



Mercado del renio y su producción en Chile

DEPP 14/2016

Resumen ejecutivo

El renio es uno de los metales más raros de la tierra. Tiene una alta dureza, elevados puntos de fusión y ebullición, muy buena resistencia al calor, es un buen conductor de electricidad, tiene alto coeficiente de elasticidad y alta resistencia a la fluencia. Sus principales usos son como aditivo para la elaboración de superaleaciones de níquel para la fabricación de motores en la industria aeronáutica (80% de la demanda aproximadamente), y para catálisis en refinerías de petróleo (10% de la demanda aproximadamente).

El renio tiene dos fuentes de obtención, la primaria, que proviene del proceso metalúrgico, y la secundaria, que proviene del reciclaje. La principal fuente de extracción primaria del renio es a partir del proceso de tostación de la molibdenita, que a su vez proviene de minas de cobre. El renio se comercializa como renio metálico y como perrenato de amonio, principalmente.

Las reservas mundiales de renio se encuentran principalmente en Chile, Estados Unidos, Rusia, Kazajistán y Armenia. El principal productor de renio primario del mundo es Chile (50% aprox.), seguido por Estados Unidos y Polonia (16% cada uno aprox.). Cabe destacar que la producción primaria no necesariamente se asocia a minas ubicadas en los países productores, sino que dependerá de la ubicación de la capacidad instalada para el tratamiento de la molibdenita. La producción anual de renio primario es del orden de los 50.000 kg, mientras que el reciclaje alcanza los 10.000 kg. El renio se transa en su mayoría en contratos de largo plazo (de 5 a 10 años) entre el productor y el comprador, con precios entre los 1.000 y los 5.000 \$US/Kg aproximadamente, aunque también existe un mercado regido por la oferta y demanda que define el precio spot del metal. Actualmente el precio spot del renio fluctúa entre los 2.500-3.000 US\$/Kg. El año 2008, el renio alcanzó su máximo precio cercano a los 12.000 US\$/Kg, impulsado por su consumo en la refinación de petróleo.

Actualmente, el único productor de renio en Chile es MolyMet. Su principal comprador es Estados Unidos, que ha comprado cerca del 90% del renio que ha producido desde el año 2000. MolyMet exportó cerca de 18.000 Kg de renio el año 2015. Codelco planea entrar al mercado del renio, a partir del año 2017, a través de su planta filial Molyb con una producción entre 6.000 y 7.000 Kg al año, utilizando parte de los recursos que antes eran procesados por MolyMet.



Abstract

Rhenium is one of the rarest metals in earth's crust. High hardness, high melting and boiling points, good heat resistance, great electricity conduction capacity, high elasticity, and high fluency resistance, are among the main characteristics of rhenium. It is used as an additive in nickel-based superalloys for aero engines manufacture (approximately 80% of demand), and in petroleum refineries catalysis (approximately 10% of demand).

Rhenium is obtained from two sources. Primary, from metallurgical process, and secondary from recycling. The main source of primary rhenium extraction is from molybdenite roasting process, which in turns comes from phorfiric copper deposits. Rhenium is commercialized as metallic rhenium as well as rhenium perrenate.

Biggest global rhenium reserves are located in Chile, USA, Russia, Kazakhstan and Armenia. World's leading rhenium producer is Chile (approx. 50%), followed by the USA and Poland (approx. 16% each). It is worth to note that primary production is not necessarily associated with mines in producer countries, but instead will depend on installed capacity location for treating molybdenite. Rhenium's annual primary production is about 50,000 Kg, while recycling reaches 10,000 Kg. It is mostly traded by long-term contracts (5 to 10 years) between producer and buyer, with prices ranging from 1,000 to 5,000 \$US/Kg approximately, but there is also a governed by supply and demand market that defines a spot price for this metal. Currently, the spot Price of rhenium reaches 2,500 to 3,000 \$US/kg. In 2008, rhenium price peaked close to 12,000 \$US/Kg, driven by consumption in petroleum refining.

Today, the only producer of rhenium in Chile is Molytmet. Its main buyer is the United States, which, since year 2000, has bought close to 90% of Molytmet's rhenium production. In 2015, Molytmet exported about 18,000 Kg of rhenium. Codelco plans to enter the rhenium market through its subsidiary plant Molyb, which could recover between 6,000 and 7,000 Kg a year, from 2017 onwards, using feed material that would have otherwise been treated by Molytmet.



Contenido

Resumen ejecutivo	ii
Abstract.....	iii
1 Introducción.....	1
2 Producción y usos del renio	2
2.1 Reservas mundiales de renio	2
2.2 Usos del renio.....	3
2.3 Extracción y procesamiento metalúrgico	4
2.3.1 <i>Obtención primaria de renio</i>	4
2.3.2 <i>De perrenato a renio metálico</i>	7
2.3.3 <i>Obtención secundaria de renio</i>	8
3 Mercado internacional y producción de Chile	9
3.1 Oferta de renio.....	10
3.1.1 <i>Producción primaria versus secundaria</i>	12
3.2 Demanda de renio.....	13
3.3 Precio y expectativas de mercado	14
3.4 Producción y posición estratégica de Chile	21
4 Comentarios finales	26
5 Referencias	27



1 Introducción

El renio (Re) es un metal de transición que ocupa el puesto n° 75 en la tabla periódica. Es uno de los metales más raros de la tierra, en la naturaleza es poco común encontrarlo en su forma metálica o en su forma mineral sulfurada (sulfuro de renio (ReS_2)). En la corteza terrestre tiene una concentración cercana a 0,001 ppm¹ (Royal Society of Chemistry 2015). El renio tiene una alta dureza, y elevados puntos de fusión (3.180°C) y ebullición, lo cual lo hace excepcionalmente resistente al calor y al desgaste (U.S. Geological Survey 2015). Es buen conductor de electricidad y calor, y, con una densidad de 21.020 Kg/m^3 , es uno de los metales más densos que existen. Se encuentra en estado sólido a temperatura ambiente (Elementos.org 2015).

Fue descubierto en 1925 en Alemania por Walter Noddack, Ida Tacke y Otto Berg. Ellos fueron capaces de detectar trazas de renio mediante análisis espectrográficos en minerales de platino y minerales de columbita, galodinita y molibdenita. Fue solo en 1928 que Noddack y Berg fueron capaces de extraer un gramo de renio de 660 Kg de molibdenita. Su nombre deriva del nombre en latín del río alemán Rin, “Rhenus”, ya que fue en las cercanías de este río en donde fue detectado por primera vez (JLab organization 2015). Hoy en día, su producción comercial es como subproducto en la refinación de otros metales como molibdeno, cobre, uranio y plomo (Abisheva, Zagorodnyaya y Bekturganov 2011).

Los principales usos del renio son para la fabricación de superaleaciones para turbinas de aviones y naves espaciales, y para el refinamiento de petróleo, principalmente. También, en el último tiempo, se ha investigado su uso en campos biotecnológicos y médicos (El Mercurio 2012).

El principal productor de renio a nivel mundial, con más de la mitad de la producción, es Chile, quién además posee la mayor cantidad de reservas del metal, seguido por Estados Unidos y Rusia (U.S. Geological Survey 2015).

Tal como se ha indicado, el renio proviene principalmente de la molibdenita presente en las reservas de cobre del país. La importancia relativa de nuestro país en la producción mundial contrasta con la información pública existente, lo cual motiva el interés en profundizar en este subproducto del cobre.

¹ ppm = partes por millón (0,001 ppm = 0,0000001%)



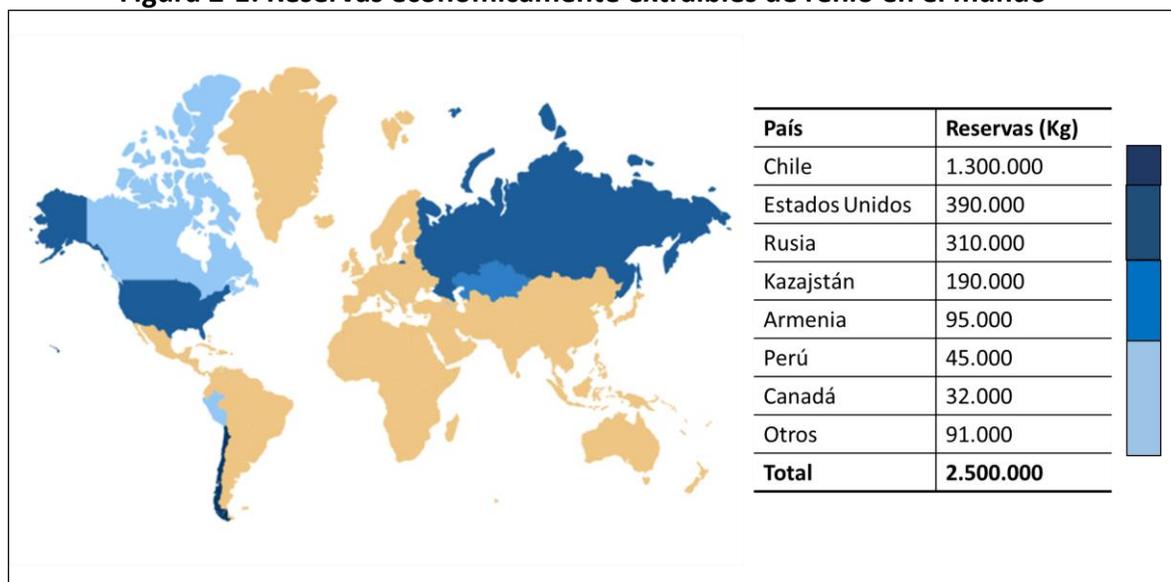
2 Producción y usos del renio

A continuación se indican los países con las mayores reservas de renio y el proceso de obtención de éste, describiendo tanto su proceso de extracción metalúrgica, procesamiento, y distintos productos de renio que se obtienen de dichos procesos. También se describen los usos que se le da al renio, tanto en su forma de renio metálico o como perrenato de amonio (NH_4ReO_4).

