



Coltán

Caracterización y análisis de mercado internacional de minerales en el corto, mediano, y largo plazo con vigencia al año 2035

Final 21 de diciembre de 2018

CRU Consulting



Contrato #: C-378359-003-2018

Este informe se entrega en forma privada y confidencial al cliente. No deberá ser divulgado, parcial o en su totalidad, directa o indirectamente, o en cualquier otro formato a cualquier otra empresa, organización o individuo sin el permiso por escrito de CRU Internacional Limited.

Se otorga permiso para la divulgación de este informe a las subsidiarias con propiedad mayoritaria y a sus organizaciones principales. Sin embargo, cuando el informe sea entregado a un cliente en su capacidad de gerente de una empresa o asociación conjunta, no se podrá divulgar a los otros participantes sin el permiso previo.

La responsabilidad de CRU Internacional Limited es solo con su cliente objetivo. Su responsabilidad se limita al valor efectivamente pagado por los servicios profesionales involucrados en la preparación de este informe. No aceptamos responsabilidad de terceras partes, sin importar su origen. Aunque se han adoptado cuidados y diligencias razonables para la preparación de este informe, no garantizamos la exactitud de los datos, suposiciones, proyecciones y otras declaraciones a futuro.

Copyright CRU International Limited 2017. Todos los derechos reservados.

Augusto Leguía Norte N.º 100 Of. 506, Las Condes, Santiago, Chile
Fono: +56 2 2231 3900

Tabla de contenidos

1. Mercado del coltán	1
Resumen ejecutivo de la industria del niobio	2
Resumen ejecutivo de la industria del tantalio.....	3
Introducción	4
1.1. Demanda de niobio	4
1.1.1. Determinantes de la demanda de niobio y usos finales	4
1.1.2. Intensidad de uso & el ciclo de desarrollo del niobio.....	6
1.1.3. Sustitución y elasticidad de la demanda de niobio.....	7
1.1.4. Demanda histórica de niobio	8
1.1.5. Proyeccion de demanda de niobio.....	10
1.2. Demanda de tantalio	13
1.2.1. Determinantes de la demanda de tantalio y usos finales	13
1.2.2. Intensidad de uso & el ciclo de desarrollo del tantalio.....	15
1.2.3. Sustitución y elasticidad de demanda de tantalio	15
1.2.4. Demanda histórica de tantalio	16
1.2.5. Proyeccion de demanda de tantalio.....	18
1.3. Oferta de niobio y tantalio.....	21
1.3.1. Recursos y reservas de tantalio y niobio: evolución, tasas de descubrimiento, presupuesto de exploracion	21
1.3.2. Métodos de extracción y procesamiento de niobio y tantalio	25
1.3.3. Cadena de valor del coltán.....	26
1.3.4. Costo de capital de niobio y tantalio	27
1.3.5. Comercialización de niobio.....	28
Importaciones y exportaciones por país.....	28
1.3.6. Comercialización de tantalio.....	30
1.3.7. Produccion histórica del niobio	32
1.3.8. Proyección de producción de niobio	33
1.3.9. Producción histórica de tantalio	36
1.3.10. Proyección de producción de tantalio	37
1.4. Balance de mercado y precio de niobio & tantalio	41
1.4.1. Descripción de la estructura y mecanismos de precio del niobio & tantalio	41
1.4.2. Balance de mercado y precio histórico del niobio	41
1.4.3. Pronóstico de balance de mercado y precio del niobio	42
1.4.4. Balance de mercado y precio histórico del tantalio	45

1.4.5. Pronóstico de balance de mercado y precio del tantalio	46
1.5. Análisis de las cinco fuerzas de Porter para el niobio y el tantalio	50
Anexo I. Glosario	52
Anexo II. Bibliografía	53

Índice de Tablas

Tabla 1 Análisis de la elasticidad de la demanda, niobio	8
Tabla 2 Consumo histórico de niobio, 2008-2017 (t de Nb)	9
Tabla 3 Proyección de la demanda de niobio, 2018-2035 (t de Nb)	11
Tabla 4 Demanda en escenario Continuidad vs. Coexistencia para niobio (t)	12
Tabla 5 Demanda en escenario Continuidad vs. Divergencia para niobio (t)	13
Tabla 6 Análisis de la elasticidad de la demanda, tantalio	16
Tabla 7 Consumo histórico de tantalio, 2008-2017 (t de Ta)	17
Tabla 8 Proyección de la demanda de tantalio, 2018-2035 (t de Ta)	19
Tabla 9 Demanda en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tantalio (t)	20
Tabla 10 Demanda en escenario Continuidad vs. Divergencia para tantalio (t)	21
Tabla 11 Reservas de niobio, 2008-2017 ('000 t de Nb contenido)	22
Tabla 12 Reservas de tantalio, 2008-2017 (t de Ta contenido)	24
Tabla 13 Importaciones de FeNb, 2008-2017 (t de FeNb)	29
Tabla 14 Exportaciones de FeNb, 2008-2017 (t de FeNb)	30
Tabla 15 Importaciones de tantalio, 2008-2017 (t de Ta)	31
Tabla 16 Exportaciones de tantalio, 2008-2017 (t de Ta)	32
Tabla 17 Producción histórica de niobio, 2008-2017 (t de Nb)	33
Tabla 18 Proyección de producción de niobio, 2018-2035 (t de Nb)	34
Tabla 19 Oferta en escenario Continuidad vs. Coexistencia para niobio (t)	35
Tabla 20 Oferta en escenario Continuidad vs. Divergencia para niobio (t)	36
Tabla 21 Producción histórica de tantalio, 2008-2017 (t de Ta)	37
Tabla 22 Proyección de la producción de tantalio , 2018-2035 (t de Ta)	38
Tabla 23 Oferta en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tantalio (t)	40
Tabla 24 Oferta en escenario Continuidad vs. Divergencia para tantalio (t)	41
Tabla 25 Balance histórico del mercado y precios del niobio, 2008-2017	42
Tabla 26 Proyección de balance de mercado de niobio, 2018-2035 (t de Nb)	43
Tabla 27 Proyección de precio del niobio, 2018-2035 (t de Nb)	43

Tabla 28 Precios en escenario Continuidad vs. Coexistencia para FeNb (2017 US\$/kg)	44
Tabla 29 Precios en escenario Continuidad vs. Divergencia para FeNb (2017 US\$/kg)	45
Tabla 30 Balance histórico del mercado y precios del tantalio, 2008-2017	46
Tabla 31 Proyección del balance del mercado de tantalio, 2018-2035 (t)	47
Tabla 32 Proyección del balance del mercado de tantalio, 2018-2035	48
Tabla 33 Precios en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tantalio (2017 US\$/lb)	49
Tabla 34 Precios en escenario Continuidad vs. Divergencia para tantalio (2017 US\$/lb)	50

Índice de Cifras

Figura 1 Porcentaje de consume de FeNb por país, 2017	5
Figura 2 Porcentaje de consume de Nb según producto, 2017	5
Figura 3 Intensidad de uso de Nb desde FeNb (t de Nb en FeNb)	6
Figura 4 Consumo histórico de niobio, 2008-2017 (t de Nb)	9
Figura 5 Proyección de la demanda de niobio, 2018-2035 (t de Nb)	11
Figura 6 Demanda en escenario Continuidad vs. Coexistencia para niobio (t)	12
Figura 7 Demanda en escenario Continuidad vs. Divergencia para niobio (t)	13
Figura 8 Porcentaje de consumo de tantalio por región, 2017	14
Figura 9 Porcentaje de consumo de tantalio por uso final, 2017	14
Figura 10 Demanda en escenario Continuidad vs. Divergencia para niobio (t)	15
Figura 11 Consumo histórico de tantalio, 2008-2017 (t de Ta)	17
Figura 12 Proyección de la demanda de tantalio, 2018-2035 (t de Ta)	18
Figura 13 Demanda en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tantalio (t)	19
Figura 14 Demanda en escenario Continuidad vs. Divergencia para tantalio (t)	20
Figura 15 Reservas de niobio 2017 (t de Nb contenido)	23
Figura 16 Reservas de tantalio, 2017 (t de Ta contenido)	24
Figura 17 Presupuestos de exploración del coltán, 2008-2035 (MUS\$, real 2017)	25
Figura 18 Método de procesamiento de pirocloro y tantalita	26
Figura 19 Cadena de valor del Nb & Ta	27
Figura 20 Importaciones de FeNb, 2017	29
Figura 21 Exportaciones de FeNb, 2017	29
Figura 22 Importaciones de tantalio, 2017	31
Figura 23 Exportaciones de tantalio, 2017	31
Figura 24 Producción histórica de niobio, 2008-2017 (t de Nb)	32

Figura 25	Proyección de producción de niobio, 2018-2035 (t de Nb)	33
Figura 26	Oferta en escenario Continuidad vs. Coexistencia para niobio (t)	34
Figura 27	Oferta en escenario Continuidad vs. Divergencia para niobio (t)	35
Figura 28	Producción histórica de tantalio, 2008-2017 (t de Ta)	37
Figura 29	Proyección de la producción de tantalio , 2018-2035 (t de Ta)	38
Figura 30	Oferta en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tantalio (t)	39
Figura 31	Oferta en escenario Continuidad vs. Divergencia para tantalio (t)	40
Figura 32	Balance histórico del mercado y precios del niobio, 2008-2017	42
Figura 33	Proyección de balance de mercado y precio de niobio, 2018-2035 (t de Nb)	43
Figura 34	Precios en escenario Continuidad vs. Coexistencia para FeNb (2017 US\$/kg)	44
Figura 35	Precios en escenario Continuidad vs. Divergencia para FeNb (2017 US\$/kg)	45
Figura 36	Balance histórico de mercado y precios del tantalio, 2008-2017	46
Figura 37	Proyección del balance del mercado y precios del tantalio, 2018-2035	47
Figura 38	Precios en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tantalio (2017 US\$/lb)	48
Figura 39	Precios en escenario Continuidad vs. Divergencia para tantalio (2017 US\$/lb)	49
Figura 40	Modelo de las cinco fuerzas de Porter para el niobio y el tantalio	50

1. Mercado del coltán

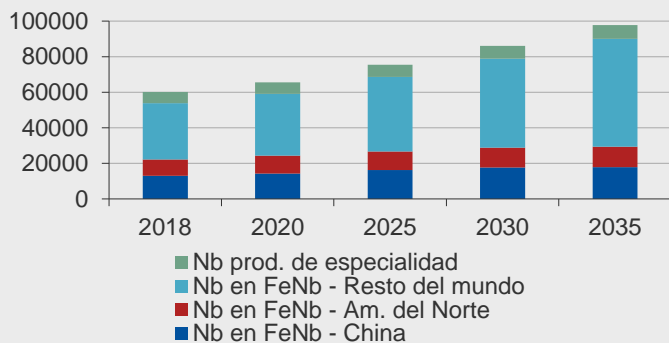
Coltán es el nombre dado al grupo más común de minerales que contienen tantalio y niobio. El niobio también es conocido como *columbio* y este nombre a menudo aparece en la literatura relacionada con el tantalio y el niobio. En términos de mineralogía, “coltán” es una serie de minerales continuos entre la *columbita* que contiene alrededor de 78% de niobio y tantalio insignificante, y *tantalita* con niobio insignificante pero alrededor de 86% tantalio. Este reporte se enfoca en el mercado para el tantalio y el niobio ya que estos son los mercados finales para las diferentes leyes del coltán. Ambos metales se consideran metales de alta tecnología y este reporte cubre sus aplicaciones claves.

Las características de mercado para el niobio y el tantalio son bastante diferentes por lo que estos dos metales son analizados por separado. Asimismo, estos dos metales tienen componentes altamente tecnológicos, la mayoría de los cuales están patentados. Por lo tanto, la información detallada acerca de las aplicaciones de uso final, precios, *stock* de material y comercialización no están tan disponibles como para muchos otros metales. Detalles sobre la oferta y consumo de cada metal en el pasado han sido escasos.

Finalmente, se debe considerar que las fuentes de tantalio y niobio no están restringidas al coltán. Otro mineral, la wodginita (nombre originado a partir de la mina de tantalio australiana, Wodgina) es una fuente importante de tantalio, pero también contiene alrededor de un 8% de niobio. De manera similar, el pirocloro (que se encuentra en Brasil y Canadá) es el mineral de mayor importancia económica para producir niobio.

Resumen ejecutivo de la industria del niobio

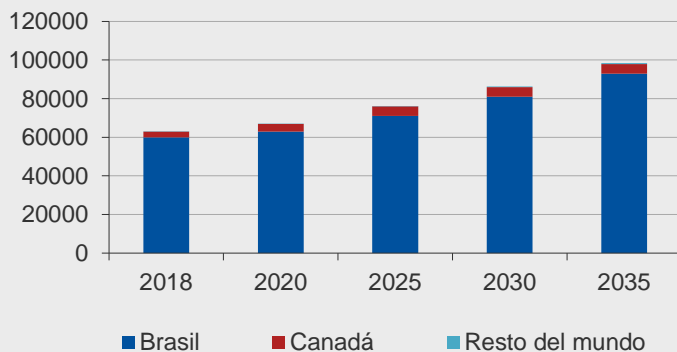
Proyección de la demanda de Nb (t de Nb contenido)



DEMANDA

1. El uso principal del niobio es en la producción de ferroniobio (FeNb), que es un ingrediente esencial de los aceros HSLA o aceros de alta resistencia y bajas aleaciones.
2. Más del 90% del niobio consumido se consume en forma de ferroniobio. Las principales regiones de consumo de ferroniobio son las regiones siderúrgicas establecidas como América del Norte y China.
3. El pronóstico de demanda del Nb está basado en pronósticos de largo plazo de producción de acero. La intensidad del uso de ferroniobio varía de acuerdo con los países, con un aumento gradual en la intensidad de uso a nivel mundial.

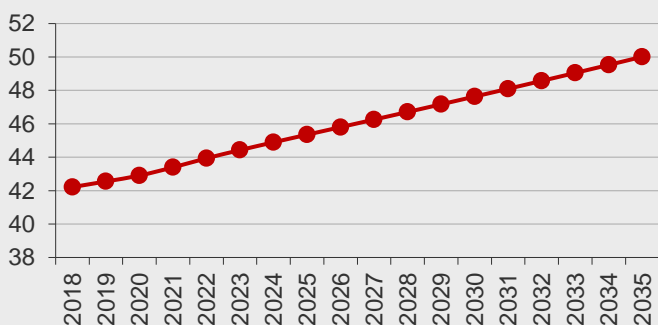
Proyección de la producción de Nb (t de Nb)



OFERTA

1. La cadena de producción desde el mineral hasta el producto refinado o producto especializado está casi completamente integrada y dominada: CBMM, en Brasil.
2. Este productor maneja el mercado, manteniendo la producción necesaria para que los precios sean estables.
3. Proyectando las expansiones planificadas de esta empresa y otros pocos actores involucrados en el mercado, se espera que la producción de niobio rondee los 100.000 toneladas en 2035.

Proyección de precio FeNb (2017 US\$/kg)

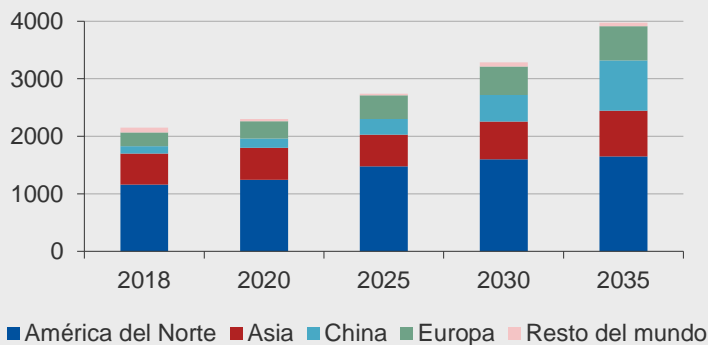


PRECIO

1. Históricamente, el precio del ferroniobio se ha mantenido estable a través del control de ventas por contrato por el productor mayoritario, CBMM.
2. CBMM ha mantenido el precio estable para mantener la demanda a niveles específicos, evitando las fluctuaciones en los volúmenes de venta.
3. Hacia adelante se espera que CBMM mantenga el control sobre la oferta y el precio.
4. Con esto en mente, esperamos que esta empresa mantenga su política actual de un precio estable con ajustes inflacionarios de alrededor de un 3% p.a.

Resumen ejecutivo de la industria del tantalio

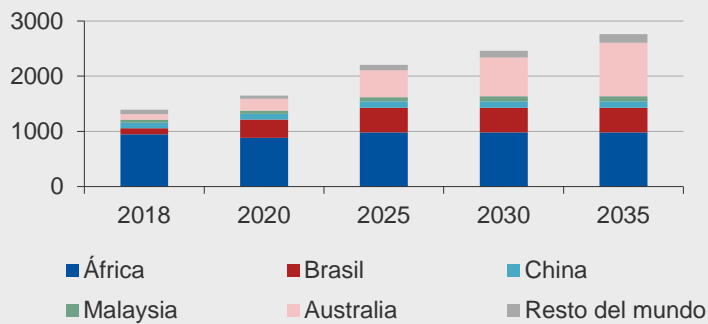
Proyección de la demanda de tantalio (t de Ta)



DEMANDA

1. El principal producto comercializable de tantalio es el polvo de tantalio, producido a partir de concentrados que contienen pentóxido de tantalio (Ta_2O_5). Este polvo se usa para producir alambres y láminas de tantalio, que luego son utilizados en la fabricación de condensadores y productos metalúrgicos.
2. En base a información histórica e indicadores actuales de la industria, CRU estima que el consumo de tantalio en condensadores no continuará creciendo tan rápido como lo ha hecho históricamente.
3. América del Norte se mantendrá como el consumidor principal, seguido con China que aparecerá como un actor más importante en el mercado.
4. Se pronostica un alza en la demanda de tantalio de 2.100 toneladas en 2017 a cerca de 4.000 toneladas en el año 2035.

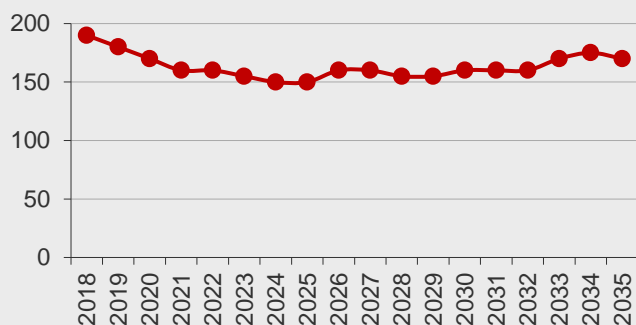
Proyección de la producción de Ta en concentrado (t de Ta)



OFERTA

1. Parte importante de la producción futura de tantalio continuará viniendo de África.
2. Se espera que se produzca un monto significativo de tantalio en forma de subproductos a partir de proyectos de litio de roca dura, particularmente en Australia.
3. La alta demanda por litio y su rápido crecimiento será clave para la oferta de tantalio en los próximos años.

Proyección de precio de Ta_2O_5 (2017 US\$/lb)



PRECIO

1. Históricamente, la producción de tantalio ha satisfecho la demanda consistentemente, incluso con excedentes.
2. Hacia adelante, el aumento en la oferta por la extracción de litio plantea un panorama de excedentes consistente.
3. Los precios podrían caer de los niveles de precios actuales de US\$190/lb Ta_2O_5 hasta US\$150/lb Ta_2O_5 .

Introducción

Este reporte es parte del estudio “Caracterización y análisis de mercado internacional de minerales en el corto, mediano, y largo plazo con vigencia al año 2035” preparado por CRU para la Unidad de Planeación Minero Energética. Como tal, debe ser leído teniendo en consideración la información y el contexto entregados en los documentos complementarios “Metodología y plan de trabajo detallado” y “Análisis de escenarios”:

- El documento “Metodología y plan de trabajo detallado” explica en detalle la metodología utilizada para obtener tanto los datos históricos como proyectados de demanda, oferta y precio.
- El documento “Análisis de escenarios” presenta los tres escenarios bajo los cuales se llevan a cabo las proyecciones de demanda, oferta y precio de cada *commodity* en el estudio. Explica las principales fuerzas detrás de cada escenario y cómo estas son llevadas a supuestos numéricos claros y específicos que permiten modelar los escenarios de manera consistente a través de todos los *commodities* cubiertos.

