y en desarrollo evaluadas recientemente (ref. 11, 12, 13).

BATERIA			POTENCIA ESPECIFICA	ENERGIA ESPECIFICA	DURACION
TECNOLOGIA	FABRICANTE	MODELO	[W/Kg]	[Wh/Kg]	[Ciclos]
Pb/Acido	Chloride	3ET205		29	
Pb/Acido	Sonnenschein	6V160		26	
Ni/Cd	SAFT of America	STM5200		49	
Ni/Fe	Eagle-Picher	NIF270		46	700
Ni/Fe	Eagle-Picher	NIF200	99	51	918
Ni/Zn	Electrochimica, U.S.A	R D Cell	105	67	114
Ni/Mh	Ovonic Battery Co	C-Cell	158	54	333 7
	**************************************	H-Cell	175	55	380 7
Na/S	Asea Brown Boveri	B-11	152	81	592 7
Na/S	Silent Power Ltd.	PB-MK3	90	79	795 7
Zn/Br	SEA Austria	ZBB-5/48	40	79	334 7
Li/FeS	SAFT of America	Prismatic	64	66	163
Li/FeS	Argonne Natnl. Lab.	Bipolar	240	130	
Li/FeS2	Argonne Natnl. Lab.	Bipolar	400	180	>500

⁶ DOD = Depth of Discharge = Profundidad de Descarga = La duración de la batería se mide en ciclos de carga-descarga, medidos en un cierto nivel de profundidad de descarga respecto de su capacidad nominal.

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Dada la abundancia del recurso litio en nuestro país y las ventajas relativas que existen para su explotación, el elemento litio representa una oportunidad para ejercer un fuerte impacto en la economía nacional.

En una época en que la incorporación de tecnología era de baja trascendencia, el salitre dio a Chile una era de esplendor y riquezas nunca antes vista. El cobre, de más reciente data en su masificación industrial, nunca fue capaz de satisfacer las expectativas en él cifradas (a pesar de su enorme importancia en la Hacienda Pública).

Hoy en día, en que la incorporación tecnológica es de una enorme (y creciente) relevancia, parece prudente que el país invierta recursos en la I&D de aplicaciones tecnológicas de este abundante recurso natural.

En este contexto, parece deseable identificar oportunidades que, mediante la adaptación de tecnologías existentes y el desarrollo de nuevas tecnologías en torno al litio, nos permitan crear una infraestructura científica y tecnológica que haga posible diversificar la producción nacional de compuestos de litio, generar productos de mayor valor agregado, desarrollar nuevas aplicaciones de litio para expandir la demanda de éste, etc.

En Chile se han realizado importantes esfuerzos en investigación y desarrollo en torno al recurso litio, con el objeto de transformar a nuestro país en productor de compuestos de litio altamente elaborados. Consciente de ello, la Comisión Chilena de Energía Nuclear ha creado el Programa Litio, con el fin de desarrollar tecnología para agregarle valor al recurso. Parte importante del esfuerzo de dicho programa es coordinar y agrupar los esfuerzos de investigación y desarrollo dispersos en las distintas universidades e institutos de investigación nacionales y tratar de fijar objetivos comunes de corto, mediano y largo plazos.

Adicionalmente, se ha buscado vinculación internacional para las líneas de investigación existentes; los primeros esfuerzos han dado sus frutos en la colaboración en materiales cerámicos de litio con Argonne National Laboratory, lo que

Revista de Marina № 2/94

⁷ Datos obtenidos a 100% DOD.

le abre a la Comisión y al país insospechadas oportunidades.

Este enfoque, sumado a una gestión tecnológica moderna con énfasis en la investigación aplicada y la transferencia de resultados al sector productivo, tanto nacional como internacional, son el camino adecuado para obtener financiamiento para este tipo de iniciativa y lograr llevar a Chile a la siguiente fase exportadora.

De las cifras e información entregadas en este artículo, pareciera ser que el área de materiales para baterías de litio es un área propicia para invertir los siempre escasos recursos de I&D nacionales.

Desde la perspectiva de la ingeniería naval, el desarrollo de baterías con una relación potencia/peso varias veces mayor que la de las baterías de plomo/ácido actualmente utilizadas en la propulsión de submarinos, tiene enormes implicancias. En efecto, una batería que entregue más potencia por unidad de peso y/o volumen, significa ganar espacio para más y mejores sistemas de armas, habitabilidad, etc. Alternativamente, ocupando el mismo volumen aumentaría notablemente la autonomía y/o la calidad de los servicios de a bordo, ya que habría más energía disponible.

Como toda iniciativa que recién parte, al comienzo se requiere invertir para poder ver los frutos del esfuerzo en etapas posteriores. De los antecedentes aportados en este resumido trabajo se desprende que estamos a tiempo de invertir hoy para poder participar mañana en estos mercados en gestación. De las autoridades institucionales y nacionales dependerá que no lleguemos tarde a este desafío tecnológico.

REFERENCIAS

- 1 El litio, un nuevo recurso para Chile, editor Dr. Gustavo Lagos, Santiago de Chile, 1986.
- 2 P. Pavlovic: La industria del litio en Chile, Santiago de Chile, informe actualizado, 1993.
- 3 Ibídem: Informe para la C.CH.E.N., Santiago de Chile, junio de 1992.
- 4 X. Salas: "Estudio de Mercado Mundial del Litio en el Contexto de las Capacidades y Recursos Nacionales"; Memoria de Título, Ingeniería Civil Industrial, U. de Chile, en preparación.
- 5 Roskill Information Services Ltd., The Economics of Lithium, sexta edición, 1990.
- 6 INTEC-CHILE: El litio, un nuevo recurso para Chile, editor Gustavo Lagos, Santiago de Chile, 1991.
- 7 Revista Química & Industria de la Sociedad Chilena de Química, julio, 1990.
- 8 "Producción de Isótopos de Li-6 y Li-7 Mediante Tecnología Laser y Consecuente Fabricación de Compuestos Ternarios de Litio", Proyecto presentado al Segundo Concurso Nacional de Proyectos FONDEF 1993.
- 9 "Desarrollo de Materiales de Litio para Uso en Baterías"; Proyecto presentado al Segundo Concurso Nacional de Proyectos FONDEF 1993.
- 10 J. Williams: "USABC Overview" A presentation, obtained through personal communication at Argonne National Laboratory (1993).
- 11 Tataria H.S., Barnett J.H.: "Evaluation of Near-Term Electric Vehicle Batteries Through In-Vehicle Testing", Extended Abstracts, Vol. 92-2, Fall Meeting, Electrochemical Society, 1992, pp. 8-9.
- 12 "The Great Battery Barrier", IEEE Spectrum, November (1992) pp. 97-101.
- 13 T.D. Kaun, P.A. Nelson, I. Redey, D.R. Vissers, G.L. Henriksen: "High Temperature Lithium/Sulfide Batteries"; Electrochimica Acta, Vol. 38, N° 9, 1992, pp. 1269-1287.
- 14 H.R. Obermöller, X.S. Salas: "Como Aprovechar Nuestro Litio", Mercado de Equipos y Maquinarias, Año 1; N° 11; Octubre (1993) pp. 26-28.