2.1 Reservas mundiales de renio

El renio no se encuentra homogéneamente distribuido en la corteza terrestre, son sólo algunos países los que tienen contenido de renio susceptible a ser explotadas económicamente. En la Figura 2-1 se pueden ver los principales países en términos de reservas de renio. De todos ellos, Chile es el país del mundo con la mayor reserva de renio económicamente extraíble. Sin embargo, Estados Unidos posee mayores reservas sub económicas. Sus reservas totales son del orden de 4,5 millones de kg, mientras las reservas totales de Chile son del orden de 2,5 millones de kg (USGS 2015).

Figura 2-1: Reservas económicamente extraíbles de renio en el mundo



Fuente: Cochilco, a partir de USGS (USGS 2015)



2.2 Usos del renio

Cerca del 76% del renio que se consume en el mundo es en forma de renio metálico para la producción de superaleaciones (European Commission 2014), las cuales son elaboradas en base a níquel, con un contenido del 3 al 6% de renio metálico. Las superaleaciones son un material crítico para la elaboración de las aspas de turbinas de motores de aviones y motores de turbinas de gas industrial. La alta resistencia al calor del renio permite que los motores fabricados con esta superaleación tengan una tolerancia mucho mayor a la temperatura que motores fabricados con otro tipo de material. Por esto mismo, la vida útil de los motores se incrementa y su desempeño aumenta, ya que el desgaste por uso es menor. En este contexto, las tres características más importantes del renio son (Vulcan 2013):

1. Un punto de fusión extraordinariamente alto, lo cual hace que las aleaciones sean muy resistentes al calor y el desgaste.
2. Alta resistencia a la fluencia (de fluir), es decir, a la acción de movimiento lento que deforma las estructuras.
3. Alto coeficiente de elasticidad, es extremadamente estable y rígido frente a la tensión y al estrés. El renio ocupa el tercer lugar entre los metales en coeficiente de elasticidad.

Otro de los usos más comunes del renio, el cual explica el 11% de la demanda (European Commission 2014), es la catálisis de platino-renio. La industria del petróleo utiliza dicha catálisis para producir gasolina de alto octanaje libre de plomo. Esta reacción de catálisis aumenta el octanaje en la gasolina y mejora la eficiencia en el proceso de refinación. En este caso el renio es usado como perrenato de amonio y tiene una alta tasa de reciclaje (este concepto se explica en el acápite 2.3.3).

El 13% restante de la demanda del renio se explica por aplicaciones secundarias (European Commission 2014). Entre estas se incluyen la fabricación de puntos de contacto eléctrico, linternas, elementos de calor, tubos de vacío, tubos de rayos X, y para varios procedimientos médicos y biotecnológicos (U.S. Geological Survey 2015, European Commission 2014).

Dentro de las nuevas aplicaciones biotecnológicas se puede destacar que científicos chilenos han descubierto que se pueden detectar células de cáncer utilizando un compuesto de renio ($Re_6Se_8I_6^{3-}$), el cual se vuelve luminoso en presencia de células cancerosas. Además, dicho compuesto tendría la capacidad de poder eliminar selectivamente dichas células cancerosas, dejando las células sanas sin ser afectadas. Esto



se debe a que el compuesto de renio es incorporado por las células malignas a su núcleo, provocando la muerte de éstas (Echeverría, y otros 2012).

2.3 Extracción y procesamiento metalúrgico

El renio es poco común de ser encontrado en su forma metálica o mineral en la naturaleza. La manera metalúrgica de extraerlo, o fuente primaria de obtención de renio, es como subproducto de los gases provenientes de la refinera de molibdenita, de donde se puede producir perrenato de amonio, y a partir de éste, renio metálico. Otra fuente que ha ido en crecimiento el último tiempo es el reciclaje de este metal, llamada también fuente secundaria de obtención de renio. Éste se produce a partir del reciclaje de productos fabricados con chatarra de superaleaciones, y del renio utilizado en catálisis, principalmente. Las fuentes secundarias de obtención de renio aumentaron considerablemente entre el 2007 y el 2012, debido al alza en los precios del renio (llegando incluso a los 12.000 \$US/Kg, precio spot) y a la inversión en nuevas tecnologías de reciclaje. Sin embargo, una caída del precio el 2013, mantenida hasta ahora (cerca de 3.000 \$US/Kg), hizo decrecer la actividad de reciclaje debido al desafío económico que esta baja significó (Platts 2015, USGS 2015).

Ambas formas de procesamiento/reciclaje requieren el uso de altas temperaturas, elevadas presiones, grandes cantidades de agentes reactivos, o una combinación de los tres. Por esto es crucial que el proceso de extracción de renio sea eficiente y pueda hacer sinergias con el proceso de extracción de molibdeno.

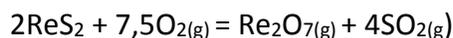
2.3.1 Obtención primaria de renio

La mayor fuente primaria de renio es como un subproducto de la minería del cobre. La mayoría del metal proveniente de esta fuente es recuperado de los gases de combustión de concentrados de molibdenita que se encuentra en los pórfidos cupríferos, y explica cerca del 80% de la producción total de renio. La molibdenita de los pórfidos cupríferos suele contener entre 100 y 3.000 ppm de renio, lo que la convierte en la principal fuente de renio. Por su parte, el pórfido en sí, contiene solo 0,5 gramos de renio por tonelada métrica de material (0,5 ppm). No obstante la baja concentración, la extracción de renio se hace posible gracias al gran volumen de material extraído desde estos yacimientos (cientos a miles de millones de toneladas métricas) y su obtención como subproducto, favoreciendo la viabilidad económica de éste. El renio se encuentra en la molibdenita como sulfuro de renio (U.S. Geological Survey 2015).



2.3.1.1 Recuperación por efluentes de procesos pirometalúrgicos

En el proceso pirometalúrgico de tostación de concentrados de molibdeno con contenido de renio (como sulfuro de renio), éste se oxida formando heptóxido de renio a través de la siguiente reacción:



Donde el compuesto de renio producido es extremadamente volátil, sobre todo considerando las altas temperaturas a las que ocurre el proceso de tostación (627-677°C). Este gas de renio es dirigido fuera del horno y mezclado con agua para ser recuperado como ácido perrénico ($\text{HReO}_{4(aq)}$) formando un licor de renio. Este puede ser sometido a dos tipos de procesos distintos para recuperar el renio: intercambio iónico o extracción por solvente. Con ambos procesos, el producto que se obtiene es, típicamente, perrenato de amonio. En la Figura 2-2 se puede ver el proceso productivo de ambos procesos. El proceso de obtención de renio metálico a partir de perrenato de amonio se explica en el acápite 2.3.2 (Andreson, Taylor y Andreson 2013).

- a. Proceso de intercambio iónico: En este proceso es necesario recircular continuamente la solución de ácido perrénico por un circuito hasta alcanzar una concentración de aproximadamente 100 mg/L. Luego, esta solución es acondicionada por 24 horas con soda cáustica, cenizas de soda, y oxidada con hipoclorito de calcio. Se debe subir el pH de la solución a 10 para poder precipitar cualquier contaminante (principalmente hierro). A continuación la solución se filtra y es llevada al circuito de intercambio iónico, donde una resina anódica absorbe el renio de la solución alcalina. Una vez cargada la resina, el renio es removido bajo la acción de ácido clorhídrico. A esta solución se le agrega ácido perclórico y sulfuro de hidrógeno para precipitar el renio como heptasulfuro de direnio (Re_2S_7). Este precipitado es re-disuelto en una solución de amonio y peróxido de hidrógeno, con lo que cristaliza como perrenato de amonio. Se ha utilizado esta técnica de intercambio iónico en fundiciones de cobre, siguiendo el mismo proceso descrito para los procesos pirometalúrgicos de tostación de molibdeno.
- b. Proceso de extracción por solvente: En este proceso, el ácido perrénico en concentraciones de 25 g/L, es llevado al proceso de extracción por solvente, para poder llevar a cabo una separación selectiva del renio de las impurezas presentes en la solución. El extractante que se usa en esta tecnología es un compuesto orgánico de trialquilamina (TAA, por su sigla en inglés), en una dilución de

keroseno. La fase orgánica cargada de renio es despojada usando hidróxido de amonio para producir perrenato de amonio. Dicha fase orgánica puede ser reutilizada para nuevas extracciones por solvente.

En la figura a continuación se puede ver, a la derecha, el proceso de intercambio iónico, y a la izquierda el proceso de extracción por solvente.

Figura 2-2: Esquema productivo del proceso metalúrgico



Fuente: Cochilco en base a Anderson, Taylor y Anderson, 2013

2.3.1.2 Métodos alternativos de recuperación de renio

Además de las técnicas más comunes antes descritas, existen otras alternativas para la recuperación de renio, las cuales se describen a continuación:

- a. Recuperación de minerales de molibdeno y cobre: Un proceso alternativo para la recuperación de molibdeno y renio de los concentrados de molibdenita es a través de un proceso de oxidación alcalina a alta presión. En este proceso los concentrados de molibdenita de la flotación son lixiviados con hidróxido de sodio o de potasio a elevadas temperaturas (150-200°C) y presión (517-1.400 kPa), para formar molibdato soluble. Luego viene la etapa de recuperación por solvente, en donde además de molibdeno, se recupera el renio. La solución cargada de renio pasa por un proceso de intercambio iónico selectivo bajo la acción de una resina



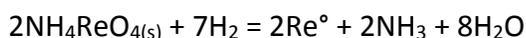
que lo recupera. Existen compañías que recuperan el renio bajo la acción de carbón activado. Ambas técnicas requieren luego desprender el renio del agente que lo contiene para seguir el proceso y obtener el renio metálico.