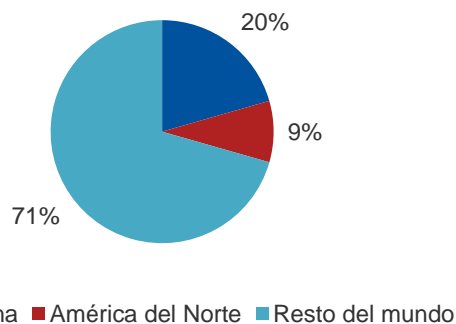
1.1. Demanda de niobio

1.1.1. Determinantes de la demanda de niobio y usos finales

El uso principal del niobio es en la producción de ferroniobio (FeNb), que es un ingrediente esencial de los aceros HSLA usados en la producción de las carrocerías de vehículos, cascos de los barcos, gaseoductos y oleoductos. El ferroniobio de alta pureza se usa en la producción de superaleaciones para aplicaciones aeroespaciales. En 2017, más del 90% del niobio consumido se consumió en forma de ferroniobio, con la fracción restante siendo consumido en productos de especialidad. Al mismo tiempo, aproximadamente un 75% del ferroniobio se usa en aceros HSLA y un 25% en superaleaciones.

Figura 1 Porcentaje de consume de FeNb por país, 2017

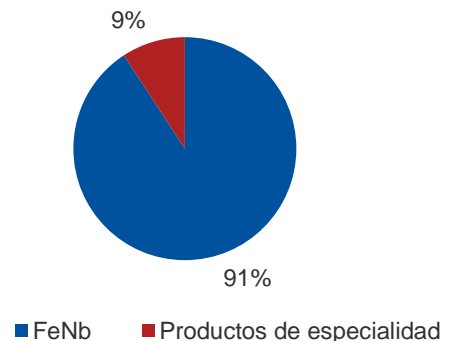
Demanda total: 63.013 t de Nb



Fuente: TIC, USGS, CRU

Figura 2 Porcentaje de consume de Nb según producto, 2017

Demanda total: 69.413 t de Nb



Fuente: TIC, USGS, CRU

Las principales regiones de consumo de ferroniobio son las regiones siderúrgicas establecidas como Europa Occidental, EEUU, Japón y Corea del Sur. China se convirtió en el mayor importador de ferroniobio en el año 2008. Otras naciones emergentes en el acero tales como Rusia, India, México y Turquía e incluso Arabia Saudita e Irán están ahora comenzado a importar ferroniobio debido al aumento de su producción de aceros HSLA.

El 9% de la demanda de niobio que no se consume en forma de ferroniobio se usa en niobio químico (incluyendo carburos), ferroniobo de alta pureza, productos de metal de niobio y aleaciones de niobio.

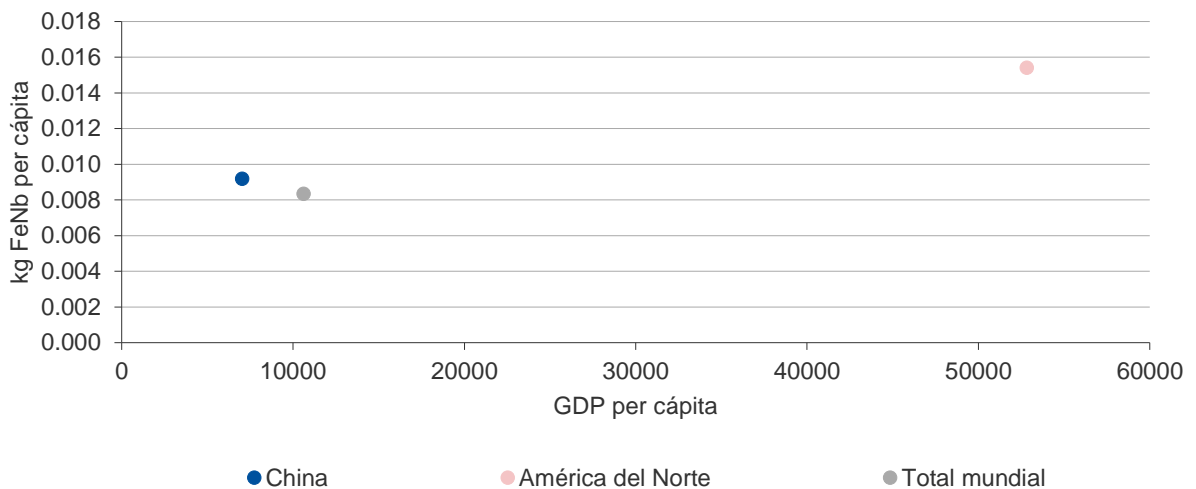
Los químicos niobio se usan en cerámicas y revestimiento de vidrio para lentes de cámaras y gafas. Los carburos de niobio son extremadamente duros y se usan en la fabricación de carburos cementados para herramientas de corte. Otros metales que se usan para producir aleaciones de niobio incluyen circonio, titanio y estaño. Estas aleaciones son extremadamente resistentes a la corrosión y se usan para procesos de producción de equipamiento y tuberías. El estaño y titanio aleado con niobio puede ser usado para imanes súper-conductores tales como aquellos usados en los equipos de imagenología médicos.

En términos de ubicación geográfica, la mayor parte de la demanda de compuestos de niobio especializado está en las plantas de producción de alta tecnología en EEUU, Europa Occidental y Japón, donde compañías particulares han desarrollado tecnología patentada. Algunas de estas actividades también se han desarrollado en China a medida que el país se comenzó a involucrar en la producción de alta tecnología.

1.1.2. Intensidad de uso & el ciclo de desarrollo del niobio

Los datos disponibles para producir estimaciones sobre la intensidad del uso del niobio están restringida al uso de ferroniobio. Cantidades muy pequeñas de niobio cambian la estructura granular del acero y aumenta su resistencia. En general, el consumo global de ferroniobio sigue la producción de acero, y por lo tanto ha incrementado significativamente a medida que la producción de acero en China se ha expandido en las últimas dos décadas.

Figura 3 Intensidad de uso de Nb desde FeNb (t de Nb en FeNb)



Fuente: TIC, USGS, CRU

El consumo global de ferroniobio en la producción de acero es de un promedio de 70-80 gramos por tonelada. Entrando en más detalle, el consumo de ferroniobio varía considerablemente dependiendo del país. Los dos más grandes exportadores de ferroniobio (sin incluir Holanda) son China y EEUU, estos países muestran patrones de consumo notablemente diferentes que reflejan la naturaleza de su industria siderúrgica. Los EEUU tienen una intensidad de uso de un promedio de 144 gramos por tonelada de acero en los últimos 4 años mientras que China tiene un promedio de intensidad de uso de solo 25 gramos por tonelada en el mismo periodo.

Esto indica la naturaleza emergente de la industria del acero en China en términos de tipos de acero que se producen, así como también el hecho que EEUU es el más importante productor de superaleaciones que usa ferroniobio. En el presente China tiene una industria de superaleación muy pequeña en comparación.

Esta intensidad de uso señala que el mercado de ferroniobio puede expandirse significativamente en el futuro cuando los países emergentes produzcan más acero HSLA, así

como también con el aumento en la producción de súper aleaciones para motores aeronáuticos y equipos generadores.

1.1.3. Sustitución y elasticidad de la demanda de niobio

Sustitución

Las posibilidades para la sustitución del niobio y del ferroniobio son muy pequeñas. Sin embargo, el vanadio puede usarse como una alternativa en algunos aceros.

En general, el niobio es un metal altamente tecnológico y ha sido desarrollado para varias aplicaciones específicas de alto valor. Las dos razones frecuentes para su sustitución, seguridad de suministro y precio, han sido muy estables desde el año 2000. Por lo tanto, hoy hay muy poco incentivo o fundamentos para desarrollar materiales alternativos.

Elasticidad

CRU considera que la elasticidad precio de la demanda para la mayoría de los minerales bajo análisis es cero o casi cero en el corto plazo y, en muchos casos, también en el largo plazo.

La razón crucial para esta afirmación es que dichos minerales (*commodities*) no son consumidos como bienes finales, sino que sirven como insumos para la producción de bienes finales o en bienes de capital. Como tal, debemos tener en cuenta que la demanda de estos *commodities* es una demanda derivada.

De esta manera, los argumentos esgrimidos por Lord Alfred Marshall en el libro de texto de economía "Principios de la economía" (donde se presentó por primera vez el concepto de elasticidad precio de la demanda) continúan aplicándose. Sus argumentos implicaban que la elasticidad precio de la demanda de un insumo (es decir, la elasticidad precio de la demanda derivada) sería menor si se cumple alguno de los siguientes puntos:

1. Si ese insumo o un producto intermedio derivada de él se utiliza como complemento (y no como sustituto) para producir el bien final (baja sustituibilidad)
2. La participación del insumo en el bien o servicio final es pequeña (participación de bajo valor)
3. En caso de tener sustitutos, si esos sustitutos tienen una oferta fija/rígida (baja elasticidad de la oferta de sustitutos)
4. Si la elasticidad de la demanda del bien o servicio final es baja (baja elasticidad precio final)

Para la mayoría de los 27 minerales bajo estudio, aplican una o más de estas situaciones. Por lo tanto, siguiendo los argumentos de Lord Marshall es posible concluir que la elasticidad precio de la demanda de estos productos es baja (típicamente, cercana a cero).

En la práctica, la implicancia es que para observar una destrucción significativa de la demanda de un mineral (10% o más) se necesitaría un diferencial de precios muy alto (al menos del doble del valor promedio) sobre el valor de el/los sustituto/s y que ese diferencial se mantenga durante diez o más años. En otras palabras, CRU opina que la elasticidad precio de la demanda a largo plazo no debe ser más del 10%. Asimismo, una elasticidad <10% generaría diferencias insignificantes con cualquier cálculo basado en una elasticidad precio de la demanda igual a cero.

En el caso específico del niobio, los cuatro factores de análisis de la teoría marshalliana se comportan de la siguiente manera:

Tabla 1 Análisis de la elasticidad de la demanda, niobio

Factor de análisis	Características específicas del Cobalto
Usos principales	Aceros HSLA
Baja sustituibilidad	Sí
Participación de bajo valor	Sí
Baja elasticidad de la oferta de sustitutos	Sí
Baja elasticidad precio final	Sí

Fuente: CRU

1.1.4. Demanda histórica de niobio

Principales consumidores por actividad económica en los últimos diez años

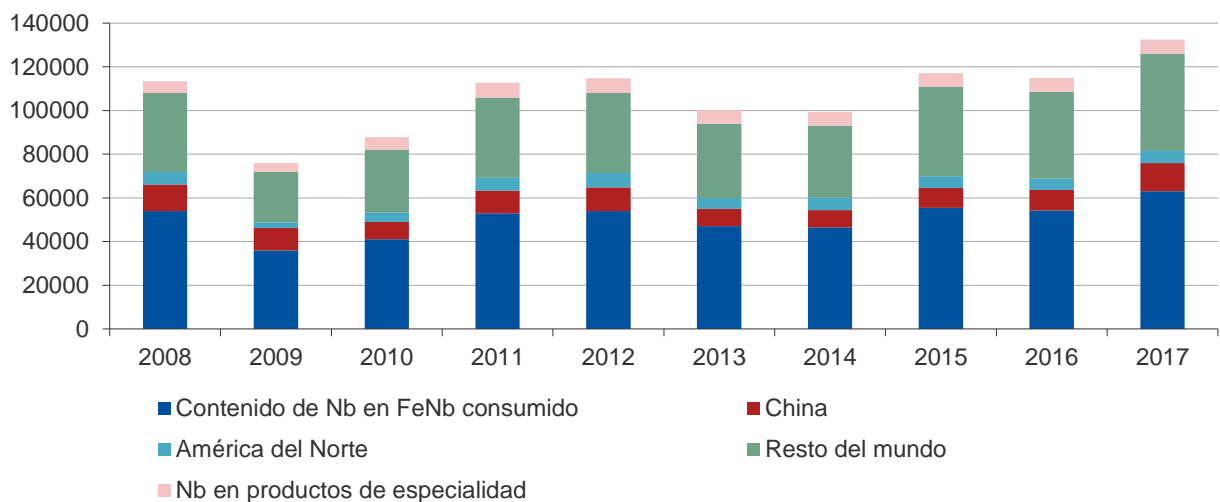
Tal como se plantea en la sección “Determinantes de la demanda de niobio y usos finales” de este reporte, el principal *driver* de la demanda de niobio es la producción de acero, específicamente de aceros especializados. Este ha sido históricamente el principal uso del niobio, aumentando la demanda por el metal a medida que la demanda de acero ha crecido.

Principales países y/o regiones consumidoras de aluminio

En esta sección se presentan los principales países y/o regiones consumidoras de niobio en los últimos 10 años. Dada la naturaleza global del consumo de *commodities*, se analizan los países y/o regiones que son efectivamente relevantes para el estudio y entendimiento del mercado a analizar, con un enfoque en distinguir y separar países y/o regiones cuyo comportamiento futuro pueda impactar el mercado.

La demanda de niobio ha crecido un 7% p.a. en los últimos 4 años como resultado del aumento de la demanda de ferroniobio. La producción de acero mundial no ha crecido con tanta rapidez y la producción de acero en EEUU, el segundo más grande consumidor de ferroniobio, ha disminuido en este periodo, por lo que claramente la razón del aumento en la demanda es el aumento en la intensidad de uso la que ha ocurrido globalmente y también en EEUU. En China ha habido pocos cambios, aunque las cifras de intensidad para 2017 muestran un aumento significativo.

Figura 4 Consumo histórico de niobio, 2008-2017 (t de Nb)



Fuente: TIC, USGS, CRU

Tabla 2 Consumo histórico de niobio, 2008-2017 (t de Nb)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
Contenido de Nb en FeNb consumido	54.000	36.000	41.000	53.000	54.000	47.000	46.500	55.448	54.296	63.013	1,7%
China	12.060	10.161	8.035	10.274	10.776	7.941	7.899	8.981	9.315	12.947	0,8%
América del Norte	5.753	2.639	4.340	5.975	6.543	4.985	5.740	5.463	5.208	5.595	-0,3%
Resto del mundo	36.187	23.200	28.626	36.751	36.681	34.074	32.861	41.004	39.773	44.471	2,3%
Nb en productos de especialidad	5.400	3.900	5.800	6.700	6.800	6.100	6.400	6.200	6.300	6.400	1,9%
Total Mundial	59.400	39.900	46.800	59.700	60.800	53.100	52.900	61.648	60.596	69.413	1,7%
% cambio anual		-32,8%	17,3%	27,6%	1,8%	-12,7%	-0,4%	16,5%	-1,7%	14,6%	

Fuente: TIC, USGS, CRU

1.1.5. Proyección de demanda de niobio

Escenario 1 – Continuidad

Nuestro pronóstico de la demanda para niobio está basado en el pronóstico de largo plazo de producción de acero para 2035.

La intensidad del uso de ferroniobio varía de acuerdo con los países, con un aumento gradual en la intensidad de uso a nivel mundial. Como se explicó anteriormente, los volúmenes de ferroniobio consumidos pueden correlacionarse con el volumen de producción de acero, existiendo una variación regional significativa en la intensidad de uso que refleja la naturaleza de la siderúrgica de cada país. La intensidad de uso más alta se encuentra en Norte América donde la industria de la producción de acero está más centrada en aceros HSLA y superaleaciones. Sin embargo, debemos considerar que China, el más grande productor de acero, tiene la menor intensidad de uso.

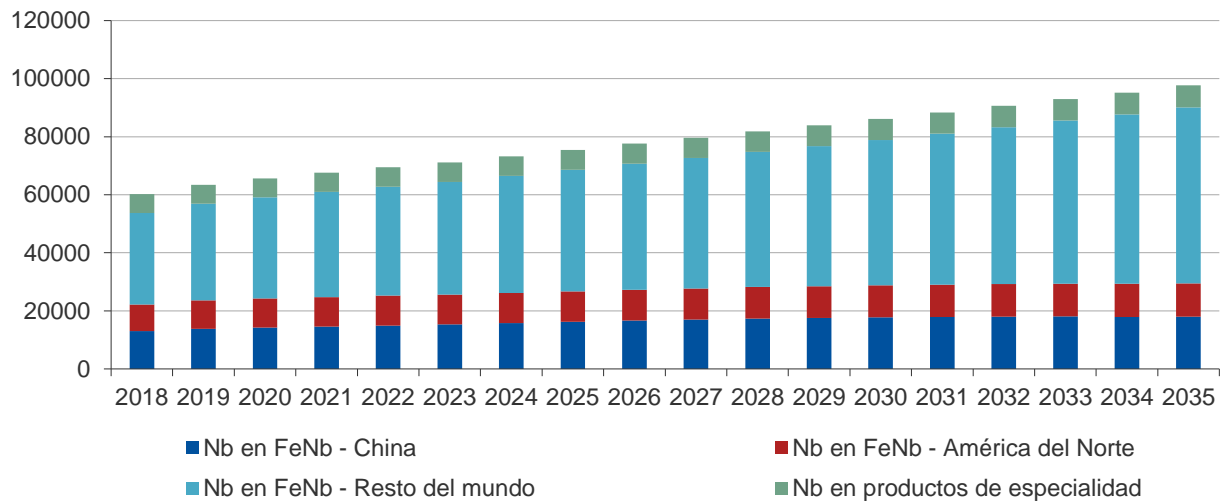
Para el periodo pronosticado, esperamos un aumento en intensidad de uso de un 2% p.a. nominal en China. Para América del Norte esperamos que este crecimiento sea mucho menor, de un 0,5%, debido a que la industria siderúrgica es más madura que en China. En el resto del mundo se pronostica un factor de crecimiento de un 1,5% p.a. en intensidad de uso de ferroniobio.

Para la demanda de productos especializados de niobio, se espera un aumento nominal de 1% p.a. entre 2018 y 2035.

Considerando las expectativas de producción de acero por región en la largo plazo, vemos que la cantidad de niobio usado en forma de ferroniobio aumentará de ~54.000 toneladas a ~90.000 toneladas entre 2018 y 2035.

En general, con el aumento en la demanda de productos especializados con niobio vemos que la demanda total incrementa desde alrededor de 60.000 toneladas en 2018 a 98.000 toneladas en 2035, lo que representa un aumento del 63% sobre el periodo, promediando un 2,75% por año.

Figura 5 Proyección de la demanda de niobio, 2018-2035 (t de Nb)



Fuente: CRU

Tabla 3 Proyección de la demanda de niobio, 2018-2035 (t de Nb)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Contenido de Nb en FeNb consumido	53.771	56.909	59.075	61.004	62.794	64.374	66.472	68.579	70.696	72.665
<i>China</i>	13.087	13.829	14.243	14.573	14.936	15.346	15.848	16.279	16.724	17.034
<i>América del Norte</i>	9.088	9.776	10.011	10.173	10.374	10.258	10.341	10.422	10.553	10.683
<i>Resto del mundo</i>	31.596	33.304	34.822	36.258	37.484	38.770	40.284	41.878	43.420	44.947
Nb en productos de especialidad	6.400	6.464	6.529	6.594	6.660	6.726	6.794	6.862	6.930	7.000
Total mundial	60.171	63.373	65.604	67.598	69.454	71.101	73.266	75.440	77.627	79.664
% cambio anual		5,32%	3,52%	3,04%	2,75%	2,37%	3,05%	2,97%	2,90%	2,63%

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-35
Contenido de Nb en FeNb consumido	74.799	76.798	78.874	81.066	83.275	85.544	87.713	90.115	3,1%
<i>China</i>	17.388	17.573	17.735	17.900	17.998	18.067	17.942	17.951	1,9%
<i>América del Norte</i>	10.814	10.945	11.075	11.154	11.233	11.309	11.384	11.458	1,4%
<i>Resto del mundo</i>	46.597	48.280	50.065	52.011	54.044	56.168	58.387	60.706	3,9%
Nb en productos de especialidad	7.070	7.140	7.212	7.284	7.357	7.430	7.505	7.580	1,0%
Total mundial	81.869	83.938	86.086	88.349	90.631	92.975	95.218	97.694	2,9%
% cambio anual		2,77%	2,53%	2,56%	2,63%	2,58%	2,59%	2,41%	2,60%

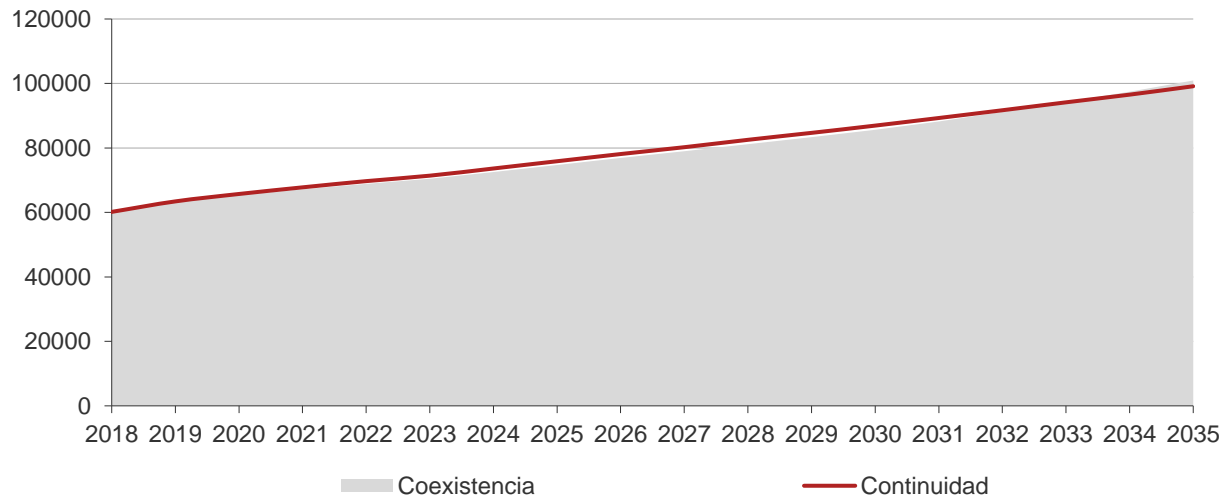
Fuente: CRU

Escenario 2 – Coexistencia

Usando como base los cambios en consumo de acero entre distintos escenarios, junto con la intensidad de uso por tonelada de acero producida, vemos que la demanda de niobio es mayor

en el escenario Continuidad que en el Coexistencia por la mayor parte parte el periodo proyectado.