- b. Recuperación de licores de lixiviación de uranio: Al igual que el cobre y el molibdeno, el renio también puede venir asociado al uranio. El renio puede ser absorbido en las columnas de intercambio de electrones de recuperación de uranio. Esto se logra lixivando el renio a su forma de perrenato (ReO_4^-) y luego es absorbido selectivamente por una resina anódica. Terminado este proceso, la resina es lavada con nitrato de amonio para obtener precipitados de heptasulfuro de direnio (Re_2S_7), con la adición de gas de sulfato de hidrógeno. Generalmente, este es el producto final que se obtiene, el cual está listo para ser enviado a su procesamiento de obtención de renio metálico, ya sea por extracción de solvente o intercambio iónico.

2.3.2 De perrenato a renio metálico

Los dos métodos principales para la obtención de renio metálico son por la reducción de perrenato de amonio (NH_4ReO_4), o bien la reducción de perrenato de potasio (KReO_4), siendo el primero el más común de los dos (Andreson, Taylor y Andreson 2013).

La obtención de renio metálico por perrenato de amonio se lleva a cabo utilizando hidrógeno como agente reductor a elevadas temperaturas (1.000°C). Mientras menor sea el tamaño de partícula del perrenato de amonio, más rápida será la reacción. La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



El caso del perrenato de potasio es más lento, ya que requiere varias etapas de tostación a diferentes temperaturas y presiones por tiempos mayores. Luego requiere ser enfriada y lavada para remover materiales indeseados. La reacción de obtención se resume de la siguiente manera:

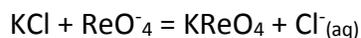


2.3.3 Obtención secundaria de renio

La obtención secundaria se refiere al renio que se obtiene de un proceso de reciclaje de renio. Existen varias tecnologías para recuperar el renio a través de reciclaje, las cuales se explican a continuación (Andreson, Taylor y Andreson 2013).

2.3.3.1 Reciclaje de superaleaciones y chatarra de aleaciones

En esta técnica el renio se recupera mediante un proceso piro-metalúrgico oxidativo. La chatarra se quema a 1.000°C en una atmosfera oxidativa para obtener heptóxido de direnio (Re_2O_7), el cual es condensado y enfriado para ser enviado a digestión en agua, de donde se obtiene un renio acuoso en forma de perrenato (ReO_4^-). A este compuesto se le añade cloruro de potasio para generar la siguiente reacción:



El perrenato de potasio es filtrado y purificado mediante continuas disoluciones y re-cristalizaciones. Luego de las purificaciones, la sal obtenida es secada y enviada a reducción bajo una atmósfera de hidrógeno a 350°C, en donde se recupera el 93,1% del renio con una pureza de 99,98%, en forma de renio metálico.

2.3.3.2 Reciclaje del proceso de catálisis de petróleo con platino-renio en sustrato de aluminio

Existen dos métodos para recuperar los metales de este proceso, que son:

(1) **La completa disolución del sustrato de aluminio.** En esta técnica se usa ácido sulfúrico (o algún otro diluyente como bicarbonato de sodio) para diluir el aluminio, renio y, en alguna medida, el platino. Luego se extrae la solución rica en renio por intercambio iónico. Finalmente, esta solución se evapora y se cristaliza para obtener perrenato de amonio.

(2) **La disolución selectiva y recuperación del renio y el platino.** Los métodos que existen para recuperar el renio y el platino sin disolver completamente el sustrato de aluminio, varían desde la calcinación hasta la lixiviación selectiva en soluciones alcalinas o ácidas, a temperatura ambiente o con calor. En el caso de la calcinación, se utilizan temperaturas de más de 1.150°C logrando que el sustrato de aluminio pase a la fase de transición químicamente estable, bajando así su dilución. Luego se pueden recuperar el renio y el

platino lixiviándolos con una solución de ácido sulfúrico. Experiencias han demostrado que con esta técnica se puede recuperar cerca de 95,5% de renio y 97% de platino. Existen variaciones de esta técnica, en donde se requiere menos temperatura pero una elevada concentración de oxígeno y altas condiciones de presión (8 atmosferas aprox.).

Generalmente, cuando se recupera el renio por reciclaje, el renio metálico se produce en otro sitio, ya que los procesos de reciclaje producen perrenato de amonio o de potasio. El método de obtención del renio metálico a partir de perrenato de amonio y de potasio es el mismo que el descrito en la obtención primaria.

3 Mercado internacional y producción de Chile

El mercado del renio no tiene un comportamiento similar al de los metales base. La mayor parte del renio se transa entre productor y comprador mediante contratos de largo plazo (normalmente de 5 a 10 años) donde se acuerda el precio y la cantidad a transar durante ese período. Como dichos contratos no son públicos, no se puede tener mayor información acerca de éstos. Sin embargo, parte del renio se transa en el mercado, con lo que se define un precio spot para éste.

Con respecto al renio chileno, el 2014, las refinerías chilenas produjeron el 40%² del renio primario a partir de una combinación de concentrados de molibdeno chileno e importado (Roskill 2015). Estados Unidos ocupó el segundo lugar en producción de renio del mismo año, con un 20%³ de la producción total. Otros productores importantes de renio fueron Polonia y China. Kazajistán, que históricamente ha sido uno de los grandes productores de renio a nivel mundial a través de refinerías de propiedad del estado, produjo pocas cantidades de éste mineral el 2014, sobre todo debido a una falta de materias primas (molibdenita rica en renio). Entre el 2007 y el 2012, se vio un aumento de fuentes secundarias de producción de renio, tales como metal puro o perrenato de amonio, esto debido a los altos precios del renio en ese período, y a un aumento en la capacidad de reciclaje de este metal. Sin embargo, a partir del 2013, debido a una baja del precio spot del renio, varias empresas recicladoras han debido afrontar desafíos económicos, con lo que la producción secundaria de renio se ha visto ligeramente disminuida (Roskill 2015).

La producción anual de renio ha variado de año en año consistentemente con su condición de subproducto. Actualmente ésta es del orden de 50.000 kilos anuales, el 2008 fue

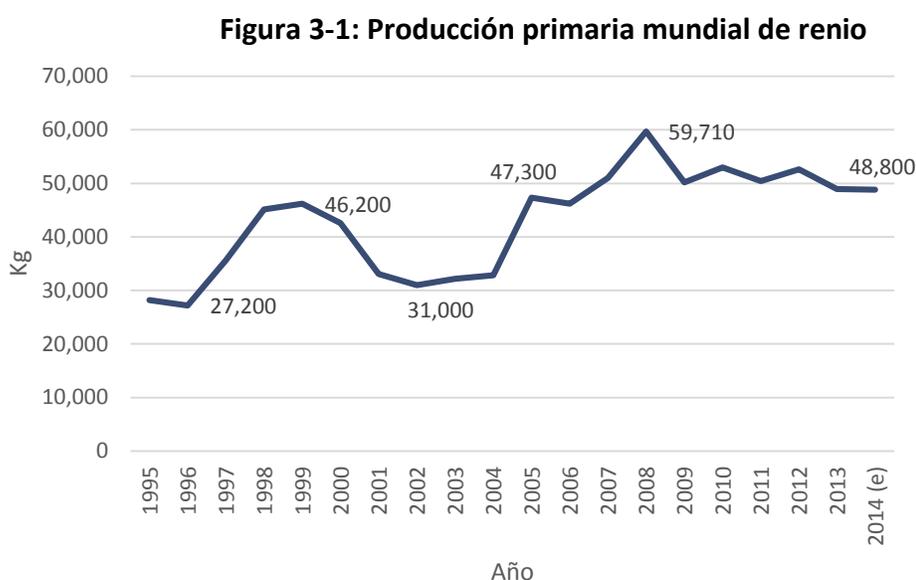
² Según datos del USGS, este valor habría superado el 50% el año 2014

³ Según datos del USGS, este valor sería más cercano a un 16%, valor similar a la producción de renio de Polonia ese mismo año.



cercano a los 60.000 y el 2002 fue de 31.000 (ver Figura 3-1). Se debe tener en cuenta que se entiende por producción al renio extraído por procesos metalúrgicos, ya que existe también el mercado del reciclaje de renio, el cual aporta aproximadamente un 16,6% al stock anual de renio disponible.

Si bien, en comparación con otros metales que se producen en el mundo, la producción anual es relativamente baja, se debe tener en cuenta que se utiliza en bajas cantidades, y que tiene un alto precio (actualmente se transa cercano a los 3.000 \$US/Kg y entre los años 2008 y 2009 incluso se situó cerca de los 12.000 \$US/Kg (precio spot)).



Fuente: Cochilco en base a USGS (USGS 2015)

3.1 Oferta de renio

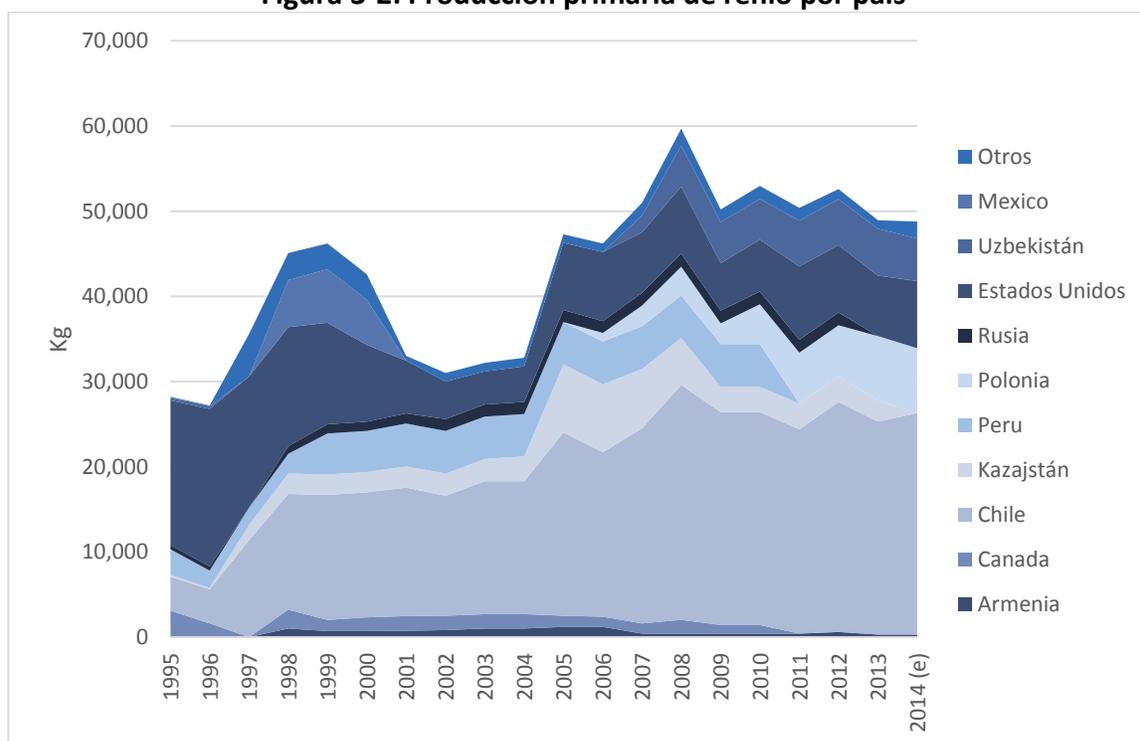
En el mundo se producen actualmente alrededor de 50.000 kg de renio al año de fuente primaria. Los países productores primarios de renio (más del 80% del total del renio producido) son Armenia, Canadá, Chile, Kazajistán, Perú, Polonia, Rusia, Estados Unidos, Uzbekistán y México. De estos, el principal productor es Chile, con más del 50% de la producción primaria mundial de renio desde el 2012. La empresa Molybmet es quien domina actualmente la producción de renio en Chile, sin embargo, Codelco está desarrollando su empresa filial Molyb, la cual, además de molibdeno, producirá alrededor de 6.000 a 7.000 kilos de renio al año. Se espera que esta empresa empiece a operar el año 2017. Cabe destacar que la entrada de Molyb no generará, en un principio, un



aumento de la producción de renio de Chile, ya que usará recursos que de otro modo hubieran sido utilizados por Molymet (molibdenita de faenas de Codelco) (PR Newswire 2015).

Molymet tiene plantas productoras en Chile, México, Bélgica, Alemania y China, pero procesa renio solo en Chile. Molymet no tiene yacimientos mineros, si no que compra la molibdenita (de donde se extrae el renio) a terceros. Su estrategia consiste en desarrollar fuertes relaciones con sus proveedores a través de contratos que le permitan tener un abastecimiento de materia prima por largos períodos. Molymet produce renio en su forma metálica y como perrenato de amonio (Molymet 2015).

Figura 3-2: Producción primaria de renio por país



Fuente: (USGS 2015)

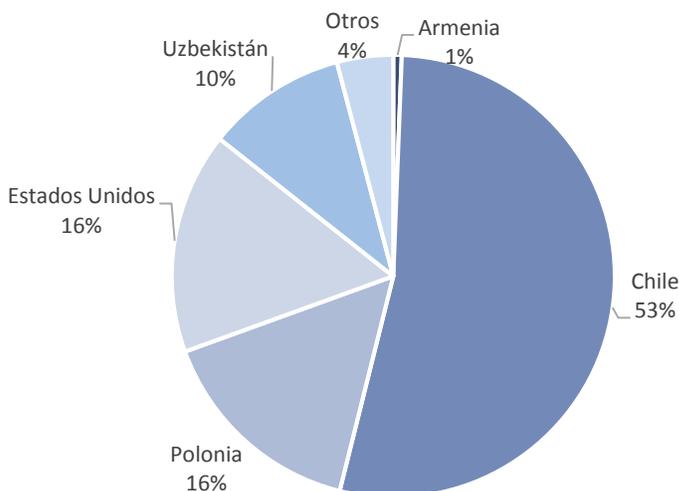
Del gráfico anterior se puede notar una baja en la producción de renio por parte de Estados Unidos, que pasó del ser el mayor productor a ocupar el segundo puesto en producción de renio. Esto se debe principalmente a la baja disponibilidad de equipos de tostación de molibdenita para extraer renio. Para la economía de Estados Unidos resulta



más conveniente, en términos económicos, enviar molibdenita a Chile y luego comprarles el renio, que abastecerse de más equipos de tostación.

Los países que participaron de la producción del 2014 se pueden ver en la Figura 3-3 a continuación.

Figura 3-3: Producción primaria de Renio en el año 2014



Fuente: (USGS 2015)

En relación a las fuentes primarias de renio, no se espera que en el corto plazo se desarrollen nuevos proyectos de extracción que contribuyan de manera significativa a la oferta, a menos de que Kazajistán decida reabrir sus operaciones.

3.1.1 Producción primaria versus secundaria

La cantidad de renio producido de fuentes primarias es superior al de fuentes secundarias (5 es a 1), principalmente porque es menos costoso de producir. El reciclaje de renio aumenta cuando el precio spot del renio sube tal que el reciclaje es económicamente viable. Este fue el caso del año 2008, donde el precio spot alcanzó su máximo (aprox. 12.000 \$US/Kg), subida que se explicó por una mayor demanda de renio para catálisis. Este evento generó preocupación en la industria aeronáutica que depende fuertemente del renio para la fabricación de superaleaciones, lo cual hizo que se impulsara aún más el reciclaje de chatarra y la recuperación de partes de turbinas en desuso como forma alternativa de abastecimiento de renio. A raíz de esto, la industria de las superaleaciones



tiene una cantidad de control significativa sobre el precio del renio que adquiere, precisamente porque dispone de la chatarra y partes de turbina en desuso para reciclar y abastecerse de renio, en caso de que el mercado primario no de abasto. Por otro lado, las tecnologías de reciclaje se desarrollan cada año, lo cual las hace más baratas, haciendo que ésta práctica sea viable y competitiva a menores precios spot del metal.

A principios del 2015, impulsado por el reciclaje, el mercado del renio había experimentado por lo menos 5 años de exceso de oferta, lo cual hizo que cayeran los precios en dicho periodo.

Actualmente se estima que por cada 50.000 kilos de renio que se producen por fuentes primarias, se producen 10.000 kilos de renio por reciclaje (Petrova y Kasikov 2014, Tradium 2012).

3.2 Demanda de renio

El renio se utiliza principalmente en dos tipos de industrias, la elaboración de superaleaciones de acero y la catálisis para la refinería de petróleo, aunque también es utilizado en menor medida en otro tipo de industrias como aplicaciones médicas y biotecnológicas.

Las superaleaciones se utilizan en la industria aeronáutica para la elaboración de motores de aviación, y en menor medida en la elaboración de turbinas de gas industrial. El material para construir dichos instrumentos es una superaleación hecha en base a níquel y renio. Desde el 2005 la demanda de la superaleación en base a renio ha crecido un 7%, alcanzando el 2014 el 78% de la demanda total de renio (Roskill 2015). Los principales consumidores de la industria aeronáutica son los estadounidenses General Electric y Pratt & Whitney, y la británica Rolls Royce, mientras que el principal consumidor de la industria de turbinas industriales de gas es la alemana Siemens. Los principales consumidores de renio para la catálisis de la industria del petróleo, la cual es responsable del 11% (European Commission 2014) de la demanda del renio, son Anex, BASF, Criterion, ExxonMobil, Indian Petrochemicals, Sinopec y UOP (Codelco 2011).

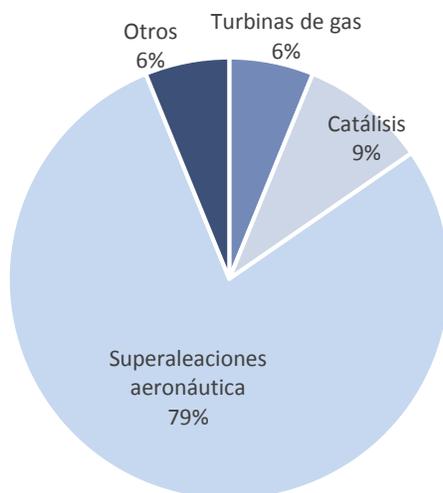
Estudios aseguran que los principales fabricantes de aviones, como Airbus y Boeing, aumentarían la cantidad de aviones de 15.000 a principios del 2011, a más de 30.000 en 2030, lo que se podría traducir en un aumento del consumo de renio de alrededor del 5% anual en este ámbito (Tradium 2012).

Se espera que la demanda total del renio experimente un fuerte crecimiento, un promedio de 6% anual, entre el 2015 y el 2018, seguido por un periodo estable hasta el



2020. Al final de este período se espera que la demanda alcance las 85 toneladas por año, de la cual un 80% sea por parte del sector de las superaleaciones. La demanda por catálisis, si bien ha crecido, no lo ha hecho tan rápido como la demanda para fabricación de superaleaciones, lo cual se asocia al incremento del sector aeronáutico a nivel mundial.