Figura 6 Demanda en escenario Continuidad vs. Coexistencia para niobio (t)



Fuente: CRU

Tabla 4 Demanda en escenario Continuidad vs. Coexistencia para niobio (t)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	60.171	63.425	65.717	67.777	69.703	71.402	73.632	75.879	78.112	80.232
Coexistencia	60.171	63.137	65.372	67.202	68.882	70.481	72.493	74.688	76.848	79.008
Diferencia*	-	-288	-345	-575	-821	-921	-1.139	-1.191	-1.264	-1.224

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035
Continuidad	82.520	84.683	86.930	89.290	91.690	94.155	96.535	99.141	3,0%
Coexistencia	81.196	83.338	85.624	88.187	91.195	94.312	97.436	100.927	3,1%
Diferencia*	-1.324	-1.345	-1.306	-1.103	-495	157	901	1.786	

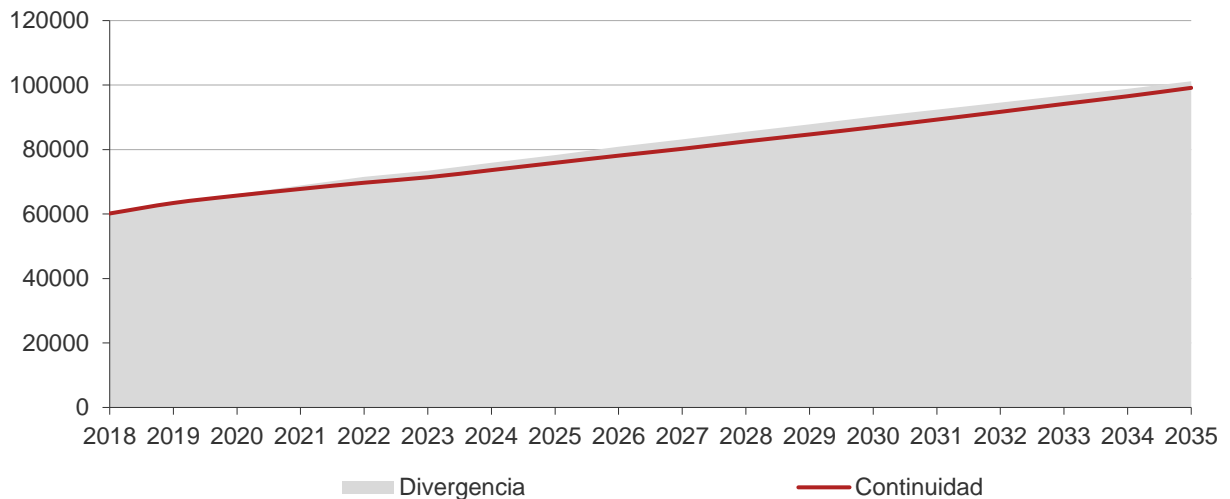
* Diferencia calculada como Coexistencia menos Continuidad

Fuente: CRU

Escenario 3 – Divergencia

El escenario Divergencia muestra un mayor consumo de niobio que el escenario Continuidad, dados los distintos perfiles de producción de acero en ambos escenarios.

Figura 7 Demanda en escenario Continuidad vs. Divergencia para niobio (t)



Fuente: CRU

Tabla 5 Demanda en escenario Continuidad vs. Divergencia para niobio (t)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	60.171	63.425	65.717	67.777	69.703	71.402	73.632	75.879	78.112	80.232
Divergencia	60.171	63.537	66.148	68.830	71.536	73.465	75.887	78.303	80.863	83.109
Diferencia*	-	112	431	1.053	1.833	2.062	2.256	2.424	2.751	2.877
	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035	
Continuidad	82.520	84.683	86.930	89.290	91.690	94.155	96.535	99.141		3,0%
Divergencia	85.558	87.843	90.208	92.427	94.578	96.780	98.874	101.185		3,1%
Diferencia*	3.038	3.160	3.277	3.137	2.888	2.625	2.340	2.045		

* Diferencia calculada como Coexistencia menos Continuidad

Fuente: CRU

1.2. Demanda de tantalio

1.2.1. Determinantes de la demanda de tantalio y usos finales

El principal producto comercializable de tantalio es el polvo de tantalio, producido a partir de concentrados que contienen pentóxido de tantalio (Ta_2O_5). Este polvo se usa para producir alambres y láminas de tantalio, que luego son utilizados en la fabricación de condensadores y productos metalúrgicos. Además de estos, el alambre de tantalio también es un componente esencial para los condensadores y las láminas de tantalio se usan en la fabricación en plantas químicas.

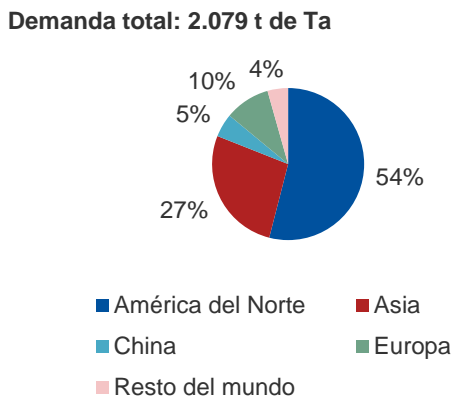
El mercado del tantalio es pequeño, con cifras que llegan un poco sobre las 2.000 toneladas de productos de tantalio en 2017. Los datos estadísticos sobre este mercado son escasos.

Los condensadores de tantalio ofrecen una alta confiabilidad, resistencia a altas temperaturas, un amplio rango de capacitancia y pueden fabricarse en tamaños muy pequeños, característica cada vez más importante. El incremento en el uso de dispositivos portátiles como los teléfonos móviles, computadoras portátiles, tabletas y muchos otros tipos de instrumentos en los lugares de trabajo son todos importantes gestores de la demanda y de forma similar las aplicaciones de alta confiabilidad para la aviación, la industria aeroespacial, los sistemas de transporte y los automóviles.

Las superaleaciones para los motores de aeronaves y turbinas terrestres son el segundo mercado más grande para el tantalio después de los condensadores. Con otros usos finales del tantalio, este metal de tantalio es usado para prótesis médicas tales como marcapasos, dispositivos para ayuda de la audición, aparatos prostéticos como articulaciones de cadera. También se usa en partes de calderas, motores de reacción, toberas de cohetes y partes de misiles. El metal de tantalio y sus aleaciones también se usan para equipos de procesamiento de químicos.

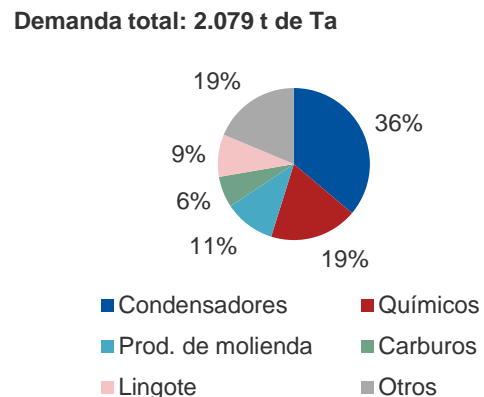
En los últimos años se ha estado desarrollando un mercado emergente para el tantalio en la pulverización catódica, proceso que permite el revestimiento de superficies con capas muy delgadas de tantalio. Este proceso se utiliza en aplicaciones electrónicas y tratamiento químico de superficies.

Figura 8 Porcentaje de consumo de tantalio por región, 2017



Fuente: TIC, CRU

Figura 9 Porcentaje de consumo de tantalio por uso final, 2017



Fuente: TIC, CRU

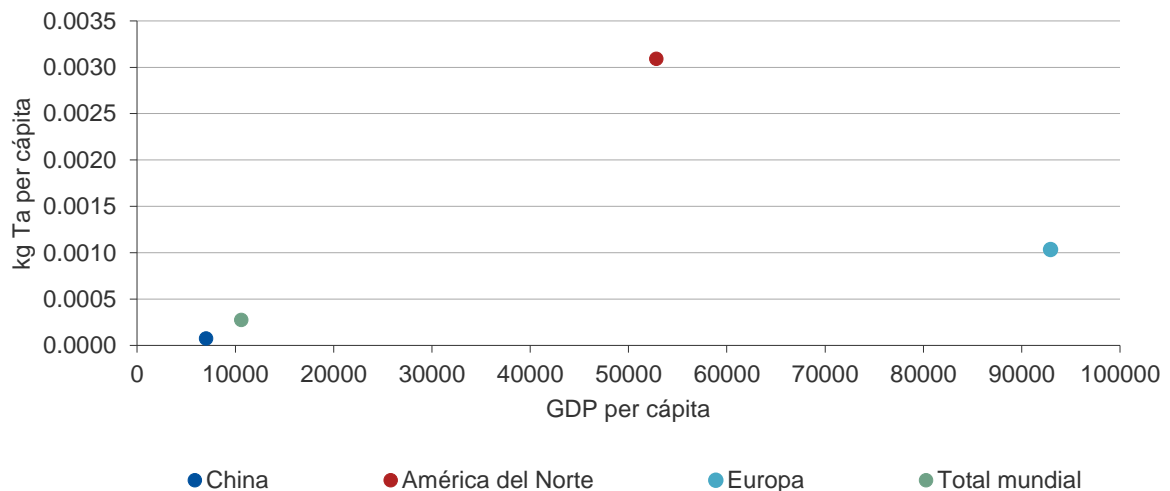
Las regiones más importantes en términos del mercado de polvo de tantalio y productos metalúrgicos son América del Norte, Asia, China y Europa. El consumo en estas regiones en 2017 varió desde ~1.100 toneladas en EEUU a ~200 toneladas en Europa, donde el consumo

se centra en República Checa. Estas son las regiones en las que los principales productores de condensadores de tantalio tienen ubicadas sus plantas productoras.

1.2.2. Intensidad de uso & el ciclo de desarrollo del tantalio

Con un mercado tan pequeño, el análisis de la intensidad de uso es difícil de interpretar, particularmente con seis diferentes aplicaciones. El uso del tantalio se centra en aplicaciones de alta tecnología actuales, lo que explica la alta intensidad de uso de observada en América del Norte. A pesar de consumir una cantidad relativamente importante de tantalio, China destaca por el bajo indicador de consumo per cápita.

Figura 10 Demanda en escenario Continuidad vs. Divergencia para niobio (t)



Fuente: TIC, USGS, CRU

1.2.3. Sustitución y elasticidad de demanda de tantalio

Sustitucion

Las aplicaciones de uso final del tantalio han sido desarrolladas a partir de sus propiedades químicas y físicas únicas, por lo que la sustitución es limitada en este ámbito. Ha habido un aumento en el reciclaje que ha cambiado los patrones de oferta, y los carburos han visto alguna sustitución por materiales más económicos como el tungsteno y el titanio.

La seguridad de la oferta no ha causado preocupación durante la última década. La situación del suministro ético de África Central sí ha sido un tema, sin embargo, iniciativas de transparencia han asegurado un suministro de material que no involucra trabajo infantil o que financie grupos involucrados en conflictos armados.

Esta iniciativa de transparencia sugiere que la sustitución y elasticidad de la demanda no presentan un problema para el tantalio en el presente.

Elasticidad

Al igual que en el caso del niobio, CRU estima que la elasticidad precio de la demanda es cero o casi cero tanto en el corto plazo como en el largo plazo.

Los cuatro factores de análisis de la teoría marshalliana, presentados en detalle en la sección de elasticidad del niobio, se comportan de la siguiente manera para el tantalio:

Tabla 6 Análisis de la elasticidad de la demanda, tantalio

Factor de análisis	Características específicas del Cobalto
Usos principales	Condensadores y químicos
Baja sustituibilidad	Sí
Participación de bajo valor	Sí
Baja elasticidad de la oferta de sustitutos	Sí
Baja elasticidad precio final	Sí

Fuente: CRU

1.2.4. Demanda histórica de tantalio

Principales consumidores por actividad económica en los últimos diez años

Tal como se plantea en la sección “Determinantes de la demanda de tantalio y usos finales” de este reporte, el principal sector económico ligado al tantalio es la fabricación de condensadores para el mercado de productos eléctricos. El consumo de tantalio ha estado creciendo de la mano con esta industria, con utilizaciones como la pulverización catódica apareciendo recientemente.

Principales países y/o regiones consumidoras de tantalio

En esta sección se presentan los principales países y/o regiones consumidoras de tantalio los últimos 10 años. Dada la naturaleza global del consumo de *commodities*, se analizan los países y/o regiones que son efectivamente relevantes para el estudio y entendimiento del mercado a analizar, con un enfoque en distinguir y separar países y/o regiones cuyo comportamiento futuro pueda impactar el mercado.

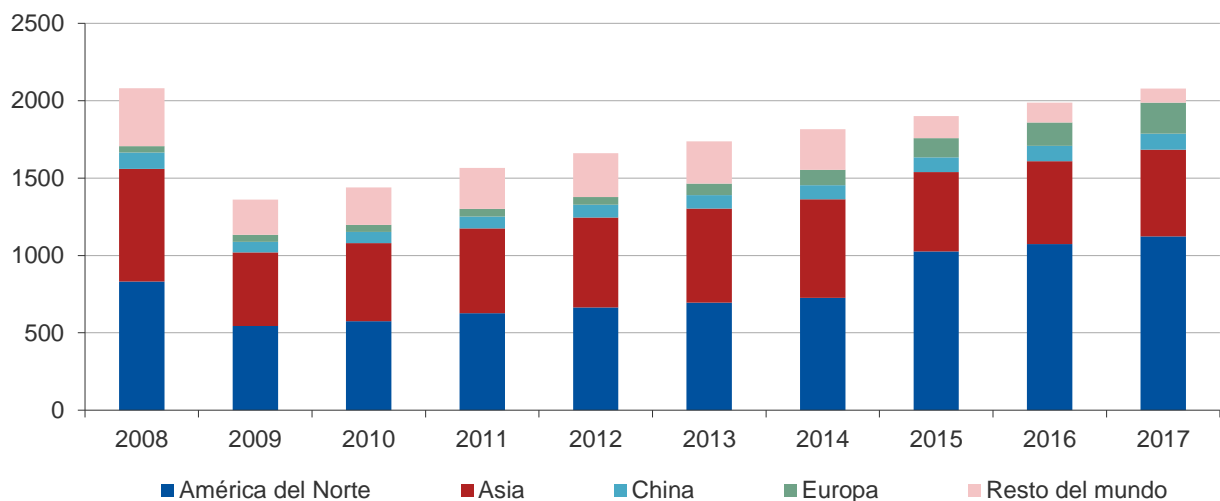
En el periodo 2007-2017 el crecimiento en la demanda ha sido más bien estático. El principal y mayor uso del polvo y alambre de tantalio es en la fabricación de condensadores para la industria electrónica, demanda que ha permanecido estable entre 2005 y 2008. Sin embargo, la crisis financiera de 2009 causó una fuerte disminución en su consumo, lo que además se extendió a todos los otros usos del tantalio. El impacto de esta crisis fue incluso más grave aún

para productos como químicos, productos de molienda, carburos y lingotes. Vemos que en el 2017 la demanda de tantalio ha llegado nuevamente a los niveles que tenía antes de la crisis financiera.

Observaciones recientes indican que el mercado más grande, los condensadores, está ralentizándose. Las ventas de los dispositivos portátiles han caído y la agrupación de las aplicaciones en los teléfonos inteligentes ha llevado a la reducción de la demanda de, por ejemplo, cámaras digitales y navegadores satelitales.

Los consumos por región se muestran a continuación:

Figura 11 Consumo histórico de tantalio, 2008-2017 (t de Ta)



Fuente: TIC, CRU

Tabla 7 Consumo histórico de tantalio, 2008-2017 (t de Ta)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
América del Norte	832	544	576	626	664	695	726	1.026	1.073	1.122	3,4%
Asia	728	476	504	548	581	608	636	513	537	561	-2,8%
China	104	68	72	78	83	87	91	95	99	104	0,0%
Europa	42	45	46	48	50	75	100	125	150	200	19,1%
Resto del mundo	374	227	242	265	282	272	263	141	128	91	-14,5%
Total Mundial	2.080	1.360	1.440	1.565	1.660	1.736	1.816	1.900	1.987	2.079	0,0%
<i>% cambio anual</i>		-34,6%	5,9%	8,7%	6,1%	4,6%	4,6%	4,6%	4,6%	4,6%	

Fuente: TIC, CRU

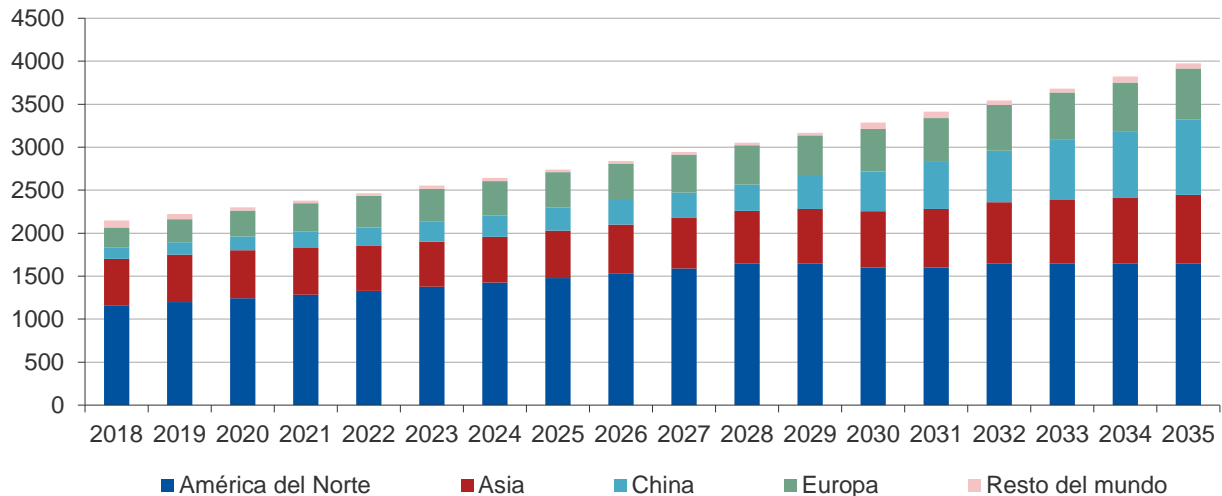
1.2.5. Proyección de demanda de tantalio

Escenario 1 - Continuidad

Se pronostica un alza en la demanda de tantalio de 2.100 toneladas en 2017 a cerca de 4.000 toneladas en el año 2035, lo que representa un crecimiento en la tasa de un 3,6% por año. Nuestro pronóstico se ha basado en una visión consensuada de los prospectos de la demanda del tantalio en sus seis aplicaciones de uso final y viene de estadísticas publicadas y predicciones encontradas en documentos disponibles al público.

Esta perspectiva es que el consumo de tantalio en condensadores no continuará creciendo tan rápido como lo ha hecho históricamente, estimando una tasa de crecimiento de 1,5% p.a.. Hemos sido más optimistas con usos finales como superaleaciones (7% p.a.) y químicos (5% p.a.). Otras aplicaciones incluyen el uso de pulverización catódica donde se espera ver un crecimiento de 4% p.a.. Para los productos de molienda vemos una tasa similar de crecimiento. Esperamos que el uso de carburos de tantalio se ralentice en comparación con años anteriores, mostrando un crecimiento de ~2% p.a..

Figura 12 Proyección de la demanda de tantalio, 2018-2035 (t de Ta)



Fuente: CRU

Tabla 8 Proyección de la demanda de tantalio, 2018-2035 (t de Ta)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
América del Norte	1.161	1.200	1.242	1.285	1.331	1.378	1.427	1.479	1.533	1.589
Asia	540	550	560	541	525	525	530	548	568	589
China	129	144	161	190	209	230	251	274	284	294
Europa	236	267	299	333	370	383	396	411	426	442
Resto del mundo	83	61	38	30	29	36	38	27	28	29
Total mundial	2.149	2.223	2.300	2.380	2.464	2.552	2.643	2.739	2.839	2.943
% cambio anual		3,43%	3,46%	3,49%	3,52%	3,56%	3,59%	3,62%	3,65%	3,68%

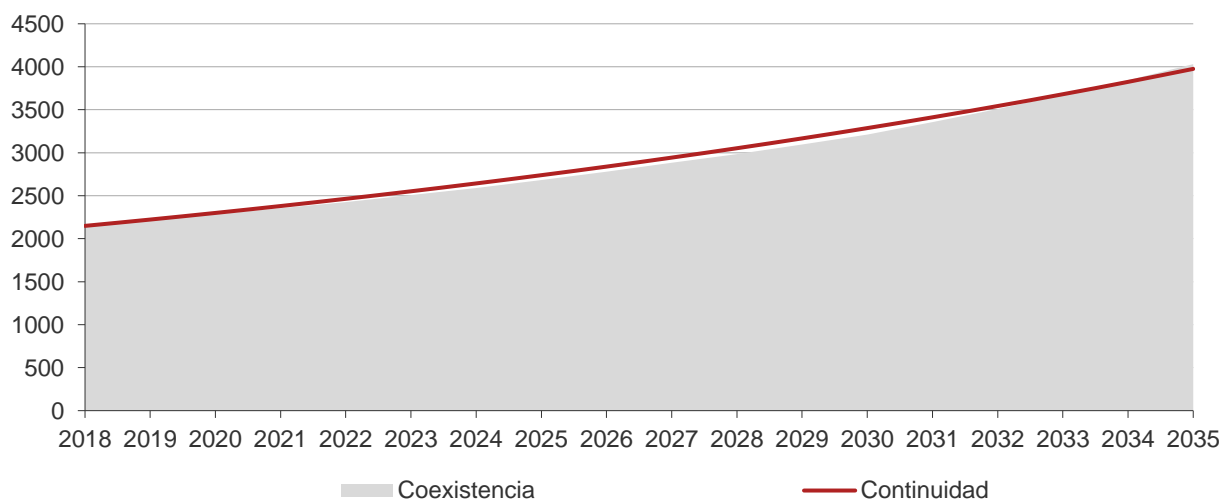
	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-35
América del Norte	1.648	1.650	1.600	1.600	1.650	1.650	1.650	1.650	2,1%
Asia	611	633	657	682	709	736	765	795	2,3%
China	305	380	460	546	602	699	765	875	11,9%
Europa	458	475	493	512	531	552	574	596	5,6%
Resto del mundo	31	29	76	72	51	43	71	59	-2,0%
Total mundial	3.053	3.167	3.287	3.412	3.543	3.681	3.825	3.975	3,7%
% cambio anual	3,71%	3,75%	3,78%	3,81%	3,84%	3,88%	3,91%	3,94%	

Fuente: CRU

Escenario 2 – Coexistencia

Dada la gran cantidad de posibles usos finales de tantalio y la naturaleza de éstos, los escenarios Coexistencia y Divergencia están calculados con base en cambios en el crecimiento del PIB. De esta manera, la demanda en el escenario Coexistencia se mantiene por debajo del consumo en Continuidad por la mayor parte del periodo.

Figura 13 Demanda en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tantalio (t)



Fuente: CRU

Tabla 9 Demanda en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tantalio (t)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	2.149	2.223	2.300	2.380	2.464	2.552	2.643	2.739	2.839	2.943
Coexistencia	2.149	2.209	2.283	2.353	2.427	2.509	2.590	2.681	2.778	2.882
Diferencia*	-	-14	-17	-27	-38	-43	-53	-57	-61	-61

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035
Continuidad	3.052,8	3.167,1	3.286,8	3.412,1	3.543,3	3.680,6	3.824,5	3.975,3	3,7%
Coexistencia	2.984,7	3.094,8	3.212,1	3.355,1	3.509,1	3.671,4	3.844,5	4.031,1	3,8%
Diferencia*	-68,1	-72,3	-74,7	-57,0	-34,2	-9,2	20,0	55,8	

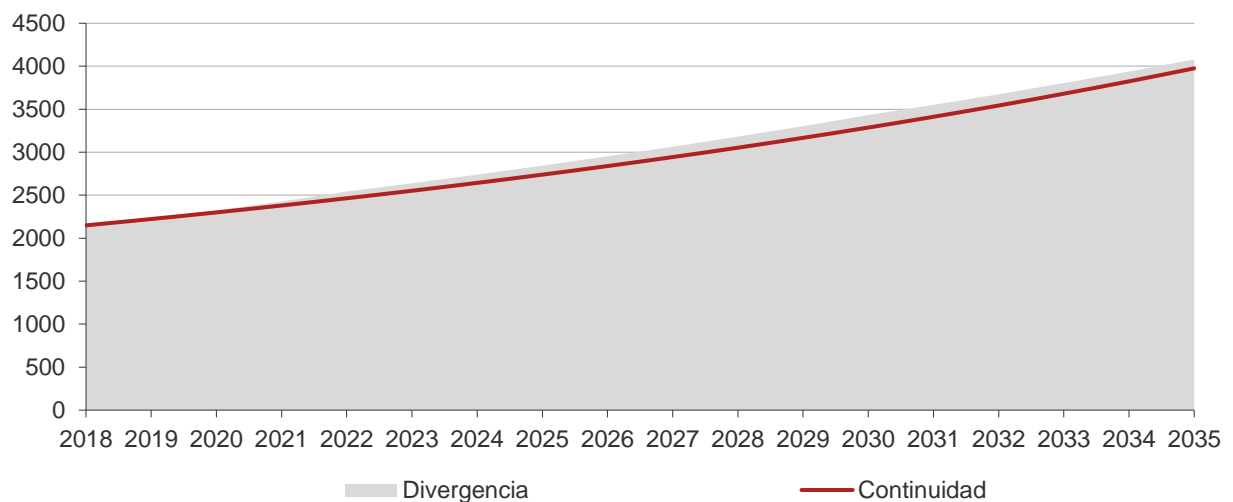
* Diferencia calculada como Coexistencia menos Continuidad

Fuente: CRU

Escenario 3 – Divergencia

En el escenario Divergencia, nuevamente vemos que la demanda de tantalio se mueve en línea con el crecimiento esperado del PIB. Es decir, el consumo de tantalio en este escenario se mantiene por sobre el consumo en el escenario Continuidad.

Figura 14 Demanda en escenario Continuidad vs. Divergencia para tantalio (t)



Fuente: CRU

Tabla 10 Demanda en escenario Continuidad vs. Divergencia para tantalio (t)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	2.149	2.223	2.300	2.380	2.464	2.552	2.643	2.739	2.839	2.943
Divergencia	2.149	2.233	2.323	2.427	2.542	2.640	2.740	2.844	2.952	3.064
Diferencia*	-	10	23	47	78	88	97	105	114	120

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035
Continuidad	3.053	3.167	3.287	3.412	3.543	3.681	3.825	3.975	3,7%
Divergencia	3.181	3.303	3.430	3.550	3.674	3.803	3.938	4.079	3,8%
Diferencia*	129	136	143	138	131	122	114	104	

* Diferencia calculada como Divergencia menos Continuidad

Fuente: CRU

1.3. Oferta de niobio y tantalio

A menudo la mineralización del niobio y el tantalio sucede en conjunto. Sin embargo, las rutas de los productos principales para estos dos elementos son diferentes. La oferta principal de niobio viene del pirocloro, mientras que la fuente principal del tantalio es la tantalita, perteneciente al espectro del coltán.

1.3.1. Recursos y reservas de tantalio y niobio: evolución, tasas de descubrimiento, presupuesto de exploración

De acuerdo a la British Geological Survey (Centro de Investigaciones Geológicas Británico), los depósitos minerales de tantalio y niobio están mayormente asociados con rocas tales como granitos, sienitas, pegmatitas y carbonatitas. Algunos depósitos secundarios también se han identificado, estando estos generalmente conectados al depósito primario.

A grandes rasgos, se han identificado cinco tipos de mineralización de niobio-tantalio que cuentan con cantidades significativas de estos minerales:

- Depósitos primarios que almacenan carbonatita: son depósitos de niobio encontrados dentro de rocas ígneas carbonatitadas en provincias ígneas alcalinas. Las leyes típicas y el tonelaje de este tipo de depósitos son pequeñas. Las minas Niobec y Oka en Canadá son ejemplos donde reservas probables y demostradas de 23,5 millones de toneladas al 0,59% de b_2O_5 .
- Depósitos secundarios de fuentes de carbonatita: ocurren donde la erosión ha concentrado los minerales de niobio sobre la intrusión de carbonatita. El tamaño de estos depósitos puede ser grande pero rara vez alcanzan más de 1.000 millones de toneladas, y tienen leyes comparativamente altas de alrededor de 3% Nb_2O_5 . Ejemplos típicos son Araxa y Catalao en Brasil, las mayores fuentes de niobio hoy; Tomtor (12% Nb_2O_5) Rusia y Lueshe, DRC.

- Granito alcalino y depósitos de sienita: frecuentemente contienen niobio y menos tantalio, a menudo cuando estos minerales han sido concentrados por procesos hidrotermales y magmáticos. Estos depósitos son mucho más pequeños que los depósitos de carbonatita secundarios y comúnmente contienen menos de 100 millones de toneladas con leyes de 0,1-1% Nb₂O₅ y <0,1% Ta₂O₅. Ejemplos de este tipo de depósitos son Motzfeldt y Ilfmaussa, Groenlandia; Lovezero, Rusia; Thor Lake y Strange Lake, Canadá; Pitinga, Brasil; Ghurayyah, Arabia Saudita y Kanyika, Malawi.
- Depósitos de granito tipo LCT (litio, cesio y tantalio): tienen tantalio con menos niobio y generalmente contienen menos de 100 millones de toneladas de metal con menos de 0,05% de Ta₂O₅. Ejemplos son Abu Dhabi y Nuweibi en Egipto y Yichun, China.
- Depósitos de pegmatita tipo LCT: también tienen tantalio con menos niobio y de forma similar también contienen menos de 100 millones de toneladas de reservas con menos de un 0,05% de Ta₂O₅. Ejemplos de estos son algunas de las operaciones mineras más grandes de tantalio, como Greenbushes y Wodgina, Australia; Tanco, Canadá; Volta Grande, Brasil; Kenticha Etiopía; Morrúa & Marropino, Mozambique.

En términos de reservas, se ha estimado que las reservas actuales de niobio y tantalio son suficientes para satisfacer la demanda global por más de 500 años.

Las reservas de niobio están casi exclusivamente ubicados en Brasil y Canadá. Hay fuentes sin cuantificar en Egipto, Malawi y Groenlandia.

Tabla 11 Reservas de niobio, 2008-2017 ('000 t de Nb contenido)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
Australia	320	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Brasil	2.600	2.900	2.900	2.900	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	5,2%
Canadá	92	46	46	200	200	200	200	200	200	200	9,0%
Resto del mundo	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Total mundial	3.012	2.946	2.946	3.100	4.300	4.300	4.300	4.300	4.300	4.300	4,0%
<i>% cambio anual</i>		-2,2%	0,0%	5,2%	38,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	

Fuente: USGS

Figura 15 Reservas de niobio 2017 (t de Nb contenido)



Fuente: USGS

Las reservas de tantalio están ubicadas principalmente en Australia y en Brasil. Estas reservas son más conocidas que las de niobio. De acuerdo a la BGS, existen recursos en Brasil, Australia, China & Sudeste Asiático, Rusia y África Central. Según USGS, también habría recursos en Canadá, aunque no se cuenta con estimaciones de recursos a nivel global.

Un área que ha sido una preocupación es que frecuentemente los concentrados de tantalio están contaminados por materiales radioactivos y esto lleva a serios problemas de transporte a través de Europa y otros países. Esta fue una de las razones por las que ciertas minas han cerrado. Sin embargo, con el aumento de la minería del litio, particularmente en Australia Occidental, esta preocupación ha desaparecido ya que la cantidad de tantalio esperada que surga de esa región podrían aumentar la oferta dramáticamente.

Tabla 12 Reservas de tantalio, 2008-2017 (t de Ta contenido)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
Australia	40.000	40.000	40.000	51.000	53.000	62.000	67.000	67.000	69.000	78.000	7,7%
Brasil	88.000	65.000	65.000	65.000	88.000	36.000	36.000	36.000	36.000	34.000	-10,0%
Canadá	3.000	-	-	-	4.000	-	-	-	-	-	n/a
Mozambique	-	-	3.200	3.200	-	-	-	-	-	-	n/a
Etiopía	-	-	-	-	4.000	-	-	-	-	-	n/a
Resto del mundo	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Total mundial	131.000	105.000	108.200	119.200	149.000	98.000	103.000	103.000	105.000	112.000	-1,7%
<i>% cambio anual</i>		-19,8%	3,0%	10,2%	25,0%	-34,2%	5,1%	0,0%	1,9%	6,7%	

Fuente: USGS

Figura 16 Reservas de tantalio, 2017 (t de Ta contenido)



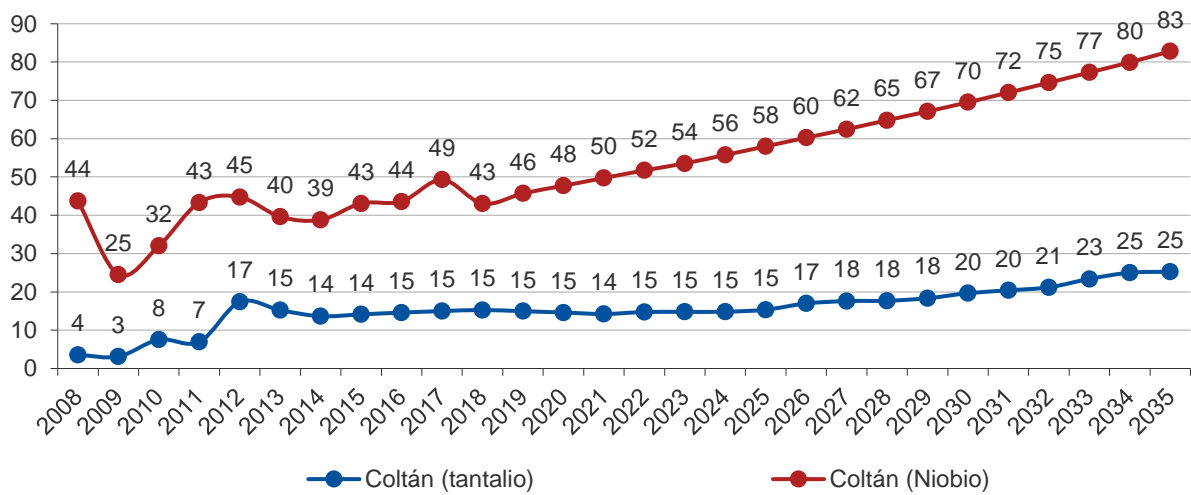
Fuente: USGS

El presupuesto de exploración del coltán es relativamente bajo, producto de su bajo volumen de producción (en valor) en comparación con el total de la industria minera global. En este análisis más que considerar la exploración de coltán mismo hemos dividido el análisis en tantalio y niobio – considerando que al explorar por alguno de estos metales se puede encontrar coltán.

En línea con lo anterior, se observa que el gasto en exploración en yacimientos de niobio ha presentado volatilidad entre desde 2008 hasta la fecha, no tanto así el caso del tantalio que ha aumentado, con un salto discreto en 2012 asociado a la variación en su precio. Pronosticamos

que el gasto en exploración de tantalio se mantendrá relativamente bajo, acotado por el crecimiento del precio – lo que mantendría bajo el estímulo para la exploración. En el caso del niobio, pronosticamos que la exploración subirá en línea con un aumento en la demanda, lo que hará que suba el valor de mercado – aumentando así el incentivo de exploración. El gasto en exploración combinado alcanzó un máximo de 64 millones de dólares (moneda 2017) y esperamos que supere este nivel en 2022.

Figura 17 Presupuestos de exploración del coltán, 2008-2035 (MUS\$, real 2017)



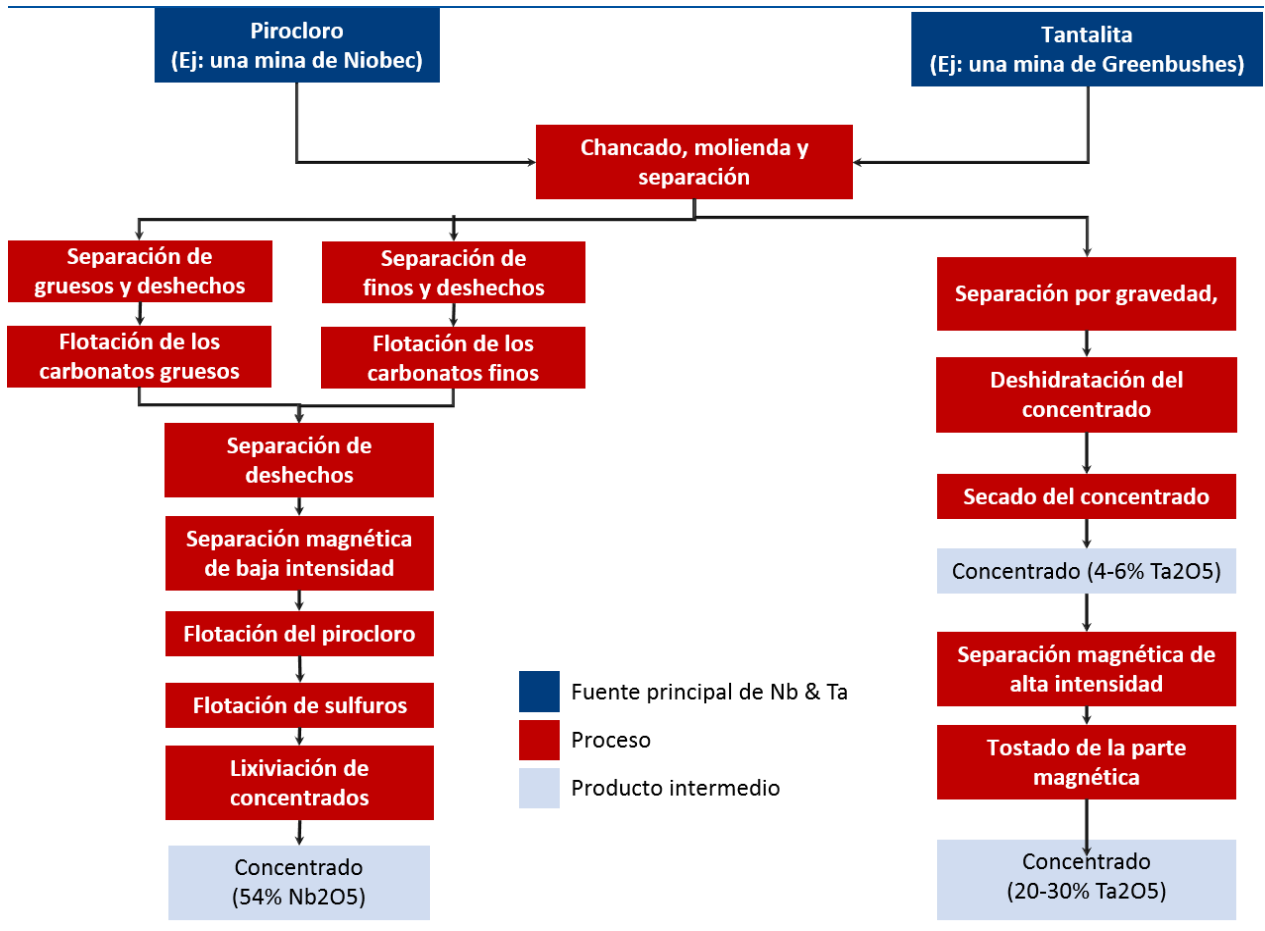
Fuente: MinEx Consulting, CRU

1.3.2. Métodos de extracción y procesamiento de niobio y tantalio

Después de la extracción desde la mina, los minerales niobio y tantalio pasan por rutas de procesos bastante diferentes. Los concentrados de niobio se extraen desde el pirocloro mientras que el tantalio se obtiene de la tantalita o concentrado de coltán.