Figura 3-4: Demanda mundial de renio al año 2013⁴



Fuente: (Petrova y Kasikov 2014)

3.3 Precio y expectativas de mercado

Debido al esquema de transacción del renio, para este metal pueden existir variados precios en un mismo período según quien sea el vendedor y el comprador. El renio se transa en su mayoría a través de contratos a largo plazo (entre 5 y 10 años), directamente entre el vendedor y el comprador, aunque también existe un mercado del renio de precio móvil según oferta y demanda, donde se define el precio spot del metal. En el año 2008, por ejemplo, Molymet, que es el mayor productor de renio del mundo, de acuerdo a los registros de exportación, vendió su producción a la mayoría de sus clientes con contrato a largo plazo a un precio inferior a los 2.000 \$US/Kg, mientras que el precio spot del renio

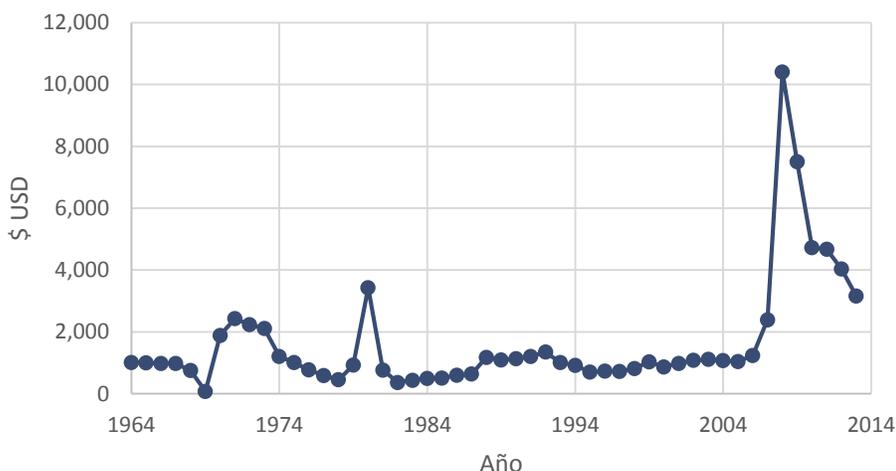
⁴ La Comisión Europea dice que los porcentajes de participación en la demanda son 76, 11 y 13% para superaleaciones para industria aeronáutica, catálisis, y turbinas y otros, respectivamente (European Commission 2014). Por otro lado, según Roskill la demanda para la elaboración de superaleaciones es de 78% (Roskill 2015).



fue cercano a los 12.000 \$US/Kg (Lipmann 2012). Sin embargo, la proporción de renio que se vende sin contrato es mucho menor que la que se transa a través de éstos.

Según el catastro de la US Geological Survey (USGS), el precio spot del renio metálico ha variado tal como se muestra en el gráfico de la Figura 3-5. Sin embargo, tal como explica el USGS, el renio tiene un limitado número de participantes de mercado. Un gran porcentaje del renio que se comercializa, sobre todo el renio metálico, se hace mediante contratos de largo plazo, cuyos detalles no son de difusión pública. La modalidad de mercado abierto tanto para el renio metálico como para el perrenato de amonio, es relativamente pequeño. Además, se comercializa tanto renio metálico como perrenato de amonio, los cuales tienen diferentes precios que cambian según el contrato (USGS 2015).

Figura 3-5: Evolución del precio spot del renio metálico

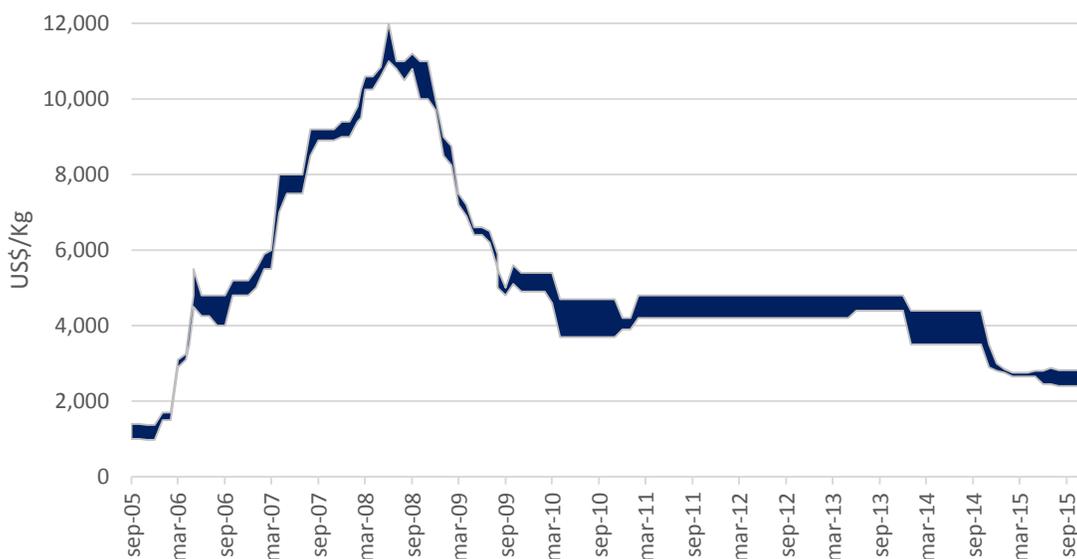


Fuente: US Geological Survey 2015

En los últimos diez años, el mercado del renio ha experimentado las mayores variaciones de su historia, tal como muestra la siguiente figura.



Figura 3-6: Precio Spot MW NY Dealer Perrenato de Amonio.



Fuente: Cochilco en base a Platts

Desde el 2006, los precios del renio que habían estado históricamente estables, comienzan a aumentar debido al crecimiento de la demanda como catalizador en la refinación de combustibles, principales demandantes en el mercado spot. Junto a esto, fue clave la incapacidad de las fuentes primarias de responder a las necesidades de la demanda. Tal inelasticidad de la oferta se explica por el hecho de ser el renio un “subproducto de un subproducto” de la minería del cobre, lo cual no le permite responder adecuadamente a las fluctuaciones de su propio precio. En esta misma época se constata las restricciones de exportación de Kazajistán, país que se mantuvo al margen del comercio internacional por más de un año debido a conflictos políticos y legales con los productores primarios.

A mediados del 2006, la escasez de oferta y liquidez que crearon los contratos de largo plazo, llevaron al precio spot del renio a más que duplicarse hasta casi llegar a los 5.000 US\$/Kg. Sin embargo, el mercado se mantenía expectante por las existencias de la empresa Kazakhmys, que debería entregar al mercado entre 10.000 a 15.000 Kg, dependiendo de su obtención de la licencia de exportación. Si bien tal venta se debería realizar a uno o dos grandes consumidores de la industria aeronáutica, generó una expectativa de caída de precios en el plazo inmediato. En esta misma época, los analistas consignan la aparición de Rusia como demandante del renio occidental, principalmente para las refinerías de su industria petrolera, dada la desconfianza que tenían sobre el



producto de menor calidad de Kazajistán (perrenato de amonio al 69,2% en contenido de renio, en lugar del 69,4% en occidente).

Durante el año 2007, los precios spot del renio casi se duplican desde los 5.000 US\$/Kg hasta los 9.000 US\$/Kg. En tal año se manifiesta la incapacidad de los productores primarios de resolver las necesidades de la demanda, mientras que se estimaba que Molybdenum poseía el 75% del mercado mundial, sin posibilidades de aumentar su capacidad de tratamiento. El mayor determinante de esta época se encuentra en la industria petrolera, que si bien recupera gran parte de su consumo de renio usado como catalizador (cerca del 90%) requiere realizar compras para suplir lo que es incapaz de reciclar. También genera volatilidad en el mercado el interés de Rusia por actualizar su industria aeronáutica además de la petrolera. Tal situación se mantiene hacia el año 2008, la cual fue considerada extremadamente ajustada. En tales épocas, incluso pequeñas variaciones de producción de los productores de cobre, llegan a afectar los precios del renio dado la limitada cantidad de productos en el mercado spot. En relación al recambio de catalizadores de combustibles (típicamente en otoño y primavera del hemisferio norte), el precio del renio llega a un máximo histórico de 12.000 \$US/Kg. Por el lado de las superaleaciones, los principales fabricantes (General Electric y Pratt & Whitney), se mantuvieron al margen del mercado spot dejando a las empresas petroleras el material disponible.

A finales del 2008 e inicios del 2009, los metales menores, entre ellos el renio, destacan por su resiliencia ante la caída generalizada de precio de los commodities, justificado en parte por la planificación de largo plazo de las industrias que lo consumen y su incapacidad de ser sustituido en sus dos mayores aplicaciones. En este período, los productores de superaleaciones de renio intentan disminuir su consumo de renio aumentando el reciclaje o disminuyendo el porcentaje de renio requerido en sus productos. Sin embargo, ya finalizando el primer trimestre del 2009, los precios del renio comienzan a decaer, debido a un menor dinamismo del mercado aeronáutico que es el principal destino de la oferta de renio (casi un 80%), disminuyendo así la liquidez del mercado spot. A mediados de 2009, se anuncia la inversión de Rio Tinto en Bingham Canyon para procesar sus concentrados de molibdenita en base a autoclave, lo que reduciría los envíos de concentrados a Chile hacia el 2012 y aumentaría la producción de Estados Unidos. Junto a esto, General Electric informa al mercado la extensión de turbinas con menor o nulo contenido de renio, en lugar de aquellas que requerían 3 o 6%, como medida de racionamiento. La caída generalizada de los commodities lleva al renio a niveles del orden de 5.000 US\$/Kg a finales del 2009.