La producción de metal de niobio y tantalio es una de las operaciones más complejas en la industria metal-minera, siendo la producción de los concentrados un proceso extenso tanto para la producción desde pirocloro como desde tantalita. Ambos minerales pasan por varias etapas de beneficiación. Para el caso del pirocloro, se agregan alrededor de 15 reactivos diferentes y se necesita un sistema de control automático de pH muy sensible.

Figura 18 Método de procesamiento de pirocloro y tantalita



Fuente: CRU

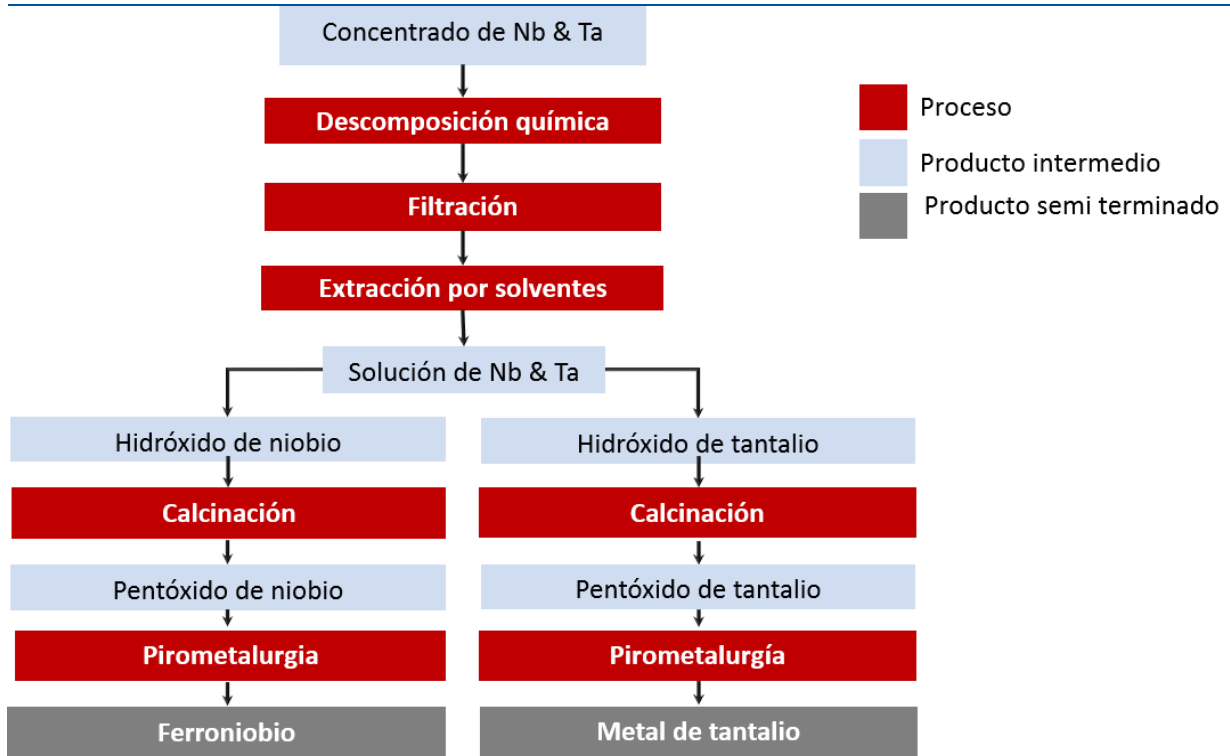
Después de la producción de concentrados, éstos son tratados en otras instalaciones para facilitar la producción de ferroniobio, lingotes o polvo de metal de tantalio.

1.3.3. Cadena de valor del coltán

Dependiendo del depósito que esté siendo explotado, las minas de coltán pueden producir concentrados de distintas especificaciones que luego son procesados para separar cada uno de sus componentes.

Tanto la producción de niobio como la de tantalio se encuentran altamente integradas verticalmente, con los procesos variando de mina en mina.

Figura 19 Cadena de valor del Nb & Ta



Fuente: CRU

1.3.4. Costo de capital de niobio y tantalio

Debido a la naturaleza compleja y especializada de la industria del niobio y tantalio, y a su pequeño tamaño, no hay muchos proyectos que se desarrollen para proveer estimados de capital y costos de operación para nuevos proyectos. Si bien la información presentada a continuación tiene varios años, sí puede servir de guía para realizar una estimación de costos.

En el año 2006, CRU estuvo involucrada en la evaluación de un nuevo proyecto que planeaba producir 600.000 lbs (275 toneladas) de Ta_2O_5 y 6 millones de libras (2.700 toneladas) de Nb_2O_5 . El proyecto consideraba la extracción de 1,5 millones de toneladas de mineral por año. Los costos de capital fueron estimados en US\$300 millones.

En términos de una mina de niobio integrada y fundición de ferroniobio, estimamos que los costos de capital son de alrededor de US\$1,4 billones para 60.000 tpa planta.

En el área de procesos, notamos que Kemet, uno de los productores principales de condensadores de tantalio, adquirió las instalaciones de procesamiento de polvo de Niotan en Carson City, Nevada, por US\$75 millones en febrero de 2012. Esta planta es reconocida como la más grande instalación de procesamiento de polvo de tantalio en el hemisferio occidental.

1.3.5. Comercialización de niobio

Principales sectores importadores y usos de las importaciones de niobio

Dada la naturaleza global del mercado del niobio, los principales sectores importadores y los principales usos de las importaciones son los mismos sectores y usos de la oferta total disponible. Estos sectores y usos finales son los definidos en la sección “Determinantes de la demanda de niobio y usos finales” de este reporte.

Importaciones y exportaciones por país

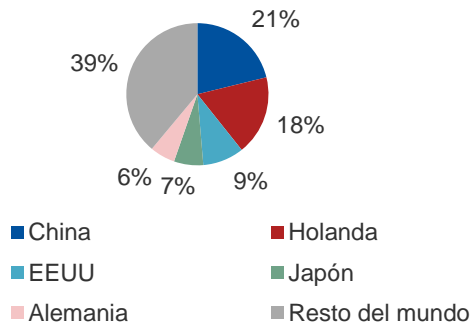
Teniendo en cuenta que la principal característica de los *commodities* es que el mercado trata a distintos productos como prácticamente equivalentes sin importar su precedencia, y que esta es la base para que se den dinámicas de mercado basadas en información global y no regional, esta sección muestra los principales países importadores y exportadores de ferroniobio sin agruparlos por región. De esta manera se logran capturar los flujos de material más importantes a nivel global, entregando información relevante para el mercado de manera clara y transparente.

Como se ha discutido previamente, los importadores de ferroniobio son numerosos, con importadores de ferroniobio en virtualmente cada país con producción de acero. En este contexto, China y EEUU son sin duda los principales importadores. Las importaciones a Holanda son parte de las operaciones mercantiles de Fondel, una compañía de comercializadora con base en Rotterdam que comercializa la producción de ferroniobio usando la producción del mineral de niobio de la mina de Catalao en Brasil.

La mayor parte del ferroniobio a nivel mundial se produce en Brasil y Canadá. Las estadísticas de exportación también mencionan a Holanda como un gran exportador, con estos volúmenes ligados a la operación de Fondel mencionada previamente.

Figura 20 Importaciones de FeNb, 2017

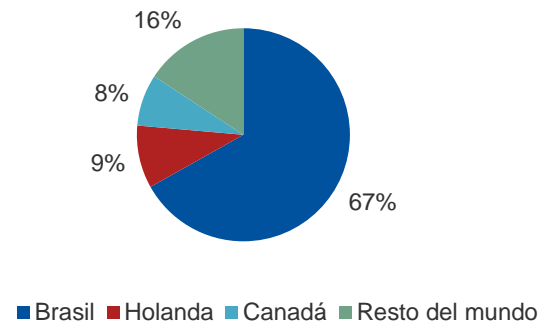
Importaciones totales: 127.470 t



Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

Figura 21 Exportaciones de FeNb, 2017

Exportaciones totales: 120.714 t



Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

Las importaciones de ferroniobio de China y Holanda han incrementado en los últimos años. EEUU y Japón muestran una tendencia a la disminución de importaciones. Un aumento importante de importaciones se ha visto desde otras regiones.

Tabla 13 Importaciones de FeNb, 2008-2017 (t de FeNb)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
China	23.585	18.322	18.778	19.135	19.872	15.822	18.104	18.711	19.407	26.973	1,5%
Holanda	19.683	10.894	17.491	19.081	18.712	18.209	20.596	21.725	21.347	23.115	1,8%
EEUU	12.799	4.758	10.142	11.128	12.066	9.932	13.161	11.381	10.850	11.953	-0,8%
Japón	10.952	5.167	8.214	8.162	8.670	9.051	8.970	7.616	7.764	8.490	-2,8%
Alemania	6.316	4.100	5.901	6.567	6.317	5.966	6.644	6.888	6.726	7.314	1,6%
Resto del mundo	24.015	15.248	23.919	25.681	22.496	24.391	61.354	40.527	36.894	49.626	8,4%
Total mundial	97.351	58.490	84.445	89.753	88.133	83.371	128.829	106.847	102.989	127.470	3,0%
% cambio anual		-39,9%	44,4%	6,3%	-1,8%	-5,4%	54,5%	-17,1%	-3,6%	23,8%	

Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

Brasil y Canadá han aumentado sus exportaciones de ferronioabio en el último tiempo. A pesar de ser estos los principales productores de FeNb, cubriendo prácticamente la totalidad del FeNb producido, otras regiones también importan y exportan FeNb, mostrando que este es un mercado con bastante movimiento a nivel de comercialización de productos.

Tabla 14 Exportaciones de FeNb, 2008-2017 (t de FeNb)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
Brasil	72.771	45.391	66.948	70.009	70.948	63.750	71.263	68.576	64.658	80.717	1,2%
Holanda	11.542	6.153	9.280	10.517	9.675	9.903	11.017	11.763	11.060	11.495	0,0%
Canadá	6.697	6.169	6.199	6.634	7.000	8.276	8.293	8.519	9.344	9.468	3,9%
Resto del mundo	5.411	1.973	5.287	3.104	3.558	3.755	6.945	16.668	17.861	19.034	15,0%
Total Mundial	96.420	59.686	87.714	90.265	91.181	85.684	97.518	105.525	102.923	120.714	2,5%
<i>% cambio anual</i>		<i>-38,1%</i>	<i>47,0%</i>	<i>2,9%</i>	<i>1,0%</i>	<i>-6,0%</i>	<i>13,8%</i>	<i>8,2%</i>	<i>-2,5%</i>	<i>17,3%</i>	

Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

1.3.6. Comercialización de tantalio

Principales sectores importadores y usos de las importaciones de tantalio

Al igual que para el niobio, los principales sectores importadores y los principales usos de las importaciones son los mismos sectores y usos de la oferta total disponible. Estos sectores y usos finales son los definidos en la sección “Determinantes de la demanda de tantalio y usos finales”.

Importaciones y exportaciones por país

Al igual que para las importaciones y exportaciones de ferroniobio, en esta sección se muestran los principales países importadores y exportadores de tantalio sin agruparlos por región para capturar los flujos de material más importantes a nivel global.

Las figuras y tablas a continuación identifican los principales países que importan polvo de tantalio y productos metalúrgicos desde 2008. Los países que lideran son EEUU, Indonesia, México, la República Checa y Alemania. En estos países los productores más importantes de condensadores de tantalio han ubicado sus plantas de producción.

Figura 22 Importaciones de tantalio, 2017

Importaciones totales: 1.293 t

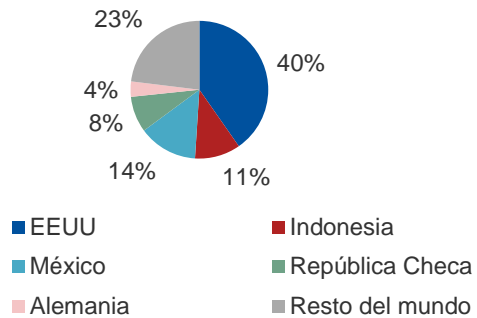
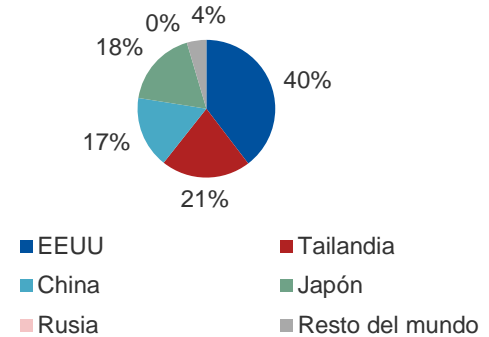


Figura 23 Exportaciones de tantalio, 2017

Exportaciones totales: 905 t



Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

En los últimos años, Indonesia ha surgido como un importante importador, llegando a ser el tercer mayor importador de tantalio después de los EEUU y México. Además de Indonesia, EEUU y Alemania ha aumentado sus importaciones. México y República Checa, por su parte, muestran una tendencia a disminuir sus importaciones a medida que la fabricación de productos que necesitan tantalio se ha ido reubicando.

Tabla 15 Importaciones de tantalio, 2008-2017 (t de Ta)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
EEUU	423	280	401	304	389	334	337	448	373	521	2,3%
México	199	131	215	166	197	197	252	248	183	179	-1,2%
Indonesia	0	23	106	105	354	113	336	159	161	139	n/a
República Checa	218	106	120	174	146	185	107	133	143	109	-7,4%
Alemania	21	23	71	86	63	21	25	21	32	46	9,5%
Resto del mundo	894	523	459	616	298	196	210	284	219	298	-11,5%
Total mundial	1.755	1.086	1.371	1.450	1.447	1.046	1.266	1.293	1.111	1.293	-3,3%
% cambio anual		-38,1%	26,2%	5,8%	-0,3%	-27,7%	21,0%	2,1%	-14,1%	16,3%	

Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

EEUU, además de ser el mayor importador de tantalio, es también el mayor exportador. Le siguen Tailandia, China y Japón, con volúmenes considerablemente menores. Prácticamente todas las importaciones de polvo de tantalio y productos metalúrgicos a nivel mundial está en manos de estos países, dentro de los cuales destaca Tailandia por el crecimiento de importaciones observado desde 2008.

Tabla 16 Exportaciones de tantalio, 2008-2017 (t de Ta)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
EEUU	254	188	300	302	214	251	368	308	296	358	3,9%
Tailandia	87	20	138	92	141	125	174	195	189	190	9,1%
China	270	225	333	302	269	311	264	130	158	152	-6,2%
Japón	175	133	249	144	133	41	130	103	120	162	-0,8%
Rusia	2	1	37	7	0	0	0	14	7	0	-100,0%
Resto del mundo	27	3	355	125	428	252	45	262	30	41	5,1%
Total Mundial	815	570	1.412	973	1.185	980	983	1.012	800	905	1,2%
% cambio anual		-30,1%	147,7%	-31,1%	21,9%	-17,3%	0,3%	3,0%	-21,0%	13,1%	

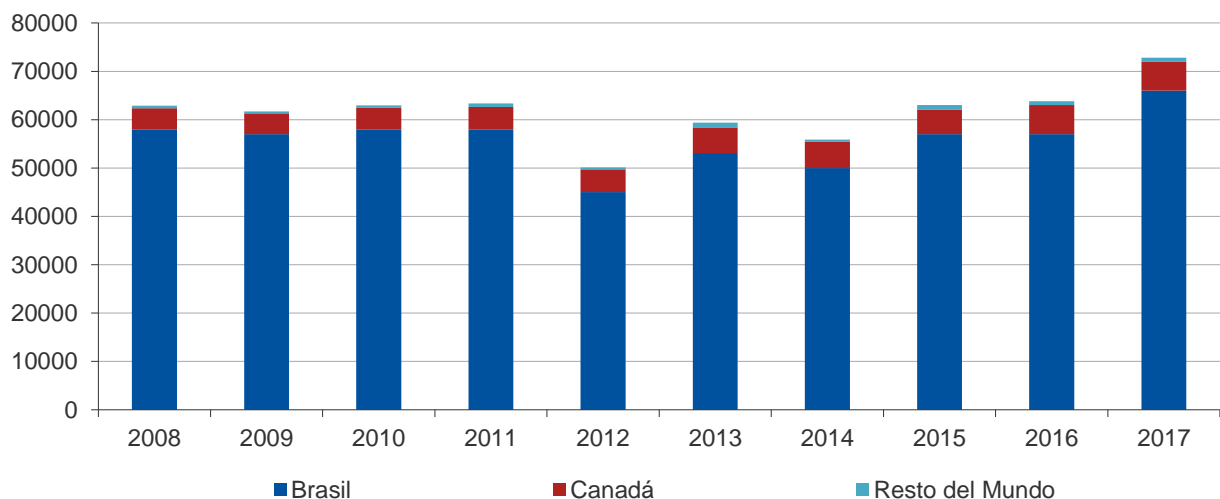
Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

1.3.7. Producción histórica del niobio

En el caso del niobio, la cadena de producción desde el mineral hasta el producto refinado o producto especializado está casi completamente integrada y dominada por dos compañías: CBMM de Brasil y Niobec de Canadá. Una tercera operación ubicada en Catalao, Brasil, y manejada por Niobras Mineracao Ltda (parte de CMOC), también es un proveedor importante.

Estas tres compañías extraen pirocloro y lo convierten en ferroniobio. CBMM definitivamente es el mayor productor, produciendo también químicos de niobio y aleaciones especializadas.

Figura 24 Producción histórica de niobio, 2008-2017 (t de Nb)



Fuente: TIC, USGS, CRU

Tabla 17 Producción histórica de niobio, 2008-2017 (t de Nb)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
Brasil	58.000	57.000	58.000	58.000	45.000	53.100	50.000	57.000	57.000	66.000	1,4%
Canadá	4.380	4.300	4.420	4.630	4.710	5.260	5.480	5.000	6.000	6.000	3,6%
Resto del mundo	483	400	520	732	375	1.000	420	1.000	800	800	5,8%
Total Mundial	62.863	61.700	62.940	63.362	50.085	59.360	55.900	63.000	63.800	72.800	1,6%
<i>% cambio anual</i>		-1,9%	2,0%	0,7%	-21,0%	18,5%	-5,8%	12,7%	1,3%	14,1%	

Fuente: CRU

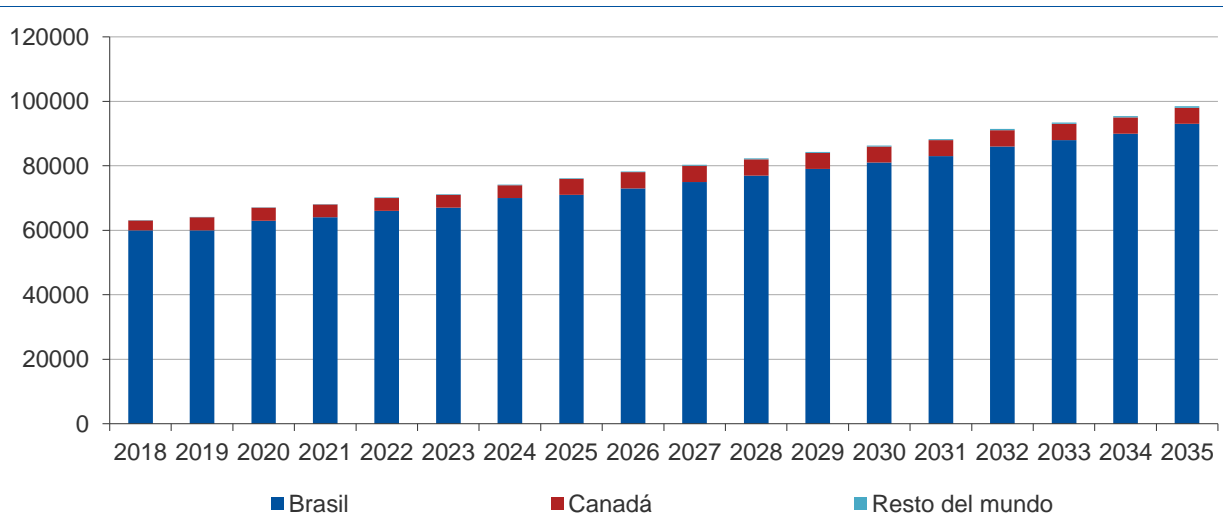
1.3.8. Proyección de producción de niobio

Escenario 1 - Continuidad

El suministro de ferroniobio siempre ha estado en superávit ya que el principal productor, CBMM, ha creado el mercado. La capacidad actual de ferroniobio está en cerca de 180.000 toneladas de ferroniobio, lo que indica que los productores existentes será capaces de satisfacer la demanda hasta la década de 2030s.

Adicionalmente a la producción actual de CBMM y CMOC en Brazil y Niobec en Canadá, hay dos proyectos de niobio en carpeta. Sin embargo, tanto Niobec y CMOC están considerando expandirse y el mercado puede fácilmente ser provisto solamente por CBMM. Dado esto, las proyecciones de CRU no consideran que estos proyectos vayan a llegar a la etapa de financiamiento. A nivel de producción, Brasil y Canadá seguirán liderando el mercado.

Figura 25 Proyección de producción de niobio, 2018-2035 (t de Nb)



Fuente: CRU

Tabla 18 Proyección de producción de niobio, 2018-2035 (t de Nb)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Brasil	60.000	60.000	63.000	64.000	66.000	67.000	70.000	71.000	73.000	75.000
Canadá	3.020	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	5.000	5.000	5.000
Resto del mundo	120	120	120	120	200	200	200	200	200	300
Total mundial	63.140	64.120	67.120	68.120	70.200	71.200	74.200	76.200	78.200	80.300
% cambio anual		1,6%	4,7%	1,5%	3,1%	1,4%	4,2%	2,7%	2,6%	2,7%

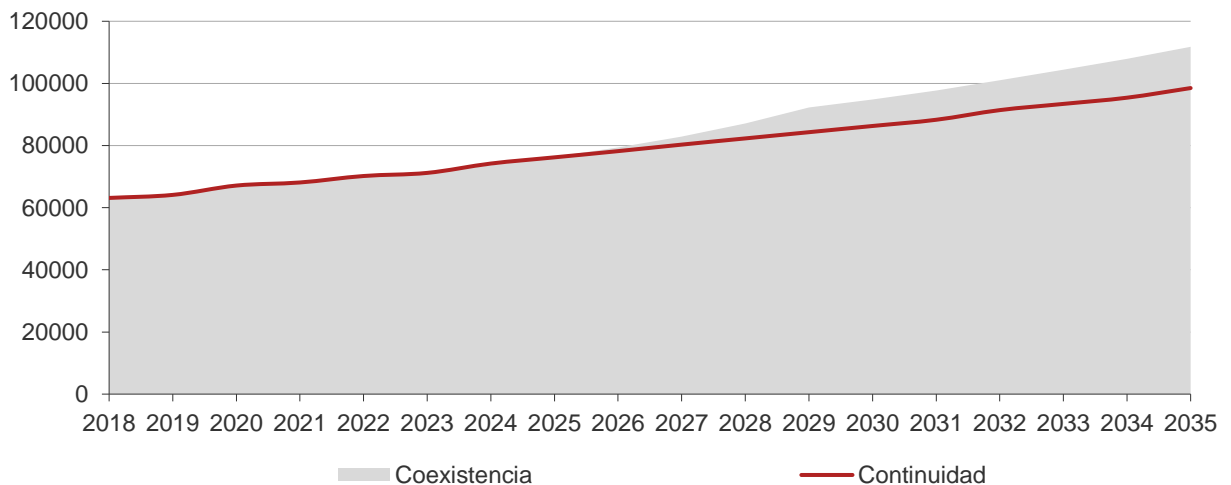
	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-35
Brasil	77.000	79.000	81.000	83.000	86.000	88.000	90.000	93.000	2,6%
Canadá	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	3,0%
Resto del mundo	300	300	300	300	400	400	400	500	8,8%
Total mundial	82.300	84.300	86.300	88.300	91.400	93.400	95.400	98.500	2,7%
% cambio anual	2,5%	2,4%	2,4%	2,3%	3,5%	2,2%	2,1%	3,2%	

Fuente: CRU

Escenario 2 – Coexistencia

En el mediano plazo, la oferta no se puede ajustar a la demanda (referirse a documento “Análisis de escenarios”). En el largo plazo, sin embargo, la producción sigue la tendencia de la demanda. Para el caso del niobio, en el escenario Coexistencia esto significa que la oferta se mantiene por sobre los valores esperados bajo el escenario Continuidad.

Figura 26 Oferta en escenario Continuidad vs. Coexistencia para niobio (t)



Fuente: CRU

Tabla 19 Oferta en escenario Continuidad vs. Coexistencia para niobio (t)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	63.140	64.120	67.120	68.120	70.200	71.200	74.200	76.200	78.200	80.300
Coexistencia	63.140	64.120	67.120	68.120	70.200	71.200	73.588	76.358	79.392	82.881
Diferencia*	-	-	-	-	-	-	-612	158	1.192	2.581

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035
Continuidad	82.300	84.300	86.300	88.300	91.400	93.400	95.400	98.500	2,7%
Coexistencia	87.089	92.295	94.826	97.665	100.996	104.448	107.908	111.774	3,4%
Diferencia*	4.789	7.995	8.526	9.365	9.596	11.048	12.508	13.274	

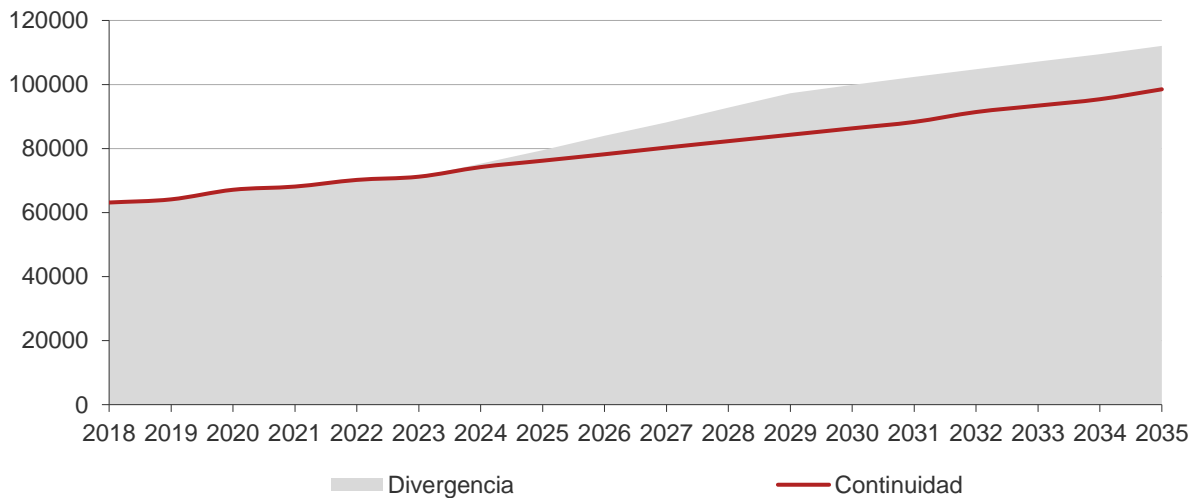
* Diferencia calculada como Divergencia menos Continuidad

Fuente: CRU

Escenario 3 – Divergencia

Al igual que en el escenario Coexistencia, en el escenario Divergencia vemos que la oferta de niobio sigue a la demanda después del año 2023, manteniéndose por sobre la oferta estimada para el caso Continuidad.

Figura 27 Oferta en escenario Continuidad vs. Divergencia para niobio (t)



Fuente: CRU

Tabla 20 Oferta en escenario Continuidad vs. Divergencia para niobio (t)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	63.140	64.120	67.120	68.120	70.200	71.200	74.200	76.200	78.200	80.300
Divergencia	63.140	64.120	67.120	68.120	70.200	71.200	75.297	79.499	83.962	88.209
Diferencia*	-	-	-	-	-	-	1.097	3.299	5.762	7.909

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035
Continuidad	82.300	84.300	86.300	88.300	91.400	93.400	95.400	98.500	2,7%
Divergencia	92.781	97.284	99.903	102.360	104.742	107.181	109.501	112.060	3,4%
Diferencia*	10.481	12.984	13.603	14.060	13.342	13.781	14.101	13.560	

* Diferencia calculada como Divergencia menos Continuidad

Fuente: CRU

1.3.9. Producción histórica de tantalio

En el periodo 2005 a 2017 han sucedido cambios considerables en la extracción y procesamiento de concentrados de tantalio. Después de la escalada de precios en 2000 y su subsecuente colapso, varias operaciones mineras fueron forzadas a cerrar ya que colapsó la demanda por parte de las plantas procesadoras. Cuando la crisis financiera de 2008/9 golpeó, la industria del tantalio también recibió un golpe y cuatro grandes minas dejaron de producir: Greenbushes y Wodgina en Australia; Tanco en Canadá y Marropino en Mozambique. Dos de estas minas, Wodgina y Marropino, reabrieron en 2011. En agosto de 2013, sin embargo, se reportó que la mina Marropino había cerrado y que éste sería un cierre permanente. Al mismo tiempo, la preocupación por los minerales en conflictos en África, dentro de los cuales se encontraba el tantalio, provocó cambio en las cadenas de suministro a los procesadores.

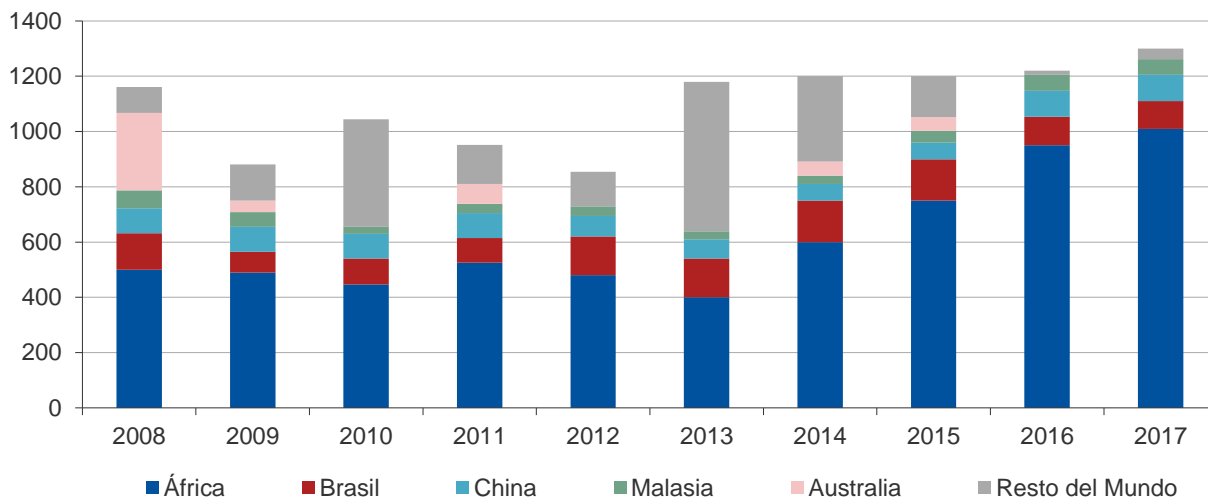
La producción artesanal de coltán es una fuente de suministro de bajo costo y, como resultado de iniciativas de suministro ético que han asegurado que este material no genera fondos para conflictos y que no usa mano de obra infantil, mucho más de este material sea aceptado en la cadena productiva global.

La mina de tantalio operativa más grande actualmente es Mibra en Brasil, que recientemente aumentó su capacidad de 500.000 lbs de Ta₂O₅ al año. La siguiente operación más importante es la mina Kenticha operada por Etiopia Mineral Development Enterprise, seguida por la mina Lovozero en Rusia. Le siguen la mina Yichun en China y la mina Pitinga en Brasil, que es parte de Minsur Group.

El otro desarrollo importante que ha acontecido en la industria del tantalio es el desarrollo de la minería del litio en roca dura. En la mina Wodgina, Talisman Lithium está extrayendo y procesando el yacimiento. Talisman toma el concentrado de litio y la fracción de tantalio se

envía a Greenbushes para su procesamiento. Esta fuente de tantalio podría aumentar rápidamente dependiendo del desarrollo de operaciones de litio con estas características.

Figura 28 Producción histórica de tantalio, 2008-2017 (t de Ta)



Fuente: TIC, USGS, CRU

Tabla 21 Producción histórica de tantalio, 2008-2017 (t de Ta)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
África	500	490	447	525	480	400	600	750	950	1.010	8,1%
Brasil	132	75	93	90	140	140	150	150	103	100	-3,0%
China	90	90	90	90	75	70	60	60	94	95	0,6%
Malasia	65	53	25	33	35	29	31	42	58	57	-1,4%
Australia	280	42	0	72	0	0	50	50	0	0	N/A
Resto del Mundo	95	131	389	141	125	541	309	148	15	38	-9,7%
Total Mundial	1.162	881	1.044	951	855	1.180	1.200	1.200	1.220	1.300	1,3%
% cambio anual		-24,1%	18,5%	-8,9%	-10,2%	38,1%	1,7%	0,0%	1,7%	6,6%	

Fuente: TIC, USGS, CRU

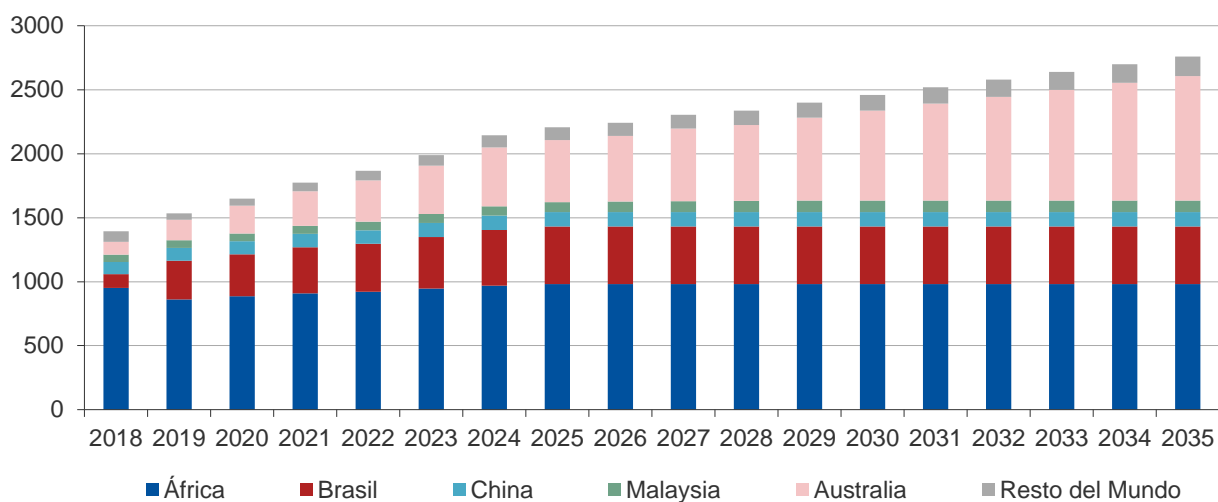
Las fuentes de tantalio son más numerosas que las de niobio y la producción desde fuentes primarias es solo una fuente. Cantidades significativas de tantalio vienen del procesamiento de escoria de estaño de Malasia y Tailandia y de materiales secundario como chatarra y residuos. Estimaciones para estos volúmenes entre 2008 y 2017 se presentan en la sección de balance de mercado del tantalio.

1.3.10. Proyección de producción de tantalio

Escenario 1 - Continuidad

Parte importante de la producción futura de tantalio continuará viniendo de África Central. La producción de esta zona reacciona rápidamente a cambios en la demanda. Los programas de trazabilidad instaurados en los últimos años han resuelto el conflicto pasado relacionado a temas de trabajo infantil y financiamiento de grupos armados. Los principales procesadores de tantalio citan variados procedimientos de certificación para su suministro de material.

Figura 29 Proyección de la producción de tantalio , 2018-2035 (t de Ta)



Fuente: CRU

Tabla 22 Proyección de la producción de tantalio , 2018-2035 (t de Ta)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
África	950	862	885	909	921	945	969	981	981	981
Brasil	110	302	330	360	375	405	435	450	450	450
China	95	99	102	105	107	110	113	114	114	114
Malaysia	57	60	60	63	66	69	73	77	80	84
Australia	100	162	216	270	324	378	459	486	513	567
Resto del mundo	83	48	57	66	73	82	95	99	102	108
Total mundial	1.395	1.533	1.650	1.773	1.866	1.989	2.143	2.207	2.240	2.304
% cambio anual		9,9%	7,6%	7,5%	5,3%	6,6%	7,7%	3,0%	1,5%	2,9%

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-35
África	981	981	981	981	981	981	981	981	0,2%
Brasil	450	450	450	450	450	450	450	450	8,6%
China	114	114	114	114	114	114	114	114	1,1%
Malaysia	86	88	90	90	90	90	90	90	2,7%
Australia	594	648	702	756	810	864	918	972	14,3%
Resto del mundo	111	117	123	129	135	141	147	153	3,7%
Total mundial	2.336	2.398	2.460	2.520	2.580	2.640	2.700	2.760	4,1%
% cambio anual		1,4%	2,7%	2,6%	2,4%	2,4%	2,3%	2,3%	2,2%

Fuente: CRU

El cambio clave en términos de oferta será el efecto que puede tener el rápido aumento de la demanda por litio. Como se mencionó anteriormente, se espera que se produzca un monto significativo de tantalio en forma de subproductos a partir de proyectos de litio de roca dura. De hecho, algunas minas existentes como la mina AMG Mibra en Brasil, Mineral Resources, la mina Wodgina en Australia ya están cambiando su foco al litio.

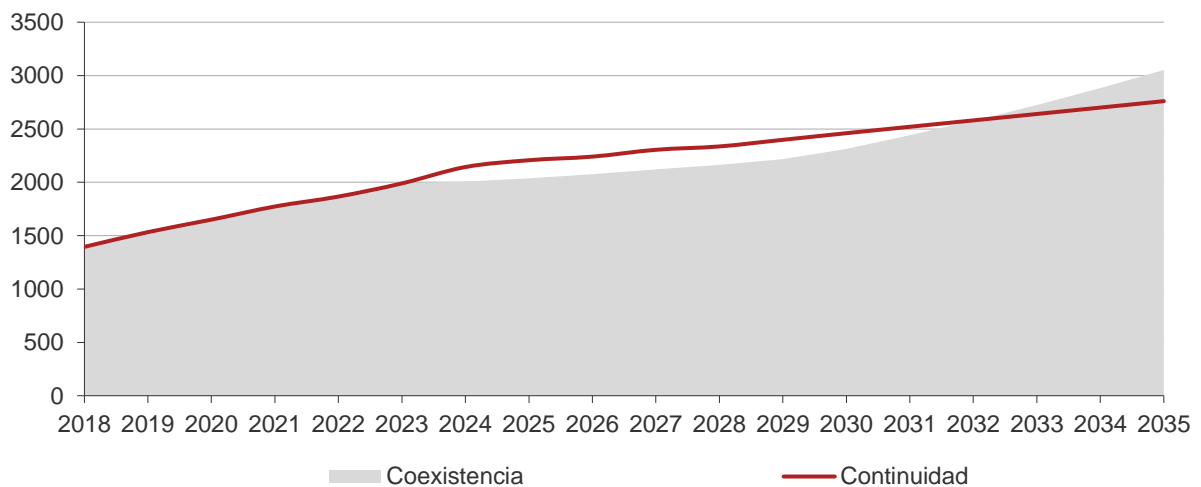
Algunos cálculos hechos por futuros operadores indican que el contenido de metal de tantalio de seis minas en Australia occidental podría generar más de 700 toneladas de tantalio por año a principios de la década de 2020s.