Durante 2010, se hace efectiva una reducción de la demanda en torno a un 16%, mientras que los productores primarios caen en un 10%, siendo insuficiente para compensar la caída de la demanda. En tal época, se comienza a potenciar el mercado secundario, con plantas de reciclaje principalmente ubicadas en Estados Unidos y Alemania, pero con participación relevante de Estonia y Rusia. Desde 2010 y hasta 2013, el mercado se caracteriza por la estabilidad del mercado spot junto a un bajo nivel de transacciones, manteniendo un precio en torno a los 4.500 US\$/Kg. En este aspecto cabe destacar el cambio del comportamiento de la industria aeronáutica, que pasa a incrementar su autoabastecimiento por medio del reciclaje del renio en sus motores, optimizando sus procesos, dándoles un mayor control del abastecimiento del insumo y disminuyendo su exposición al precio de un componente crítico de su proceso productivo. A mediados del 2013 se anuncia la primera planta de recuperación de renio desde superaleaciones en Asia, por parte de Kohsei, comerciante que previamente generaba renio desde perrenato de amonio importado.

El año 2015, durante el Paris Air Show, los tres mayores fabricantes de motores aeronáuticos, General Electric Aviation, Rolls Royce, y Pratt & Whitney, anunciaron miles de millones de dólares en nuevas ventas, lo cual se puede asociar a un aumento en la demanda de renio. Sin embargo, debido al crecimiento de la industria de reciclaje y al reprocesamiento de las partes de las turbinas luego del final de su vida útil, el escenario para los productores primarios de renio es menos claro (Roskill 2015). Los mismos analistas proyectan un crecimiento de la demanda de un 6%, llegando a cerca de 85.000 Kg/año al 2020. Por el lado de la oferta se prevé una invariabilidad de las fuentes primarias (salvo una reapertura de faenas en Kazajistán). Por otro lado, los productores de chatarra que experimentaron un crecimiento de su capacidad instalada durante la época de peaks de precio del renio, detuvieron sus operaciones dado el escenario actual de precios deprimidos y un mayor costo obtención de la chatarra. Para el futuro, se espera que el mercado se mantenga estable producto de la mayor disponibilidad de motores de naves antiguas.

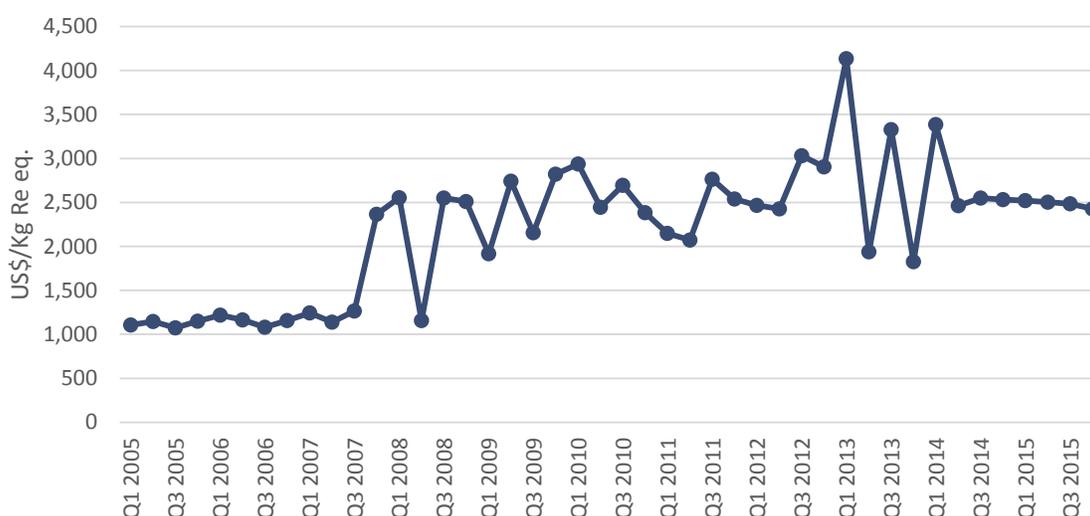
Recientemente, en Agosto de 2016, la empresa estatal Aero-Engine Group of China (AECC) ha iniciado su interés por desarrollar sus propias turbinas para naves aéreas, tanto comerciales como militares. Lo anterior significaría un cambio en la estrategia China de compra comercial desde General Electric y Pratt & Whitney y de las militares que se realizan a Rusia. La estrategia sigue la línea que ha mantenido China en la disminución de la dependencia extranjera de su industria aeronáutica, tras el desarrollo del primer avión de pasajeros chino realizado por la Corporación de Aviación Comercial de China (COMAC) presentado en Noviembre de 2015. La tendencia anterior indicaría una expectativa



creciente de la demanda por renio, para contribuir al crecimiento de la industria aeronáutica China y la mayor competencia que traería a los fabricantes tradicionales que se encontraban en la industria aérea.

Como se ha mencionado, la mayor parte de la comercialización de productos de renio se realiza a través de contratos a largo plazo entre los productores y consumidores. Si bien no es posible acceder a las referencias de precios presentes en los contratos (porque son privados), se puede inferir los distintos precios de contratos a largo plazo según la distribución de precios unitarios de las exportaciones de Chile, que actúa como referente al ser el origen del mayor productor individual a nivel mundial (Molymet). Los precios FOB unitarios de renio equivalente se presentan en la Figura 3-7.

Figura 3-7: FOB unitario Chile de exportación de productos de renio



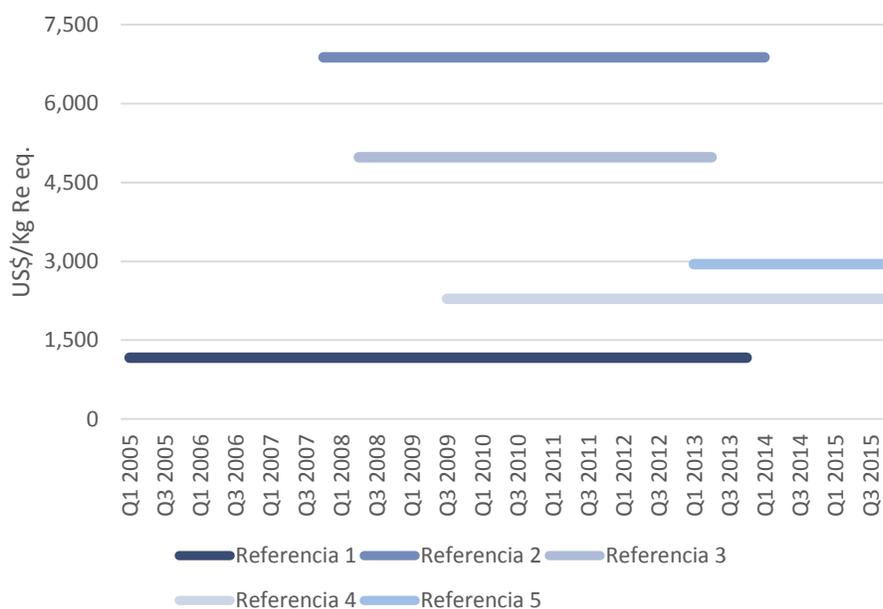
Fuente: Cochilco en base a datos de exportaciones de Legal Publishing

En el gráfico se puede ver una gran dispersión de los datos de precios FOB de exportaciones. Esta se debe a que existen distintos contratos de venta, en donde las partes pactaron diferentes precios para el renio en distintos períodos. Por esto es interesante analizar los precios de exportación de manera desagregada diferenciando aquellos precios similares que podrían corresponder a contratos distintos. Considerando la mayor concentración de embarques, es posible identificar cinco precios de referencia en el periodo 2005-2015.



En primer lugar, se encuentra el mayor precio de referencia de largo plazo, correspondiente al rango 990-1.350 US\$/kg. Tales embarques se dieron entre el primer trimestre del 2005 hasta el cuarto trimestre del 2014, siendo consistente con las referencias de mercado sobre contratos de largo plazo. Una segunda referencia ocurrió entre el cuarto trimestre de 2007 y el primer trimestre de 2014, cuando se observaron exportaciones, de manera intermitente, con precios que variaron entre 6.800 y 7.000 US\$/kg en promedio. En tercer lugar, durante el tercer trimestre de 2008 y el segundo trimestre de 2013, el precio se situó entre 4.800 y 5.150 US\$/kg. Las dos últimas referencias (cuarta y quinta) mantienen embarques al último trimestre del 2015, uno iniciado el tercer trimestre de 2008 y el otro el primer trimestre del 2013, situados en el rango 2.150-2.450 y 2.850-3.041 \$US/kg, respectivamente. Se destaca que entre estas cinco bandas de referencia se comercializó el 97% de las exportaciones de renio de Chile en el periodo 2005-2015.

Figura 3-8: Precios de referencia de largo plazo identificados



Fuente: Cochilco en base a datos de exportaciones de Legal Publishing

La información anterior da cuenta de la dispersión que existe entre las distintas negociaciones (las cinco identificadas), incluso con un mismo productor, lo cual no permite obtener referencias de mercado estandarizadas para las negociaciones de



contratos de largo plazo, siendo éste el segmento de mayor tamaño en el mercado del renio.

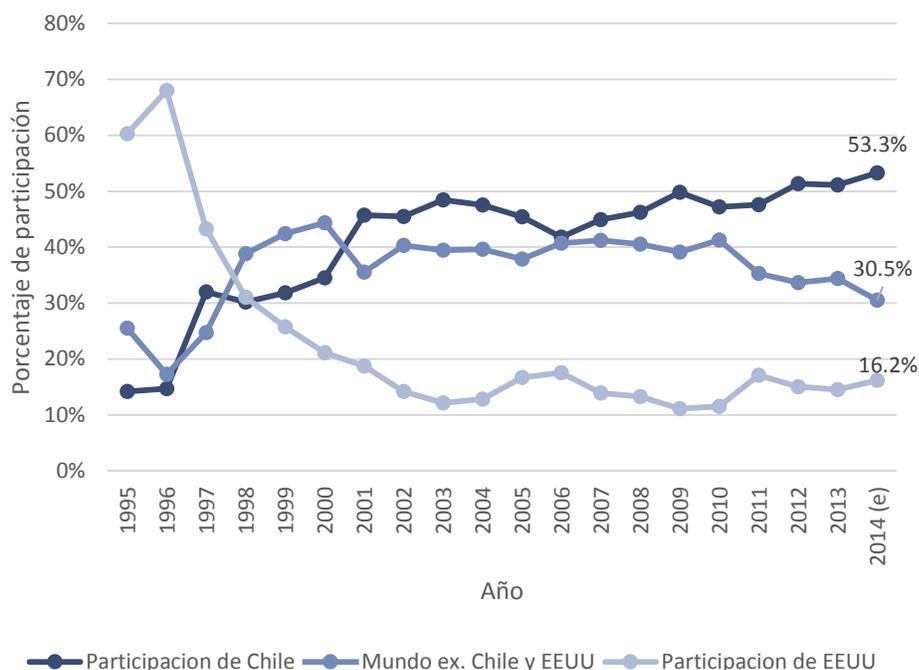
3.4 Producción y posición estratégica de Chile

El único productor actual de renio en Chile es la empresa Molibdenos y Metales S.A., también conocido como Molybmet. Codelco se encuentra en proceso de elaboración de una nueva planta de procesamiento de renio, Molyb, la cual, en un principio, no hará que aumente la producción total de Chile, sino que utilizaría recursos que anteriormente utilizaba Molybmet. Sin embargo, dada la variabilidad en el contenido de renio en la molibdenita, y a su vez, la variabilidad en el contenido de molibdeno en el depósito de cobre, existe la posibilidad que la producción Chilena sea mayor o menor a lo esperado. La planta Molyb tendrá capacidad de procesamiento para producir de 6.000 a 7.000 kilos de renio por año, y se espera que su puesta en marcha sea este año 2016, aunque la producción de renio no se espera sino hasta el año 2017 (Codelco 2013).

En el gráfico a continuación, se puede ver que, según datos del USGS, Chile es el mayor productor de renio del mundo, con más de un 50% de la producción primaria. En segundo lugar esta Estados Unidos con cerca de un 16% de la producción primaria de Renio. Dado que la producción primaria es cerca de un 80%, Chile tendría cerca del 43% de la producción total de renio en el mundo.



Figura 3-9: Porcentaje de participación de la producción primaria mundial de renio



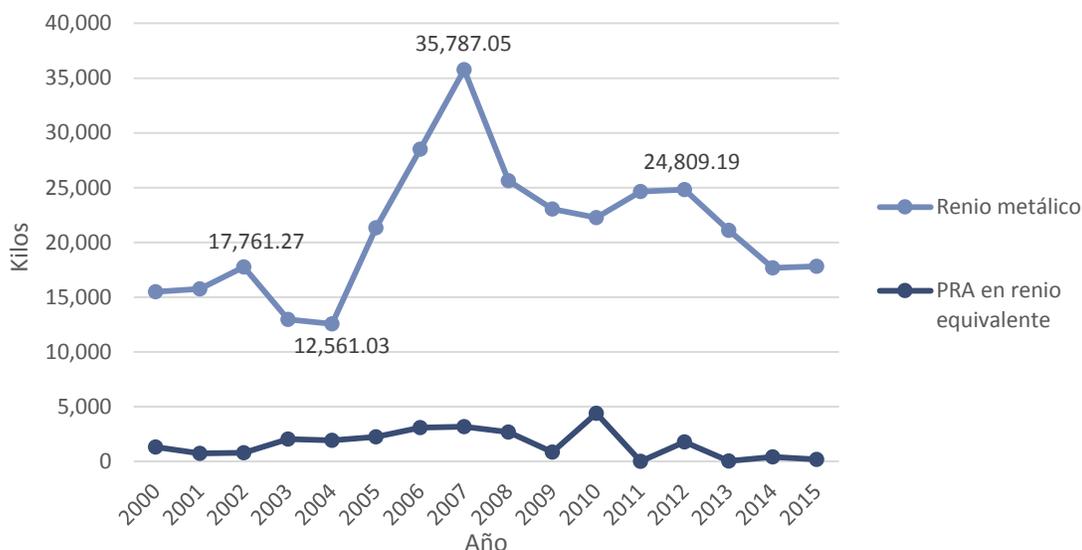
Fuente: US Geological Survey 2015

Molymet procesa concentrados de molibdeno, provenientes de la minería del cobre tanto nacional como internacional. Mantiene contratos de abastecimiento de largo plazo con Codelco por 10 años a partir del 2010, con Minera Lumina Copper Chile por 5 años a partir del 2015, con Sierra Gorda por 10 años a partir del 2014, y con Kennecott por 4 años a partir del 2014 (MOLYMET 2016). En el caso particular de Codelco, parte de las materias primas que adquiere Molymet son por contrato y una parte variable es según disponibilidad de molibdenita (que es un subproducto de generación variable del cobre). A raíz de esto, Codelco podrá destinar estos recursos variables a Molyb sin incumplir su contrato con Molymet.

Los productos que elabora Molymet varían según los requerimientos de sus clientes. En el caso del renio, lo que se produce es renio metálico y perrenato de amonio. En la Figura 3-10 a continuación se pueden ver las cantidades de renio exportadas entre los años 2000 y 2015. El año que más renio se exportó fue el 2007, con 38.973 kilos en total.



Figura 3-10: Exportaciones de renio Chile 2000-2015



Fuente: Cochilco en base a datos de exportaciones de Legal Publishing

Nota: El perrenato de amonio (PRA) posee un 69,4% de renio

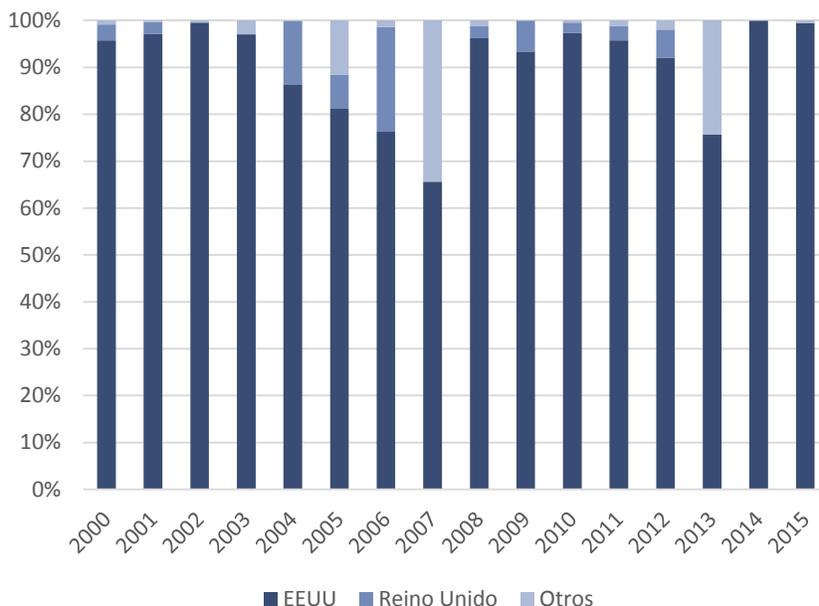
Los productos de Molymet son vendidos principalmente en Europa, Asia y Norteamérica, a empresas de sofisticada tecnología de la industria aeroespacial, química, electrónica y siderúrgica. Molymet comenzó el año 1988 con la producción de renio, y hoy es el principal productor mundial de este metal (Molymet 2015).

Según los datos de exportación, los cuales se muestran en la Figura 3-11, Estados Unidos es el principal comprador del renio metálico chileno, con cerca del 90% del renio que se ha producido desde el año 2000. En segundo lugar se encuentra Reino Unido (4,6%), seguido por Holanda (2,5%) y Japón (2,4%).

En el caso del perrenato de amonio, según los datos de exportación, el principal destino sería Holanda con cerca del 60% del total, seguido por Austria (18%), Estados Unidos (11,3%) y Reino Unido (8,4%).



Figura 3-11: País de destino de las exportaciones de renio metálico Chileno



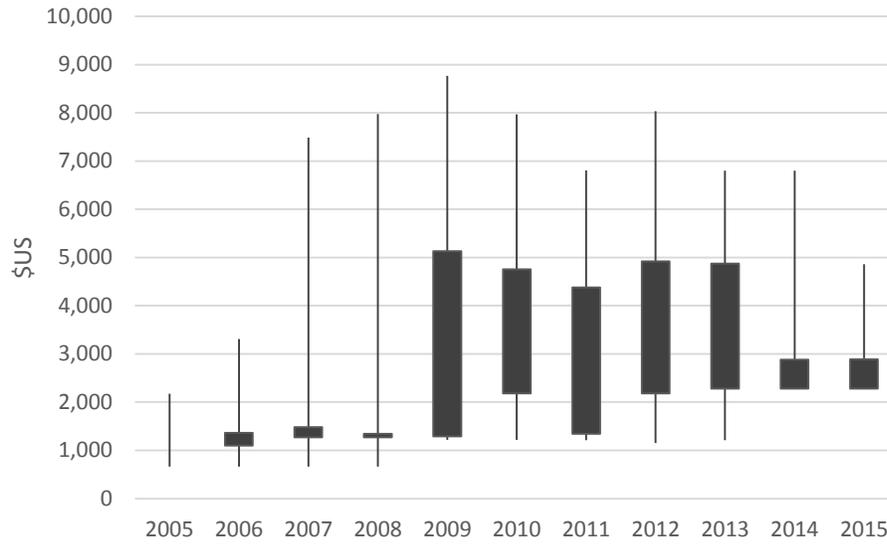
Fuente: Cochilco en base a datos de exportaciones de Legal Publishing

Con respecto a los precios FOB de venta en Chile, se puede observar (Figura 3-12) que estos son más bajos que los precios spot observados en el mercado internacional. Esto se debe a que la mayor parte del renio se comercializa en contratos de largo plazo, los cuales definen los precios de ante mano y no se ven afectados con las fluctuaciones de precio de corto plazo. Sin embargo, se aprecian tendencias al alza que coinciden con los períodos de precios altos en el mercado spot (con un desfase de dos años), junto con tendencias a la baja que a su vez coinciden con los períodos de bajos precios.

La Figura 3-12 muestra los cuartiles del precio FOB de venta del renio metálico donde se incluyen todos los países a los que se les vendió renio metálico en un determinado año. Para cada año se muestra el rango de precio al que se vendió el renio, es decir, diferencia entre el máximo y el mínimo (línea delgada), junto con la diferencia entre el primer y tercer cuartil de precios (barra ancha), el cual representa mejor la tendencia central del precio de venta del renio de un determinado año.



Figura 3-12: Precio FOB renio metálico Chile 2005-2015



Fuente: Cochilco en base a datos de exportaciones de Legal Publishing

Con respecto a la producción secundaria de renio, cabe destacar que en Chile no se produce renio a partir de reciclaje, sino que solo de su fuente primaria, es decir, como subproducto del proceso de tostación de la molibdenita. Tampoco se espera que la filial de Codelco, Molyb, realice actividades de reciclaje.



4 Comentarios finales

Las principales reservas de renio se asocian a las zonas en que el molibdeno se obtiene como subproducto de la minería del cobre. Entre ellos destacan la zona de Chile-Perú, Norteamérica y algunos países del ex bloque soviético, principalmente Rusia, Kazajistán y Armenia. Tal concentración geográfica se ve acentuada por la capacidad instalada de producción, la cual radica principalmente en la empresa chilena Molybmet en occidente. Por otro lado, la demanda también se encuentra acotada a pocos agentes, principalmente tres empresas de la industria aeronáutica para la elaboración de superaleaciones. En términos de precios, la mayor parte de la comercialización de los productos de renio se realiza entre los grandes actores de la industria, en contratos de precios fijados que pueden ser de 5 o 10 años, dada la relativa incapacidad de sustitución de este insumo. El resto de la producción, que era posible transarla en el mercado spot, alcanzó precios históricos durante el 2008, impulsado por la demanda de las refinerías de petróleo.

A pesar de que los últimos 15 años el precio del renio ha sufrido grandes fluctuaciones, actualmente, tanto los precios spot como los de contratos de largo plazo se han estabilizado en torno a los 2.500-3.000 \$US/kg. Esto se debe, en gran medida, a que las industrias que consumen renio han desarrollado mejores tecnologías de reciclaje, lo que les permite tener mayor control de su abastecimiento de renio, y a la vez del precio.

Si bien, en un principio no se espera que la producción de renio aumente con la entrada de Molyb, se debe tener en cuenta que Molybmet, en un futuro, puede abastecerse con otros proveedores y reestablecer sus niveles de producción. Por otro lado, Codelco espera aumentar su producción, lo que generaría mayor cantidad de molibdenita rica en renio, la cual, si no se procesa en Molyb, se procesará en Molybmet.

En términos de perspectivas de producción en Chile, Codelco comenzaría a participar del mercado del renio a través de Molyb, que se abastecerá de molibdenita proveniente de sus propias faenas. Esto le otorga seguridad frente a sus futuros clientes, lo cual podría facilitar la elaboración de los contratos a largo plazo.

Por último, el renio, al ser un subproducto del proceso de tostación de la molibdenita, es un buen ejemplo de aprovechamiento de elementos contenidos en el material extraído de la actividad minera. Es sabido que los concentrados de cobre contienen otros metales, tales como tierras raras, que, al igual que el renio, se encuentran en bajas cantidades. Si se desarrollara la tecnología necesaria para extraerlos de manera económicamente viable, dichos compuestos podrían ser aprovechados para su comercialización, agregándole valor a los concentrados y quitándole toxicidad a las escorias y a los gases emanados del proceso de fundición.



5 Referencias

- Abisheva, Z.S., A.N. Zagorodnyaya, y N.S. Bekturganov. «Review of technologies for rhenium recovery from mineral raw materials in Kazakhstan.» *Hydrometallurgy*, 2011: 1-8.
- Andreson, CD, PR Taylor, y CG Andreson. «Extractive metallurgy of rhenium: a review.» *Minerals & metallurgical processing*, 2013: 59-73.
- BBC. *BBC News*. Agosto de 2016. <http://www.bbc.com/news/business-37212009> (último acceso: Septiembre de 2016).
- CNBC news. *CNBC*. Noviembre de 2015. <http://www.cnbc.com/2015/11/09/is-chinas-first-plane-a-real-threat-to-boeing-and-airbus.html> (último acceso: Septiembre de 2016).
- Codelco. *Moly Corporativo*. 2013. https://www.codelco.com/moly-corporativo/prontus_codelco/2013-11-26/162101.html (último acceso: 2016).
- Codelco. «Renio Antecedentes de Mercado y Perspectivas.» Informe en base a informe Roskill, 2011.
- Echeverría, C, y otros. «The paramagnetic and luminescent [Re₆Se₈I₆]³⁻ cluster. Its potential use as an antitumoral and biomarker agent.» *New Journal of Chemistry*, 2012: 927-932.
- El Mercurio. *Científicos chilenos descubren que un mineral detecta el cáncer*. Enero de 2012. <http://diario.elmercurio.com/detalle/index.asp?id={202fb5a8-7ffd-4796-8ead-0b2c5fdab266}> (último acceso: Noviembre de 2015).
- Elementos.org. *Elementos de la tabla periódica y sus propiedades: Renio*. 2015. <http://elementos.org.es/renio> (último acceso: 2015).
- European Comission. «Critical Raw Materials for the EU.» *DG Growth*. Mayo de 2014. <http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/10011/attachments/1/translations/en/renditions/pdf> (último acceso: Enero de 2016).
- JLab organization. *The Periodic Table of Elements: The element Rhenium*. 2015. <http://education.jlab.org/itselemental/ele075.html> (último acceso: 2015).
- Lipmann, Anthony. *How to reach a fair price for Rhenium?* reporte, UK: Lipmann Walton & co, 2012.
- Molymet. *Estados Financieros Consolidados Intermedios*. Estados Financieros Consolidados, Molibdeno y Metales S.A. y Filiales, 2015.

- MOLYMET. *Resultados al cierre del año 2015*. Press Release, Santiago: Molibdenos y Metales S.A., 2016.
- Petrova, Anna M, y Alexander G Kasikov. *Rhenium recovery from secondary raw materials*. Reporte, Apatity, Rusia: KSCRAS, 2014.
- Platts. «Platts: McGraw Hill Financial.» *Secondary rhenium supply growth to cater for new demand: Roskill*. Julio de 2015. <http://www.platts.com/latest-news/metals/london/secondary-rhenium-supply-growth-to-cater-for-26137470> (último acceso: Enero de 2016).
- PR Newswire. *Roskill Publishes its new Market Outlook for Rhenium; Forecasts That Rising Demand for Rhenium in Aero Engines Will Likely be Satisfied by Increasing Supply of Secondary Rhenium Contained in 'Engine Revert' Produced From End-of-life Gas Turbine Parts*. Julio de 2015. <http://www.prnewswire.com/news-releases/roskill-publishes-its-new-market-outlook-for-rhenium-forecasts-that-rising-demand-for-rhenium-in-aero-engines-will-likely-be-satisfied-by-increasing-supply-of-secondary-rhenium-contained-in-engine-revert-produced-fr> (último acceso: Noviembre de 2015).
- Roskill. «Rhenium: Market Outlook to 2020, 10th Edition, 2015.» Junio de 2015. <https://roskill.com/product/rhenium-market-outlook-to-2020-10th-edition-2015/> (último acceso: Noviembre de 2015).
- Royal Society of Chemistry. *Periodic Table: Rhenium*. 2015. <http://www.rsc.org/periodic-table/element/75/rhenium> (último acceso: 2015).
- Tradium. «El Renio: La creciente demanda deja esperar un impulso para el precio.» Frankfurt: Boletín informativo, 2012.
- U.S. Geological Survey. *Rhenium- A Rare Metal Critical to Modern Transportation*. Report, Reston: U.S. Department of Interior, 2015.
- USGS. «2013 minerals Yearbook: Rhenium [Advance Release].» Advance Release, 2015.
- USGS. *Rhenium Statistics*. Data sheet, U.S. Geological Survey, 2015.
- Vulcan, Tom. «Hard Asset Investor.» *Rare metal Rhenium's toughness under heat & pressure key attraction as super-alloy & turbine material*. Abril de 2013. <http://www.hardassetsinvestor.com/features/4666-rare-metal-rheniums-toughness-under-heat-a-pressure-key-attraction-as-super-alloy-a-turbine-material.html?showall=&fullart=1&start=4> (último acceso: Enero de 2016).



Este trabajo fue elaborado en la
Dirección de Estudios y Políticas Públicas por

Constanza Kutscher Monckeberg

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Emilio Castillo Dintrans

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Jorge Cantallopts Araya

Director de Estudios y Políticas Públicas

Septiembre/ 2016