El suministro futuro de minerales de tantalio podría fácilmente sobrepasar la demanda debido principalmente al alza en la producción de la extracción del litio. Esto reduciría la necesidad de la producción artesanal.

Escenario 2 – Coexistencia

En el mediano plazo, la oferta no se puede ajustar a la demanda, mientras que en el largo plazo la producción sigue la tendencia de la demanda. Para el caso del tantalio, esto significa que la oferta en Coexistencia se mantiene por debajo de la oferta en el escenario Continuidad por la mayor parte del periodo proyectado.

Figura 30 Oferta en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tantalio (t)



Fuente: CRU

Tabla 23 Oferta en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tantalio (t)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	1.395	1.533	1.650	1.773	1.866	1.989	2.143	2.207	2.240	2.304
Coexistencia	1.395	1.533	1.650	1.773	1.866	1.989	2.007	2.038	2.074	2.120
Diferencia*	-	-	-	-	-	-	-136	-169	-166	-185

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC2018-2035
Continuidad	2.336	2.398	2.460	2.520	2.580	2.640	2.700	2.760	4,1%
Coexistencia	2.164	2.216	2.314	2.440	2.578	2.724	2.881	3.052	4,7%
Diferencia*	-172	-182	-146	-80	-2	84	181	292	

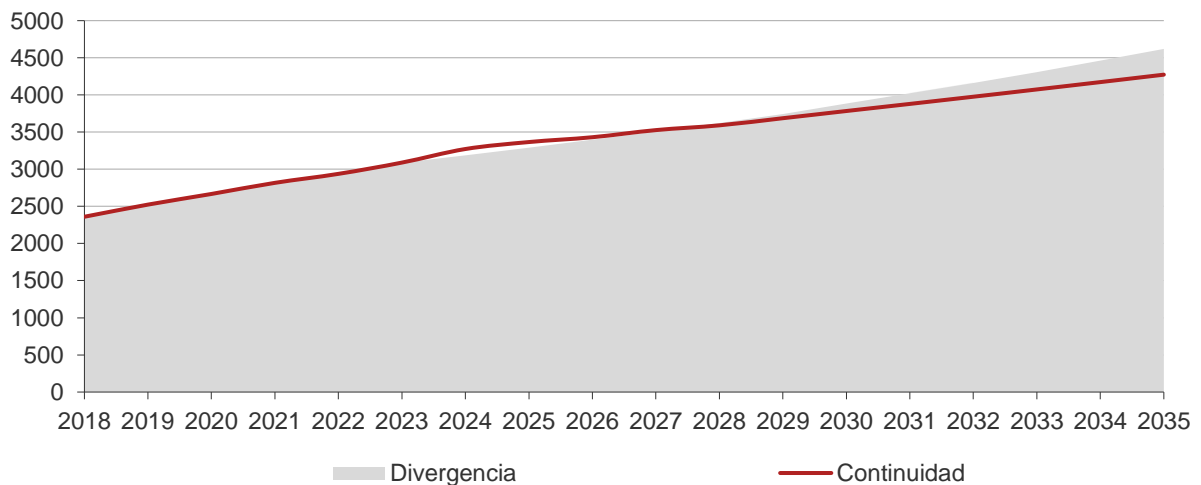
* Diferencia calculada como Divergencia menos Continuidad

Fuente: CRU

Escenario 3 – Divergencia

Al igual que en el escenario Coexistencia, en el escenario Divergencia vemos que la oferta de tantalio sigue a la demanda después del año 2023. Como consecuencia, la oferta en Divergencia se mantiene por sobre la oferta en Continuidad desde 2028 en adelante.

Figura 31 Oferta en escenario Continuidad vs. Divergencia para tantalio (t)



Fuente: CRU

Tabla 24 Oferta en escenario Continuidad vs. Divergencia para tantalio (t)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	1.395	1.533	1.650	1.773	1.866	1.989	2.143	2.207	2.240	2.304
Divergencia	1.395	1.533	1.650	1.773	1.866	1.989	2.059	2.130	2.206	2.283
Diferencia*	-	-	-	-	-	-	-84,3	-76,3	-34,8	-21,5

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035
Continuidad	2.336	2.398	2.460	2.520	2.580	2.640	2.700	2.760	4,1%
Divergencia	2.366	2.452	2.561	2.661	2.764	2.873	2.987	3.106	4,8%
Diferencia*	30,0	53,9	101,1	141,1	184,4	233,0	286,8	346,4	

* Diferencia calculada como Divergencia menos Continuidad

Fuente: CRU

1.4. Balance de mercado y precio de niobio & tantalio

1.4.1. Descripción de la estructura y mecanismos de precio del niobio & tantalio

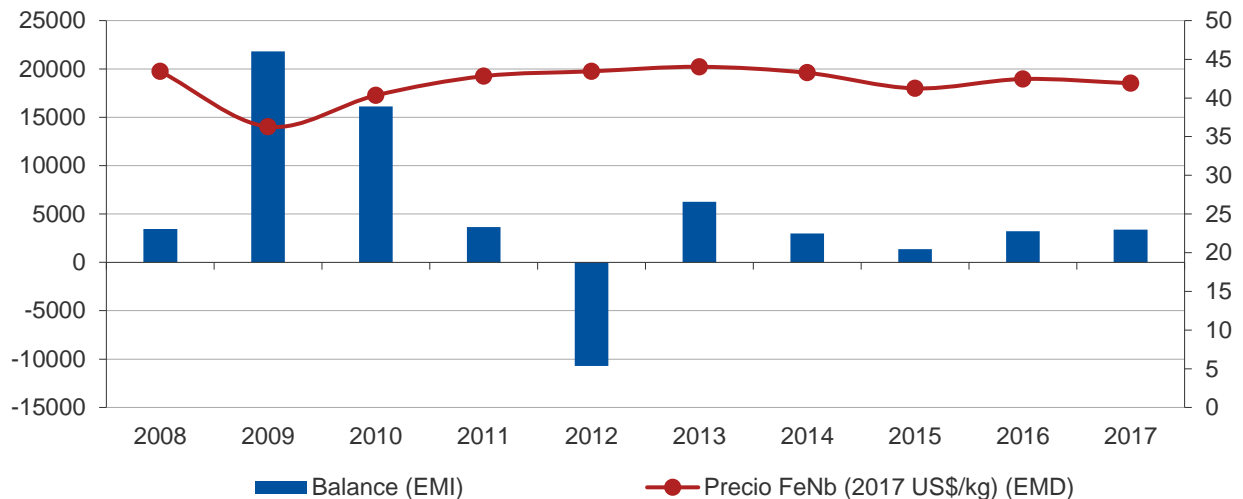
Estos dos metales no son comercializados en ninguna bolsa de metales y los precios acordados son negociados principalmente entre las minas que los producen, comercializadores y un número muy pequeño de procesadores. El valor de este mercado aumenta significativamente a medida que los concentrados se procesan para convertirse en metal.

Los procesadores venden directamente el ferroniobio a los usuarios finales. El rango de contratos típico de ferroniobio tiene una duración de entre 3 meses a contratos de duración indeterminada, donde las cantidades y precios son renegociados anualmente.

1.4.2. Balance de mercado y precio histórico del niobio

Históricamente el ferroniobio ha estado estable en su precio y se ha controlado por las ventas contractuales a molinos de acero y a algunos comercializadores seleccionados por el productor mayoritario CBMM. CBMM ha mantenido el precio estable para mantener la demanda a niveles específicos, evitando las fluctuaciones en los volúmenes de venta. Este “precio estabilizador” se encuentra alrededor de los US\$40/kg de ferroniobio.

Figura 32 Balance histórico del mercado y precios del niobio, 2008-2017



Fuente: TIC, USGS, CRU

Tabla 25 Balance histórico del mercado y precios del niobio, 2008-2017

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
Balance (t de Nb)											
Oferta	62.863	61.700	62.940	63.362	50.085	59.360	55.900	63.000	63.800	72.800	1,6%
Demanda	59.400	39.900	46.800	59.700	60.800	53.100	52.900	61.648	60.596	69.413	1,7%
Balance	3.463	21.800	16.140	3.662	-10.715	6.260	3.000	1.352	3.204	3.387	-0,2%
Precio											
Precio FeNb (2017 US\$/kg)	43,4	36,3	40,3	42,8	43,4	44,0	43,3	41,2	42,4	41,9	-0,4%
Precio FeNb (US\$/kg)	38,0	32,0	36,0	39,0	40,3	41,5	41,5	40,0	41,7	41,9	1,1%

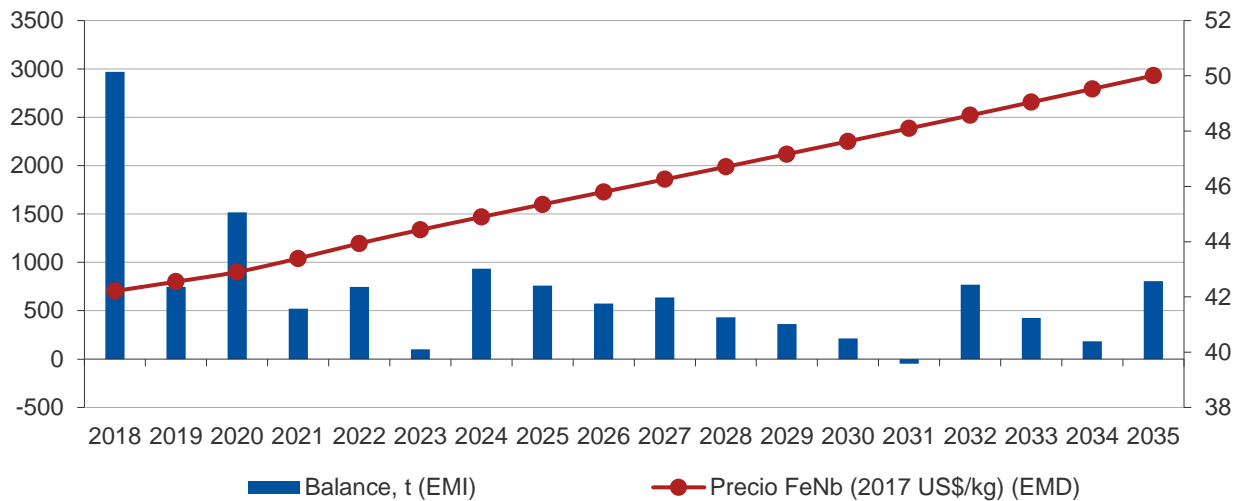
Fuente: TIC, USGS, CRU

1.4.3. Pronóstico de balance de mercado y precio del niobio

Escenario 1 – Continuidad

La capacidad de producción de ferroniobio actual se estima que es de 170.000 toneladas p.a., con 120.000 toneladas de esa capacidad siendo brasileras. Esta capacidad es suficiente para satisfacer la demanda proyectada hasta el año 2035, lo que al mismo tiempo posibilita que la CBMM mantenga el control de la oferta y el precio. Con esto en mente, esperamos que esta empresa mantenga su política actual de un precio estable con ajustes inflacionarios de alrededor de un 3% p.a..

Figura 33 Proyección de balance de mercado y precio de niobio, 2018-2035 (t de Nb)



Fuente: CRU

Tabla 26 Proyección de balance de mercado de niobio, 2018-2035 (t de Nb)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Oferta	63.140	64.120	67.120	68.120	70.200	71.200	74.200	76.200	78.200	80.300
Demanda	60.171	63.373	65.604	67.598	69.454	71.101	73.266	75.440	77.627	79.664
Balance	2.969	747	1.516	522	746	99	934	760	573	636

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-35
Oferta	82.300	84.300	86.300	88.300	91.400	93.400	95.400	98.500	2,7%
Demanda	81.869	83.938	86.086	88.349	90.631	92.975	95.218	97.694	2,9%
Balance	431	362	214	(49)	769	425	182	806	

Fuente: CRU

Tabla 27 Proyección de precio del niobio, 2018-2035 (t de Nb)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Precio FeNb (2017 US\$/kg)	42,2	42,6	42,9	43,4	43,9	44,4	44,9	45,3	45,8	46,3
Precio FeNb (US\$/kg)	43,0	44,3	45,6	47,0	48,4	49,8	51,3	52,9	54,5	56,1

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-35
Precio FeNb (2017 US\$/kg)	46,7	47,2	47,6	48,1	48,6	49,0	49,5	50,0	1,0%
Precio FeNb (US\$/kg)	57,8	59,5	61,3	63,1	65,0	67,0	69,0	71,1	3,0%

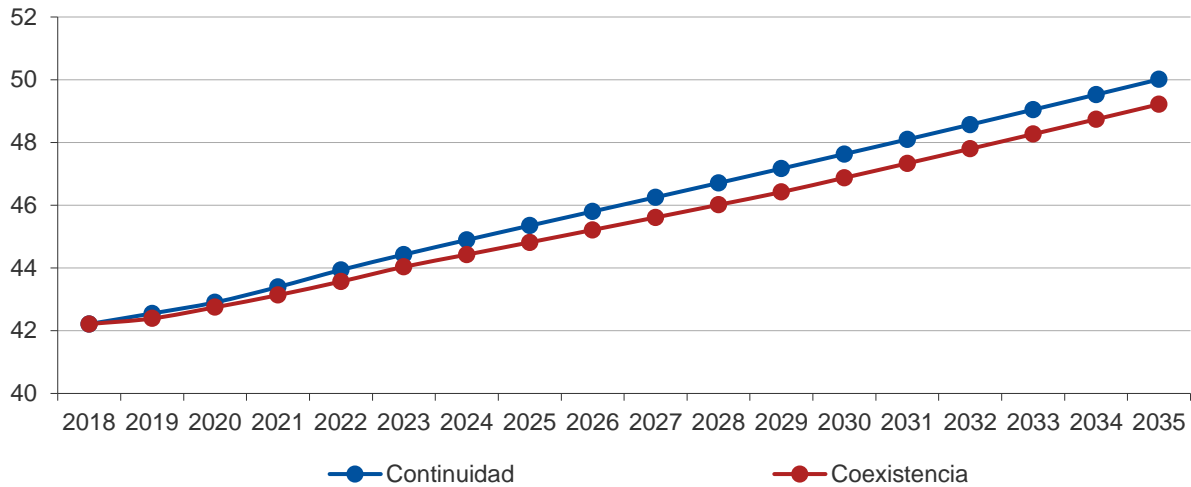
Fuente: CRU

Escenario 2 – Coexistencia

En el mediano plazo, el escenario Coexistencia presenta una demanda levemente menor que el escenario Continuidad en el periodo 2018-2021. Para el largo plazo, el precio de largo plazo se estimó en US\$46,4 /kg en el escenario Coexistencia, US\$0,7 /kg menor que el precio de largo

plazo del escenario Continuidad. Como consecuencia, el precio en el escenario Coexistencia se mantiene consistentemente por debajo del precio del escenario Continuidad.

Figura 34 Precios en escenario Continuidad vs. Coexistencia para FeNb (2017 US\$/kg)



Fuente: CRU

Tabla 28 Precios en escenario Continuidad vs. Coexistencia para FeNb (2017 US\$/kg)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	42,2	42,6	42,9	43,4	43,9	44,4	44,9	45,3	45,8	46,3
Coexistencia	42,2	42,4	42,7	43,1	43,6	44,0	44,4	44,8	45,2	45,6
Diferencia*	-	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035
Continuidad	46,7	47,2	47,6	48,1	48,6	49,0	49,5	50,0	1,0%
Coexistencia	46,0	46,4	46,9	47,3	47,8	48,3	48,7	49,2	0,9%
Diferencia*	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	

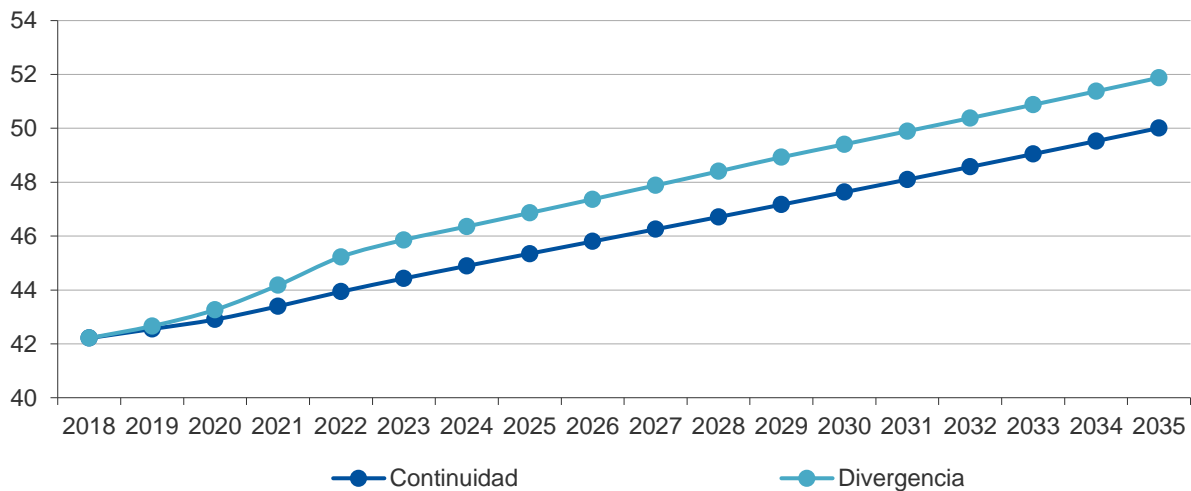
* Diferencia calculada como Coexistencia menos Continuidad

Fuente: CRU

Escenario 3 – Divergencia

Al igual que en el escenario Coexistencia, el perfil de precios del FeNb en el escenario Divergencia depende de la demanda en el mediano plazo y del CMLP en el largo plazo. El precio del FeNb bajo el escenario Divergencia se mantiene consistentemente por sobre el escenario Continuidad, alcanzando un precio de largo plazo US\$1,8 /kg mayor que el observado en Continuidad.

Figura 35 Precios en escenario Continuidad vs. Divergencia para FeNb (2017 US\$/kg)



Fuente: CRU

Tabla 29 Precios en escenario Continuidad vs. Divergencia para FeNb (2017 US\$/kg)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	42,2	42,6	42,9	43,4	43,9	44,4	44,9	45,3	45,8	46,3
Divergencia	42,2	42,7	43,3	44,2	45,2	45,9	46,4	46,9	47,4	47,9
Diferencia*	-	0,11	0,4	0,8	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035
Continuidad	46,7	47,2	47,6	48,1	48,6	49,0	49,5	50,0	1,0%
Divergencia	48,4	48,9	49,4	49,9	50,4	50,9	51,4	51,9	1,2%
Diferencia*	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	

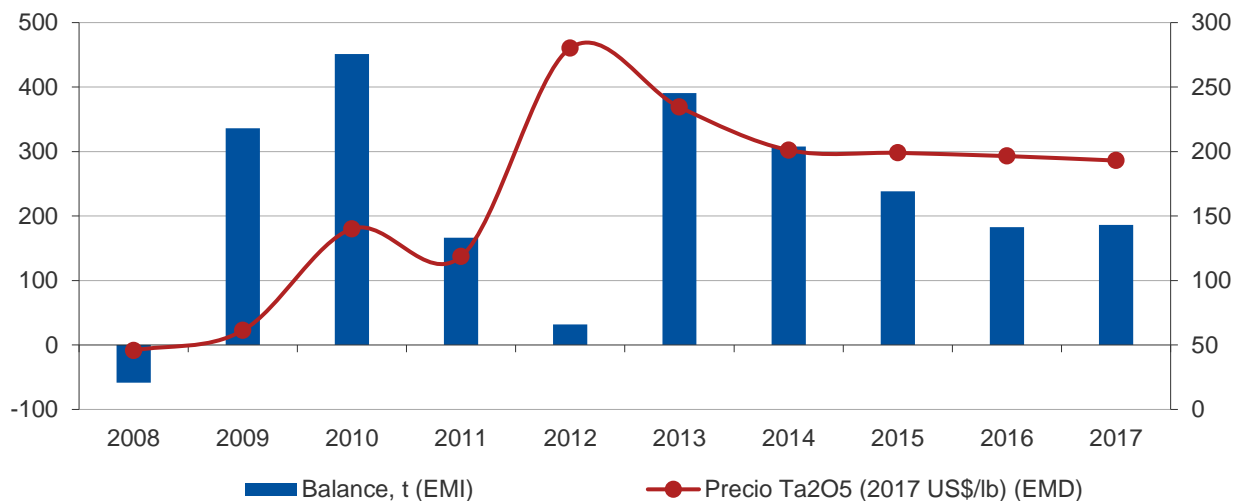
* Diferencia calculada como Divergencia menos Continuidad

Fuente: CRU

1.4.4. Balance de mercado y precio histórico del tantalio

El precio del pentóxido de tantalio en los concentrados ha fluctuado considerablemente, lo que no se ha correlacionado con nuestros estimados anuales de oferta y demanda.

Figura 36 Balance histórico de mercado y precios del tantalio, 2008-2017



Fuente: TIC, USGS, CRU

Tabla 30 Balance histórico del mercado y precios del tantalio, 2008-2017

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
Balance (t)											
Oferta	2.022	1.696	1.891	1.731	1.692	2.127	2.124	2.138	2.170	2.265	1,3%
<i>Concentrado de Ta</i>	1.162	881	1.044	951	855	1.180	1.200	1.200	1.220	1.300	1,3%
<i>Relaves de estaño</i>	260	145	157	80	112	197	164	168	170	175	-4,3%
<i>Producción secundaria</i>	600	670	690	700	725	750	760	770	780	790	3,1%
Demanda	2.080	1.360	1.440	1.565	1.660	1.736	1.816	1.900	1.987	2.079	0,0%
Balance	-58	336	451	166	32	391	308	238	183	186	1,3%
Precio											
Precio Ta2O5 (2017 US\$/lb)	45,7	61,2	140,1	118,6	280,3	234,4	201,1	199,0	196,5	193,0	17,4%
Precio Ta2O5 (US\$/lb)	40,0	54,0	125,0	108,0	260,0	221,0	193,0	193,0	193,0	193,0	19,1%

Fuente: TIC, USGS, CRU

1.4.5. Pronóstico de balance de mercado y precio del tantalio

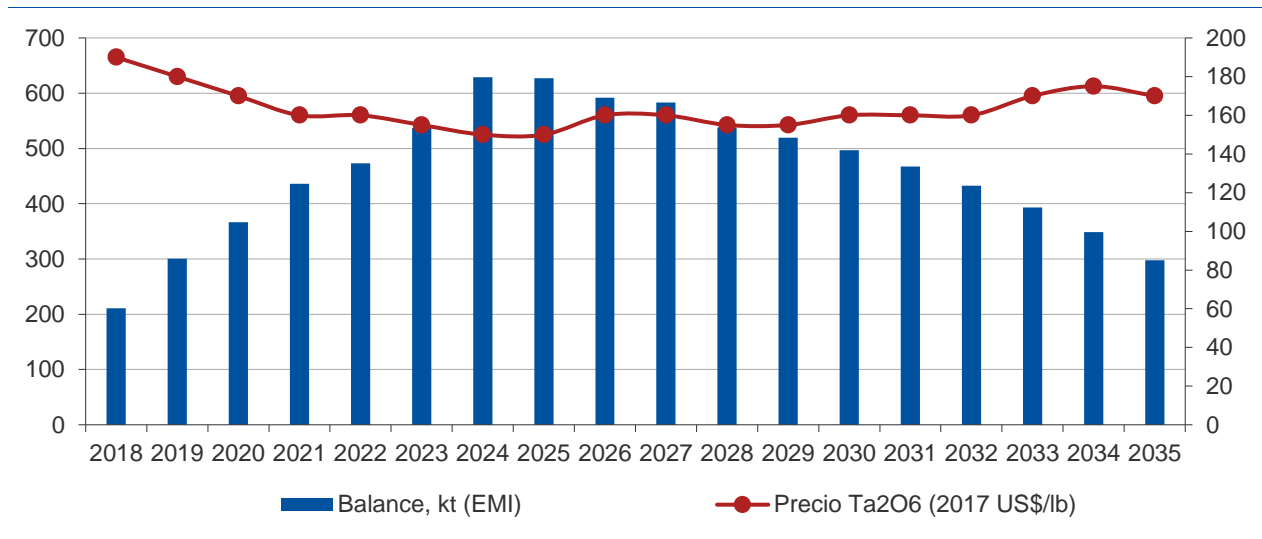
Nuestro pronóstico para el balance de mercado del tantalio toma en consideración que la oferta a partir de minería aumentará significativamente debido a la minería de litio de roca dura, lo que a cambio limitará el alcance del suministro de coltán artesanal y tantalita. Nuestro pronóstico aquí se ha basado en una visión pesimista de los volúmenes potenciales que puedan ser generados por la minería de litio de roca dura.

Históricamente la producción de mineral de tantalio y concentrados ha satisfecho la demanda consistentemente, con un excedente. Ahora, con el aumento en la oferta por la extracción de litio, el panorama es de un excedente consistente. Los precios podrían caer de los niveles de

precios actuales de US\$190/lb Ta₂O₅ hasta US\$150/lb Ta₂O₅. Hemos seleccionado este valor como el valor mínimo que podría alcanzar el precio, tomando en consideración nuestras estimaciones para el costo marginal de largo plazo.

Es poco probable que la oferta de tantalio a partir de escoria de estaño cambie mucho, ya que no se espera que la producción de estaño muestre un gran crecimiento. El reciclaje de tantalio debería aumentar a medida que más superaleaciones son recicladas.

Figura 37 Proyección del balance del mercado y precios del tantalio, 2018-2035



Fuente: CRU

Tabla 31 Proyección del balance del mercado de tantalio, 2018-2035 (t)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Oferta	2.360	2.523	2.667	2.817	2.937	3.089	3.272	3.366	3.431	3.527
<i>Concentrado de Ta</i>	1.395	1.533	1.650	1.773	1.866	1.989	2.143	2.207	2.240	2.304
<i>Relaves de estaño</i>	175	177	179	180	182	184	186	188	189	191
<i>Producción secundaria</i>	790	814	838	863	889	916	943	972	1.001	1.031
Demanda	2.149	2.223	2.300	2.380	2.464	2.552	2.643	2.739	2.839	2.943
Balance	211	300	367	436	473	537	629	627	592	583
	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-35	
Oferta	3.591	3.687	3.784	3.879	3.976	4.074	4.173	4.273	3,6%	
<i>Concentrado de Ta</i>	2.336	2.398	2.460	2.520	2.580	2.640	2.700	2.760	4,1%	
<i>Relaves de estaño</i>	193	195	197	199	201	203	205	207	1,0%	
<i>Producción secundaria</i>	1.062	1.094	1.126	1.160	1.195	1.231	1.268	1.306	3,0%	
Demanda	3.053	3.167	3.287	3.412	3.543	3.681	3.825	3.975	3,7%	
Balance	538	520	497	467	433	393	348	298		

Fuente: CRU

Tabla 32 Proyección del balance del mercado de tantalio, 2018-2035

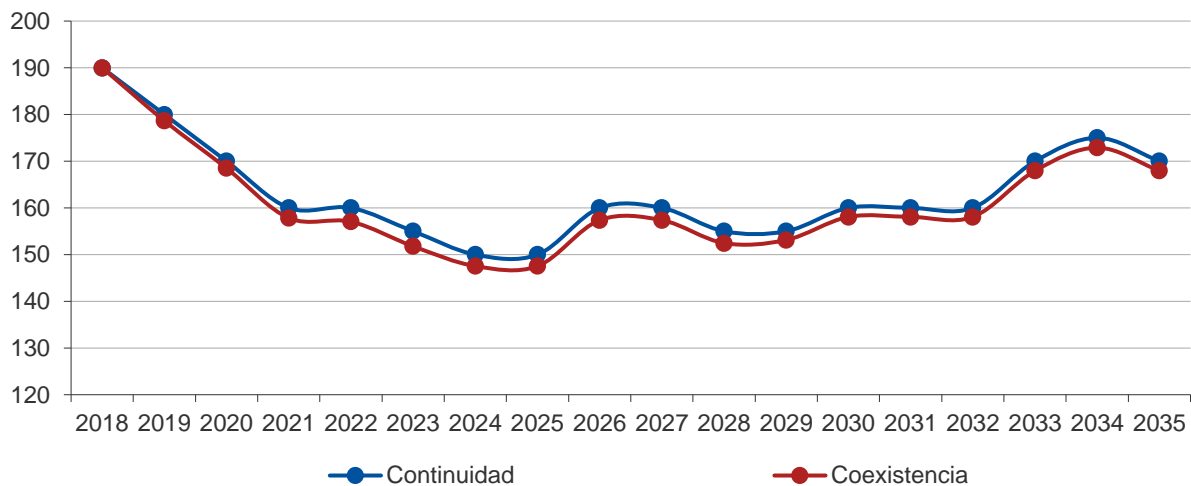
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Precio Ta2O6 (2017 US\$/lb)	190,0	180,0	170,0	160,0	160,0	155,0	150,0	150,0	160,0	160,0
Precio Ta2O6 (US\$/lb)	193,5	187,4	180,8	173,3	176,2	173,9	171,6	174,9	190,3	194,1
	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-35	
Precio Ta2O6 (2017 US\$/lb)	155,0	155,0	160,0	160,0	160,0	170,0	175,0	170,0		-0,7%
Precio Ta2O6 (US\$/lb)	191,8	195,6	205,9	210,1	214,3	232,2	243,8	241,6		1,3%

Fuente: CRU

Escenario 2 – Coexistencia

Con base en la diferencia en demanda entre los escenarios Coexistencia y Continuidad, vemos que los precios del óxido de tantalio en el escenario Coexistencia se mantendrán por debajo de los precios del escenario Continuidad por todo el periodo proyectado.

Figura 38 Precios en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tantalio (2017 US\$/lb)



Fuente: CRU

Tabla 33 Precios en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tantalio (2017 US\$/lb)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	190	180	170	160	160	155	150	150	160	160
Coexistencia	190	179	169	158	157	152	148	148	157	157
Diferencia*	-	-1	-1	-2	-3	-3	-2	-2	-3	-3

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035
Continuidad	155	155	160	160	160	170	175	170	-0,7%
Coexistencia	152	153	158	158	158	168	173	168	-0,7%
Diferencia*	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	

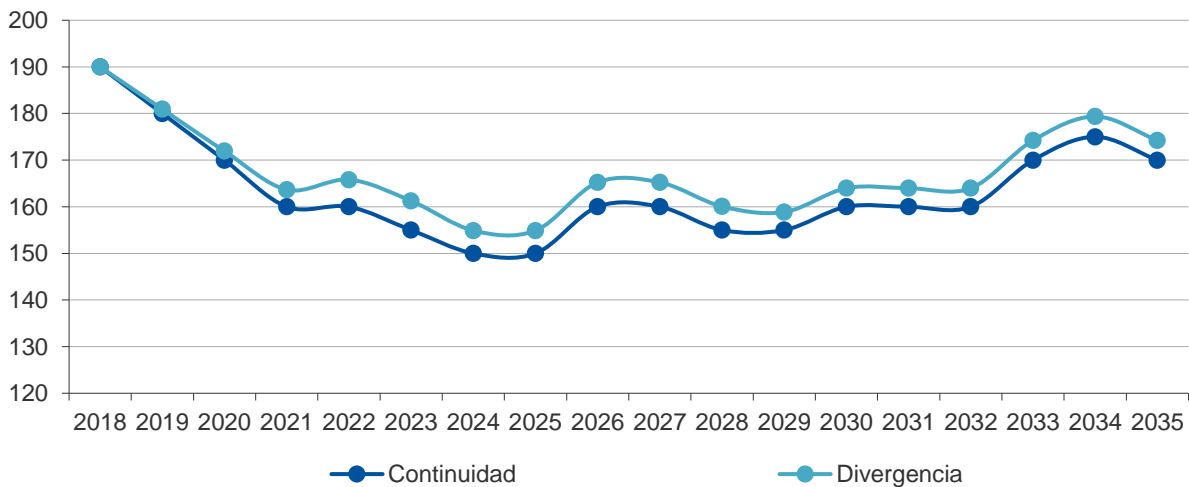
* Diferencia calculada como Coexistencia menos Continuidad

Fuente: CRU

Escenario 3 – Divergencia

En el escenario Divergencia, esperamos que los precios de tantalio se mantengan consistentemente por sobre el precio del escenario Continuidad.

Figura 39 Precios en escenario Continuidad vs. Divergencia para tantalio (2017 US\$/lb)



Fuente: CRU

Tabla 34 Precios en escenario Continuidad vs. Divergencia para tantalio (2017 US\$/lb)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	190	180	170	160	160	155	150	150	160	160
Divergencia	190	181	172	164	166	161	155	155	165	165
Diferencia*	-	1	2	4	6	6	5	5	5	5

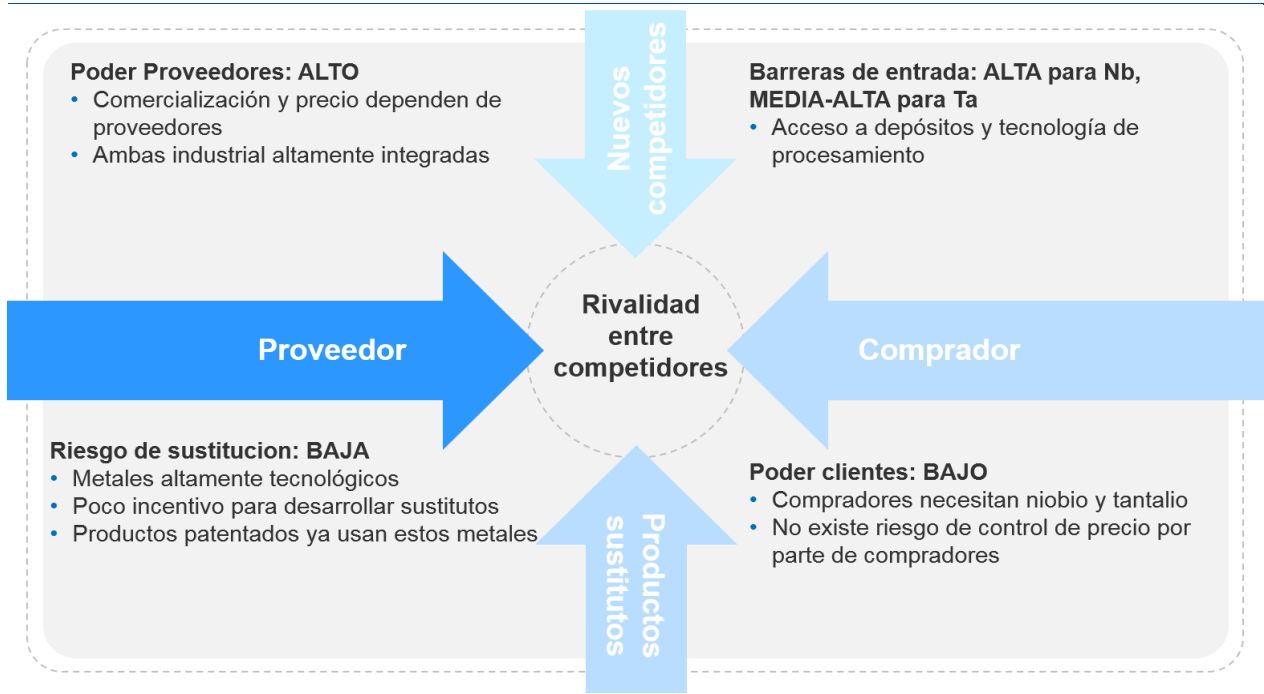
	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC2018-2035
Continuidad	155	155	160	160	160	170	175	170	-0,7%
Divergencia	160	159	164	164	164	174	179	174	-0,5%
Diferencia*	5	4	4	4	4	4	4	4	

* Diferencia calculada como Divergencia menos Continuidad

Fuente: CRU

1.5. Análisis de las cinco fuerzas de Porter para el niobio y el tantalio

Figura 40 Modelo de las cinco fuerzas de Porter para el niobio y el tantalio



Fuente: CRU

El poder de comercialización y de precio del mercado de niobio y tantalio yace en sus procesadores. En términos del análisis de Porter, el *poder del proveedor* está en manos de estos procesadores.

En el caso del niobio yace en una extracción integrada, procesamiento y operación de comercialización. La compañía más grande de extracción de niobio, CBMM de Brasil, también ha desarrollado la tecnología de procesamiento y afirma ser quien creó el mercado del niobio. Esta compañía es la que domina el sector produciendo la mayoría del ferroniobio mundial, así como también una gran parte de los actuales químicos de niobio y producción de compuestos.

En el caso del tantalio, Global Advanced Metals son los dueños de las operaciones mineras de Greenbushes y Wodgina. Recientemente compraron las operaciones de procesamiento Cabot en EEUU, y también producen polvo de condensadores en Japón. Se le conoce como el principal productor de tantalio por su integración vertical de extracción y procesamiento.

Las *barreras de entrada* son mayores en el caso del niobio. Para competir en este mercado, un nuevo proveedor necesitaría un gran yacimiento de mineral de niobio o pirocloro y adquirir la tecnología para producir ferroniobio y los productos especializados de niobio. Además, hay que tener en mente que el proveedor predominante, CBMM, puede proveer el mercado actual y pronosticado hasta el 2032 y posee la propiedad intelectual relacionada con la producción de ferroniobio.

En el tantalio, las *barreras de entrada* son bajas a nivel de producción del concentrado y todo lo que se requiere es acceso a un yacimiento de mineral adecuado. Sin embargo, el procesamiento de concentrados para obtener polvo y alambre de tantalio se concentra en un procesador principal que integra la producción del concentrado hasta la producción de condensadores, y en este nivel las barreras de entrada son altas. Hay una pequeña rivalidad entre los cuatro procesadores de tantalio, pero Global Advanced Materials es el operador dominante.

La amenaza de la sustitución es baja tanto para niobio como para tantalio.

El poder del comprador es mucho menor en comparación del poder del proveedor en ambos metales. Las compañías de aceros disfrutaban los beneficios significativos del niobio en los aceros que producen y los productores de condensadores y compañías de químicos necesitan el tantalio para muchos otros de sus productos claves. Por lo tanto, es difícil ver cómo ellos podrían controlar el precio bajo estas circunstancias.

Anexo I. Glosario

Monedas y medidas de valor

Sigla	Significado
US\$	Dólar estadounidense
US\$/t	Dólar estadounidense por tonelada
US\$/kg	Dólar estadounidense por kilogramo
US\$/lb	Dólar estadounidense por libra

Empresas e Instituciones

Sigla	Significado
USGS	United States Geological Service / Servicio Geológico Estadounidense
TIC	<i>Tantalum-Niobium International Study Center</i> / Centro de Estudio Internacional del Tantalio-Niobio
DRC	<i>Democratic Republic of the Congo</i> / República democrática del Congo
CBMM	<i>Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração</i> / Empresa Brasileña de Metalurgia y Minería
BGS	<i>British Geological Survey</i> / Estudio geológico británico
CMOC	<i>China Molybdenum CO., LTD.</i>
AMG	<i>AMG Mineração S.A</i>

Medidas de peso

Sigla	Significado
kt	Miles de toneladas
Mt	Millones de toneladas

Otros

Sigla	Significado
HSLA	<i>High-strength low-alloy steel</i> / Acero de alta resistencia y baja aleación.
LCT	Litio, Cesio y Tantalio
CMCP	<i>Long run marginal cost</i> / Costo marginal de largo plazo
PIB	Producto Interno Bruto
SRMC – CMCP	<i>Short run marginal cost</i> / Costo marginal de corto plazo
TCAC	Tasa de Crecimiento Anual Compuesto
p.a.	Por año

Anexo II. Bibliografía

1. Tantalum-Niobium International Study Center (TIC)
2. Global Trade Information Services. IHS Markit GTA
3. MARSHALL, Alfred. Principles of Economics. XVIII ed. Nueva York, Cosimo Inc, 2006.
4. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries. 2009 – 2018. Disponible en Internet: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf>