



# Titanio

**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 ha proporcionado de manera privada y confidencial al cliente. No debe divulgarse por completo o por partes, directa o indirectamente o en cualquier otro formato a ninguna otra compañía, organización o individuo sin el permiso previo por escrito de CRU International Limited.

Se otorga permiso para la divulgación de este informe a las subsidiarias de propiedad mayoritaria de una compañía y su organización matriz. Sin embargo, cuando el informe se proporciona a un cliente en su calidad de administrador de una empresa conjunta o sociedad, no puede divulgarse a los demás participantes sin autorización adicional.

La responsabilidad de CRU International Limited es exclusiva con su cliente directo. Su responsabilidad se limita al monto de las tarifas efectivamente pagadas por los servicios profesionales involucrados en la preparación de este informe. No aceptamos responsabilidad hacia terceros, independientemente de cómo surja. Aunque este informe ha sido elaborado de forma diligente y cuidado razonable, no garantizamos la exactitud de ningún dato, supuesto, pronóstico u otra declaración prospectiva.

Copyright CRU International Limited 2018. Todos los derechos reservados.

**Augusto Leguía Norte N° 100 Of. 506, Las Condes, Santiago, Chile**  
**Tel: +56 2 2231 3900**

## Tabla de contenidos

<b>1. Mercado del titanio</b>	<b>1</b>
1.1. Resumen Ejecutivo de la industria del titanio.....	1
Introducción .....	2
1.1. Demanda de titanio .....	2
1.1.1. Determinantes de la demanda de titanio y usos finales .....	2
1.1.2. Intensidad de uso & ciclo de desarrollo del titanio .....	6
1.1.3. Sustitución y elasticidad de demanda de titanio .....	7
1.1.4. Demanda histórica de titanio .....	9
1.1.5. Proyección de demanda de titanio.....	10
1.2. Oferta de titanio.....	16
1.2.1. Recursos y reservas de titanio: evolución, tasas de descubrimiento, presupuesto de exploración .....	16
1.2.2. Métodos de extracción y procesamiento de titanio .....	18
1.2.3. Cadena de valor del titanio .....	21
1.2.4. Costo de capital de titanio .....	23
1.2.5. Comercialización de titanio.....	23
1.2.6. Producción histórica de titanio .....	27
1.2.7. Proyección de producción de titanio .....	30
1.3. Balance del mercado y precio del titanio .....	34
1.3.1. Descripción de la estructura y mecanismos de precio .....	34
1.3.2. Balance de mercado y precio histórico del titanio .....	34
1.3.3. Proyección de balance de mercado y precio del titanio .....	36
1.3.4. Análisis de las cinco fuerzas de Porter para el mercado del titanio.....	41
<b>Anexo I. Glosario</b>	<b>42</b>
<b>Anexo II. Bibliografía</b>	<b>43</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1 Aplicaciones en pigmentos e impulsores del crecimiento</b>	<b>3</b>
<b>Tabla 2 Análisis de la elasticidad de la demanda, concentrado de titanio</b>	<b>8</b>
<b>Tabla 3 Demanda histórica de concentrado de TiO<sub>2</sub>, 2008 - 2017 ('000s TiO<sub>2</sub> contenido)</b>	<b>10</b>

Tabla 4 Proyección de demanda de concentrado de TiO <sub>2</sub> , 2018 - 2035 ('000s TiO <sub>2</sub> contenido)	12
Tabla 5 Demanda en escenario Continuidad vs. Coexistencia para concentrado de TiO <sub>2</sub> , (Mt)	14
Tabla 6 Demanda escenario Continuidad vs. Divergencia para concentrado de TiO <sub>2</sub> , (Mt)	15
Tabla 7 Reservas y recursos de titanio, 2008 - 2017 ('000s TiO <sub>2</sub> contenido)	16
Tabla 8 Muestra de gastos de capital en proyectos futuros de arenas minerales	23
Tabla 9 Importaciones de mineral y concentrados de titanio, kt	25
Tabla 10 Importaciones de pigmentos de dióxido de titanio (80% o más por peso en TiO <sub>2</sub> ) (kt)	26
Tabla 11 Exportaciones de mineral y concentrado de titanio (kt)	26
Tabla 12 Exportaciones de pigmento de dióxido de titanio (80% o más por peso en TiO <sub>2</sub> ) (kt)	27
Tabla 13 Producción histórica de concentrado de TiO <sub>2</sub> , 2008 - 2017 ('000s TiO <sub>2</sub> contenido)	29
Tabla 14 Proyección de producción de concentrado de TiO <sub>2</sub> , 2018 - 2035 ('000s TiO <sub>2</sub> contenido)	31
Tabla 15 Oferta en escenario Continuidad vs. Coexistencia para concentrado de TiO <sub>2</sub> (Mt)	32
Tabla 16 Oferta en escenario Continuidad vs. Divergencia para concentrado de TiO <sub>2</sub> (Mt)	33
Tabla 17 Balance de mercado y precios históricos del dióxido de titanio, 2008 - 2017	36
Tabla 18 Proyección de balance de mercado del concentrado de titanio, 2018 - 2035 (kt de TiO <sub>2</sub> contenido)	38
Tabla 19 Proyección de precio por unidad del concentrado de titanio en EEUU, 2018 - 2035 (USD/t)	38
Tabla 20 Precios en escenario Continuidad vs. Coexistencia para concentrado de TiO <sub>2</sub> (2017 US\$/t)	39
Tabla 21 Precios en escenario Continuidad vs. Divergencia para concentrado de TiO <sub>2</sub> (2017 US\$/t)	40

## Índice de figuras

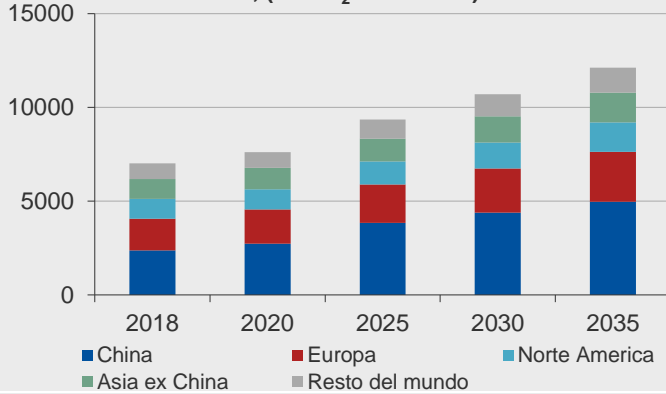
Figura 1 Evaluación del PIB usando el deflactor del PIB de EEUU, 2008 - 2035	4
Figura 2 Nivel de Producción Industrial (PI), 2008 - 2035	4
Figura 3 Consumo de concentrado de TiO <sub>2</sub> por país, 2017	6

Figura 4 Participación de concentrado de TiO <sub>2</sub> por producto, 2017	6
Figura 5 Intensidad de uso según PIB/cápita, 2017	7
Figura 6 Demanda histórica de concentrado de TiO <sub>2</sub> , 2008 - 2017 ('000s TiO <sub>2</sub> contenido)	10
Figura 7 Proyección de demanda de concentrado de TiO <sub>2</sub> , 2018 - 2035 ('000s TiO <sub>2</sub> contenido)	11
Figura 8 Demanda en escenario Continuidad vs. Coexistencia para concentrado de TiO <sub>2</sub> , (Mt)	13
Figura 9 Demanda en escenario Continuidad vs. Divergencia para concentrado de TiO <sub>2</sub> , (Mt)	15
Figura 10 Mapa de las reservas de titanio a 2017 ('000s TiO <sub>2</sub> contenido)	17
Figura 11 Presupuestos de exploración del titanio, 2008-2035 (MUS\$, real 2017)	18
Figura 12 Procesado para pigmento de TiO <sub>2</sub>	21
Figura 13 Cadena de Valor del Titanio	22
Figura 14 Importaciones de minerales y concentrados de titanio, 2017	24
Figura 15 Exportaciones de minerales y concentrados de titanio, 2017	24
Figura 16 Producción de concentrado de TiO <sub>2</sub> , promedio 2010 - 2014 ('000s kt de TiO <sub>2</sub> contenido)	28
Figura 17 Producción de concentrado de TiO <sub>2</sub> por productor, promedio 2010 - 2014 ('000s kt de TiO <sub>2</sub> contenido)	28
Figura 18 Producción histórica de concentrado de TiO <sub>2</sub> , 2008 - 2017 ('000s TiO <sub>2</sub> contenido)	29
Figura 19 Proyección de oferta de concentrado de titanio, 2018 - 2035 ('000s de TiO <sub>2</sub> contenido)	31
Figura 20 Oferta en escenario Continuidad vs. Coexistencia para concentrado de TiO <sub>2</sub> (Mt)	32
Figura 21 Oferta en escenario Continuidad vs. Divergencia para concentrado de TiO <sub>2</sub> (Mt)	33
Figura 22 Balance y precios de mercado históricos del concentrado de TiO <sub>2</sub> , 2008 - 2017, ('000s de TiO <sub>2</sub> contenido)	35
Figura 23 Proyección de balance y precios de mercado del concentrado de TiO <sub>2</sub> , 2018 - 2035, ('000s de TiO <sub>2</sub> contenido)	37
Figura 24 Precios en escenario Continuidad vs. Coexistencia para concentrado de TiO <sub>2</sub> (2017 US\$/t)	39
Figura 25 Precios en escenario Continuidad vs. Divergencia para concentrado de TiO <sub>2</sub> (2017 US\$/t)	40
Figura 26 Análisis de 5 fuerzas de Porter, titanio	41

# 1. Mercado del titanio

## Resumen Ejecutivo de la industria del titanio

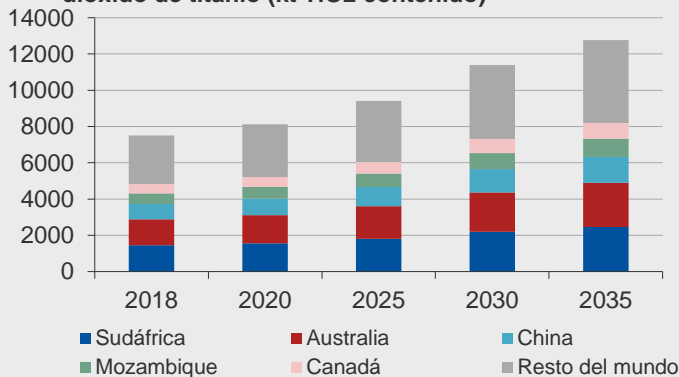
Proyección de demanda de concentrado de dióxido de titanio, (kt TiO<sub>2</sub> contenido)



### DEMANDA

1. Se espera que la demanda del concentrado de dióxido de titanio crezca a una TCAC del 3,3% para el periodo 2018 - 2035.
2. Se estima que el consumo global alcanzará más de 12 Mt en 2035.
3. China es el principal consumidor de concentrado de titanio, con un consumo del 33% del mercado en 2017, una cifra que se espera que aumente a 41% para 2025.
4. El pigmento de TiO<sub>2</sub> representa el mayor consumo de concentrado de dióxido de titanio, con un 95% del mercado en 2017. El sector de las pinturas y recubrimientos es el principal uso final, con un 57% de la producción total de concentrado de titanio.
5. El metal de titanio representa un 5% de la producción total de concentrado de dióxido de titanio.

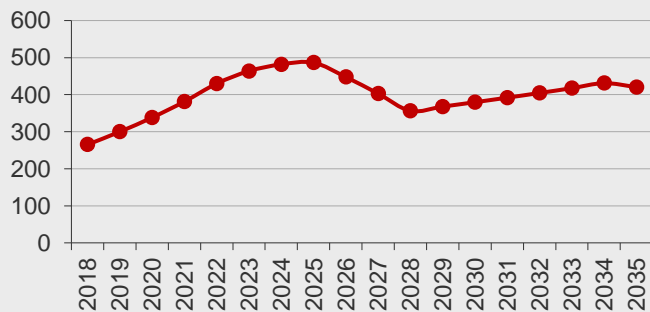
Proyección de producción de concentrado de dióxido de titanio (kt TiO<sub>2</sub> contenido)



### OFERTA

1. El crecimiento de la oferta será limitado a mediano plazo, pero retomará a largo plazo con una TCAC del 3,2% para 2018 - 2035.
2. Sudáfrica es el principal productor de concentrado de dióxido de titanio, con 1.447 kt estimados en 2018.
3. Rio Tinto es el principal productor de concentrado de dióxido de titanio, con propiedad importante en Richards Bay Minerals, un productor de arena mineral de ilmenita de Sudáfrica.
4. La oferta nueva a corto plazo vendrá de proyectos en Mozambique, Sierra Leona, Australia y Tanzania.

Precio unitario ilmenita EEUU (real 2017 USD/t)



### PRECIO

1. Los precios de la ilmenita, el concentrado de dióxido de titanio más abundante, alcanzaron los \$240/t en 2017 (real). Se pronostica que este precio aumentará a corto plazo a medida que los precios de los pigmentos de TiO<sub>2</sub> suban y los costos de la minería de arenas minerales aumenten.
2. Los precios alcanzarán su máximo en 2025 (\$487\$/t), sin embargo, el exceso de inversión en proyectos nuevos causará que los precios caigan para el periodo 2025 - 2028, alcanzando un mínimo de \$356/t en 2028.
3. El costo marginal a largo plazo para la ilmenita es de 421 USD/t.

## 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 titanio

### 1.1.1. Determinantes de la demanda de titanio y usos finales

La demanda de uso final para el titanio se puede dividir en dos categorías: el Dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ), que se usa en pigmento blanco, y la esponja de titanio, que se usa para la producción de metal. La demanda de  $\text{TiO}_2$  representa aproximadamente un 95% de la demanda total de concentrado de titanio, y el resto se consume en la producción de esponja de titanio.

El  $\text{TiO}_2$  se usa en la producción de pigmento blanco para darle color al papel, pinturas y plásticos. Obtenido originalmente por medio del uso de óxido de plomo, la naturaleza tóxica de este pigmento significó que se requería una alternativa más amigable para los consumidores, lo que llevó a la introducción del  $\text{TiO}_2$  como sustituto. Se escogió el  $\text{TiO}_2$  por su propiedad de tener el índice de refracción más alto de entre todas las alternativas. Su no toxicidad también aumenta sus usos en productos para el consumo humano, como el protector solar y la pasta de dientes. La medición de la calidad del  $\text{TiO}_2$  depende de su pureza, índice de refracción, tamaño de partículas y propiedades superficiales, donde el tamaño de partículas se controla entre 0,2 y 0,4 micrómetros.

La producción del pigmento se puede categorizar en dos procesos diferentes; los procesos de cloruro y de sulfuro, los que varían entre el 50%-55% y el 45%-50% de la producción total de

pigmento, respectivamente. La diferencia entre los dos se nota principalmente en la calidad del concentrado de materia prima, ya que el concentrado de mayor ley (y mayor valor), como el rutilo, rutilo sintético y la escoria de cloruro (ver Sección 2.2) se suele usar en el proceso de cloruro, mientras que los concentrados de menor ley y menor valor, como la ilmenita y la escoria de sulfato pasan por el proceso de sulfato.

Existe una división entre el pigmento de cloruro y el pigmento de sulfuro para algunos usos específicos, como los recubrimientos con tratamiento de calor, los que usan pigmentos de cloruro, en contraste con el uso cosmético, que requiere pigmentos de sulfato.

Dado el hecho de que la mayoría del  $TiO_2$  se usa en pigmentos, se requiere una visión más a fondo de los impulsores que influyen la distribución del pigmento y de su consumo asociado. Se puede ver un resumen de los impulsores tras el consumo de pigmentos y sus aplicaciones en la Tabla 1.

**Tabla 1 Aplicaciones en pigmentos e impulsores del crecimiento**

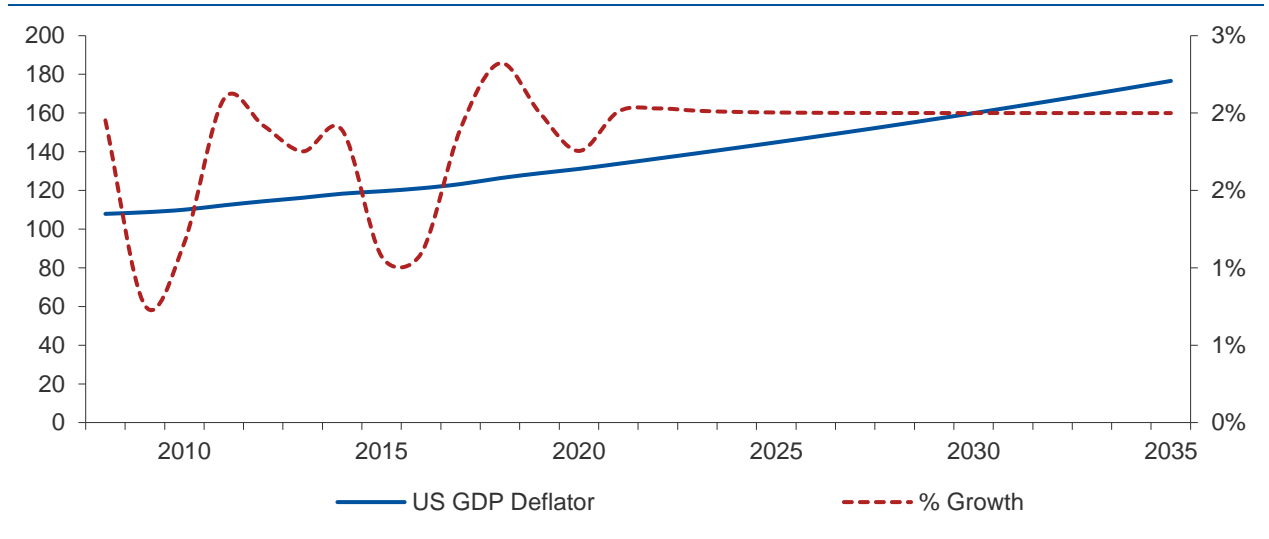
Uso Final	Aplicaciones	Impulsores del Crecimiento
<b>Recubrimientos Arquitectónicos</b>	Pinturas residenciales y comerciales	Viviendas nuevas
		Actividad de construcción
		Gastos por DIY ( <i>Do It Yourself</i> )
<b>Otros recubrimientos</b>	Marino	Comercio internacional
	Aeronáutico	Tráfico aéreo y viajes
	Artefactos eléctricos	Producción industrial
	Automotriz	Gastos discrecionales
		Venta de automóviles
<b>Plásticos</b>	Empaques	Gastos discrecionales
	Tuberías	Construcción
	Marcos de ventanas	Venta de automóviles
	Artefactos eléctricos	
	Automotriz	
<b>Papel</b>	Papelería	Publicidad
	Empaques	Construcción
	Laminados	
<b>Tintas</b>	Impresión	Gastos de consumo
	Empaques	
<b>Fibras</b>	Alfombras	Construcción
	Fibras sintéticas	Gastos de bienes no perecederos
<b>Otros</b>	Cosméticos	Ingreso disponible
	Alimentos	Consumo
	Farmacéuticos	

Fuente: Iluka

Las conclusiones que se obtienen de la Tabla 1 dan una indicación respecto a cómo los impulsores de crecimiento influenciarán el rendimiento futuro de la demanda de  $TiO_2$ . Por ejemplo,

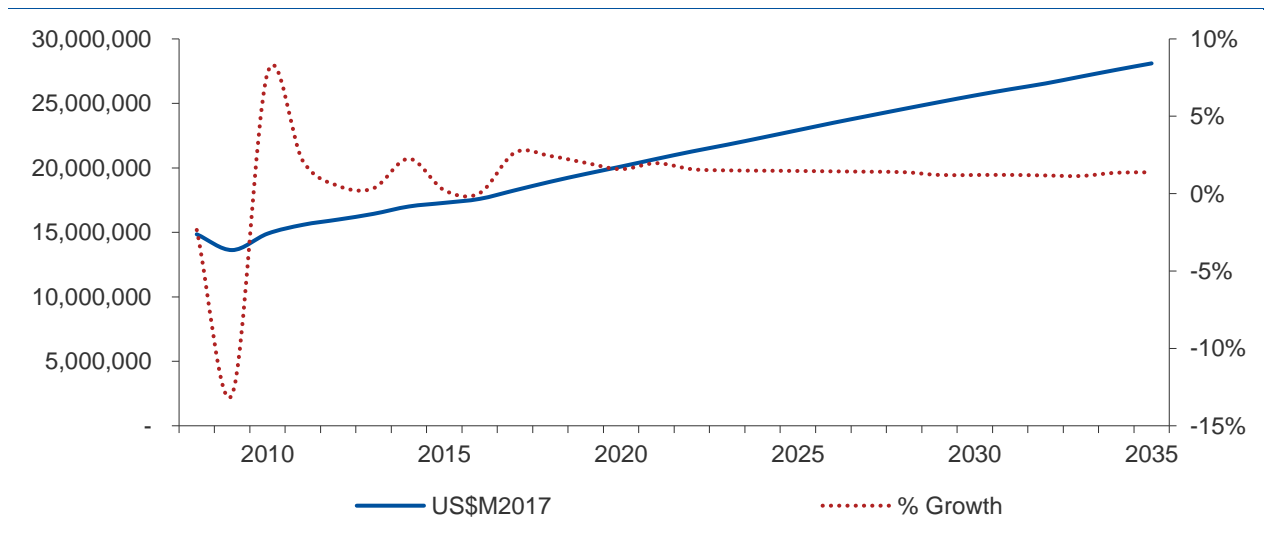
la construcción de viviendas nuevas, los gastos discrecionales y la venta de automóviles y actividad de construcción se pueden enlazar a métricas macro, como el PIB y la producción industrial. La naturaleza limitada de estos impulsores del crecimiento también implica que se pueden aplicar las métricas macro sugeridas de forma consistente en todo el espectro de demanda de pigmentos.

**Figura 1 Evaluación del PIB usando el deflactor del PIB de EEUU, 2008 - 2035**



Fuente: CRU

**Figura 2 Nivel de Producción Industrial (PI), 2008 - 2035**



Fuente: CRU

Sin embargo, esto se debe poner dentro del contexto de la distribución del consumo. En la Figura 4 se muestra qué porcentaje de pigmento se usa en diferentes aplicaciones para 2017.

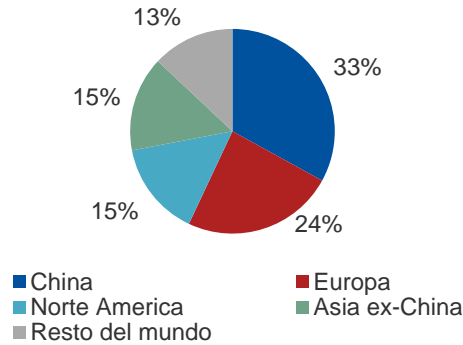
Por otro lado, el metal de titanio tiene un mercado más específico. Debido a su resistencia en general, resistencia a la temperatura y bajo peso por naturaleza, el titanio se usa en aplicaciones de alto rendimiento. Se puede encontrar que el titanio, en sus diferentes formas de aleación, se usa de forma extensa en la industria aeroespacial, y su resistencia a la corrosión hace que sea un componente útil en estructuras utilizadas en agua salada, como es el caso de los barcos. Son estas industrias las que tendrán la mayor influencia en la demanda en el futuro cercano, con un enfoque particular en los mercados de Rusia y China, y considerando factores específicos, como las tasas de construcción de aviones de gran tamaño. Al igual que el  $TiO_2$ , también es probable que el metal de titanio siga la PI y el PIB, pero se podría necesitar una consideración más a fondo respecto a cómo este mercado específico incluye en la demanda a futuro.

Figura 3 y la Figura 4 muestran el desglose de dónde se está consumiendo el  $TiO_2$  y en qué usos finales se está consumiendo. En el caso de este reporte, el consumo se refiere al consumo de concentrado de dióxido de titanio, al que en algunas ocasiones nos referiremos de forma resumida como  $TiO_2$ . Se incluye en esta figura el consumo de  $TiO_2$  en la producción de esponja de metal y se representa en el desglose de producto. La demanda total de  $TiO_2$  en 2017 fue de 6.738 kt, un aumento de las 275 kt con respecto a 2016. China es el principal consumidor de  $TiO_2$ , principalmente como resultado de su importante capacidad de producción de pigmentos (2.9 Mt de pigmentos). Europa cuenta con una capacidad de pigmentos significativa en múltiples países, donde Alemania está en tercer lugar por capacidad, con 0,45 Mt. EEUU está en segundo lugar por capacidad de pigmentos con 1,4 Mt, lo que deja a Norteamérica en tercer lugar en consumo de  $TiO_2$  en 2017, con un 15% del total global.

En términos de uso final, la demanda de pintura (también conocida como recubrimientos) es el sector más grande para el  $TiO_2$  por un amplio margen, con un consumo del 57% de todo el  $TiO_2$  en esta industria (3,8 Mt). La conversión de  $TiO_2$  a esponja de titanio representa un 5% para la industria en 2017. La esponja de titanio es una potencial área de crecimiento interesante, y en la actualidad el 58% se usa en la industria aeroespacial (0,2 Mt).

**Figura 3 Consumo de concentrado de TiO<sub>2</sub> por país, 2017**

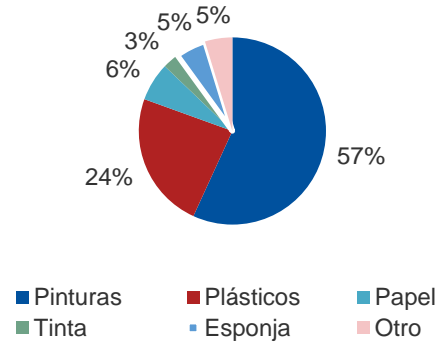
Demanda total: 6,7 Mt TiO<sub>2</sub> contenido



Fuente: CRU

**Figura 4 Participación de concentrado de TiO<sub>2</sub> por producto, 2017**

Demanda total: 6,7 Mt TiO<sub>2</sub> contenido



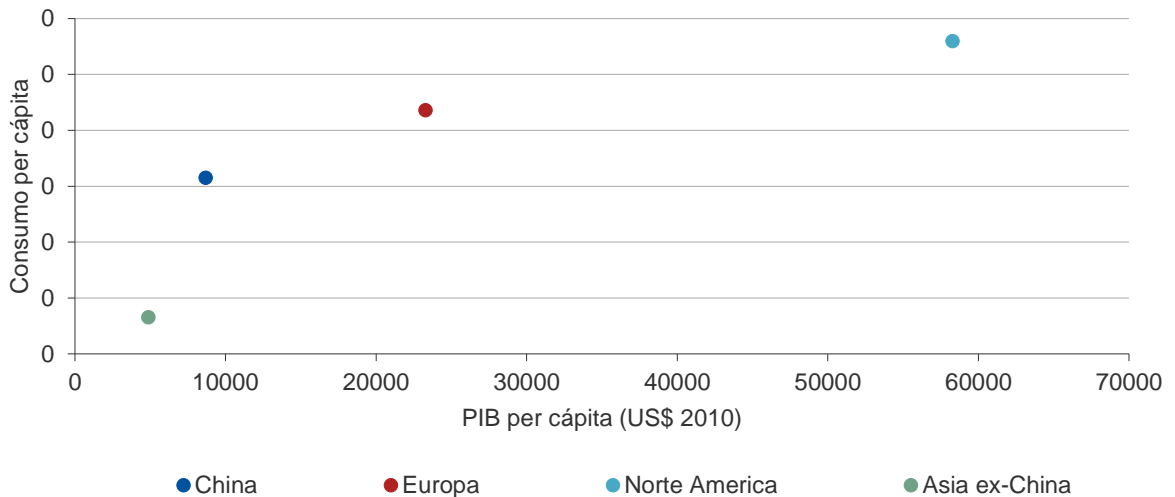
Fuente: CRU

### 1.1.2. Intensidad de uso & ciclo de desarrollo del titanio

La intensidad de uso se refiere a la relación entre el consumo per cápita de los países con su PIB per cápita, dando una medición de cómo el uso de la materia prima se comporta, de un país económicamente menos desarrollado, a uno más desarrollado.

Figura 5 muestra una clara relación entre el PIB de una región y su consumo de TiO<sub>2</sub>, donde las regiones económicamente más desarrolladas, como Norteamérica, consumen más TiO<sub>2</sub> per cápita que las regiones económicamente menos desarrolladas en Asia. El punto interesante a destacar aquí es la posición de China, que posee una alta capacidad de pigmentos. Esto implica que todavía se está desarrollando como economía, y que deberá aumentar su capacidad a medida que el país se desarrolla.

**Figura 5 Intensidad de uso según PIB/cápita, 2017**



Fuente: CRU

### 1.1.3. Sustitución y elasticidad de demanda de titanio

Una de las características únicas del  $TiO_2$  es que el riesgo de sustitución en el sector de pigmentos es mínimo. Esto es como resultado de su posición como el material con el mejor índice de refracción en comparación a las alternativas. Se puede apreciar una situación similar para el metal de titanio, que cuenta con muy pocos competidores en términos de combinación de resistencia a la corrosión y relación de resistencia/peso.

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", publicado en 1890 (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 concentrado de titanio, los cuatro factores de análisis de la teoría marshalliana se comportan de la siguiente manera:

**Tabla 2 Análisis de la elasticidad de la demanda, concentrado de titanio**

<b>Factor de análisis</b>	<b>Características específicas del titanio</b>
Usos finales principales	Pigmento de dióxido de titanio; pinturas y recubrimientos, plásticos, papel
Baja sustitución en los usos finales principales	Sí, se ha tratado de reemplazar el concentrado de TiO <sub>2</sub> cuando el precio es alto, pero siempre el resultado final es que el concentrado de TiO <sub>2</sub> es la mejor opción. El Caolín es un ejemplo de otro producto que se puede usar en la producción de pigmentos.
Participación de bajo costo	Sí, los costos del concentrado de alta ley son de aproximadamente el 30% del precio de venta del pigmento, pero la naturaleza de bajo costo de producción y simplicidad de extracción significa que una variación del 30% es poco probable.
Elasticidad baja de oferta de sustituto	No
Elasticidad baja de precio final	No

Fuente: CRU

#### 1.1.4. Demanda histórica de titanio

##### Principales consumidores por actividad económica en los últimos diez años

Tal como se plantea en la sección “Determinantes de la demanda de titanio y usos finales” de este reporte, los principales sectores económicos ligados al consumo de titanio son la industria de las pinturas, seguido por su uso para plásticos. Dado que el titanio es un metal que se viene utilizando desde hace muchos años en industrias que llevan varias décadas de desarrollo, estos usos finales se han mantenido relativamente estables.

##### Principales países y/o regiones consumidoras de titanio

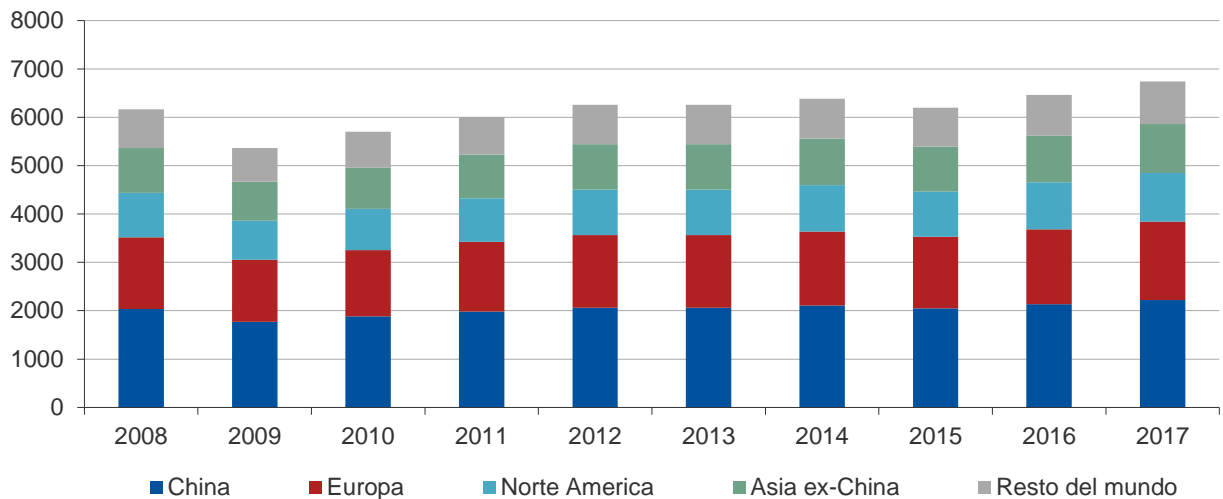
En esta sección se presentan los principales países y/o regiones consumidoras de titanio en los últimos 10 años. Dada la naturaleza global del consumo de *commodities*, se analizan los países y/o regiones que son efectivamente relevantes para el estudio y entendimiento del mercado a analizar, con un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

La demanda histórica para el  $TiO_2$ , al igual que la mayoría de las materias primas, ha sufrido los efectos de la crisis financiera global a fines de la primera década de este siglo. Las condiciones económicas en este periodo causaron una reducción severa en el uso de plantas de pigmentación. Por lo tanto, según se aprecia en la Figura 6 en 2009 se experimentó una importante reducción en el consumo de  $TiO_2$  en comparación a 2008. Tras este periodo, el consumo se recuperó a medida que los precios para la materia prima cayeron tras repuntar a fines de la década.

La demanda de pigmento en uso final cayó en el periodo posterior a 2012 mientras el consumo de  $TiO_2$  se mantuvo consistente, según se muestra en la Figura 6 lo que causó que los precios en la cadena de valor regresaran, en 2015, a los niveles mostrados en 2008 (ver Sección 1.3). Desde entonces, el consumo de  $TiO_2$  ha vuelto a una tendencia al alza, con un mayor crecimiento en el consumo global y una mayor capacidad de pigmento, principalmente en China.

Se asume que el consumo de metal también siguió las mismas tendencias del pigmento pre-2015. Sin embargo, desde entonces se ha dado la primera señal de un mayor uso en la industria aeroespacial, donde el crecimiento ha sido a una tasa más rápida que la del pigmento (aproximadamente 7% año tras año).

**Figura 6 Demanda histórica de concentrado de TiO<sub>2</sub>, 2008 - 2017 ('000s TiO<sub>2</sub> contenido)**



Fuente: CRU

**Tabla 3 Demanda histórica de concentrado de TiO<sub>2</sub>, 2008 - 2017 ('000s TiO<sub>2</sub> contenido)**

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
<b>China</b>	2.035	1.771	1.883	1.982	2.064	2.064	2.106	2.046	2.133	2.223	1,0%
<b>Europa</b>	1.480	1.288	1.369	1.441	1.501	1.501	1.532	1.488	1.551	1.617	1,0%
<b>Norteamérica</b>	925	805	856	901	938	938	957	930	969	1.011	1,0%
<b>Asia (sin China)</b>	925	805	856	901	938	938	957	930	969	1.011	1,0%
<b>Resto del mundo</b>	802	697	742	781	813	813	830	806	840	876	1,0%
<b>Total mundial</b>	6.168	5.365	5.705	6.005	6.256	6.256	6.383	6.200	6.463	6.738	1,0%
<b>% cambio anual</b>		-13%	6%	5%	4%	0%	2%	-3%	4%	4%	

Fuente: CRU

### 1.1.5. Proyección de demanda de titanio

#### Escenario 1 - Continuidad

La proyección de demanda a corto plazo, para 2018 - 2022, se basa en las expectativas de la industria que el consumo de pigmentos aumentará aproximadamente un 4% año tras año para este periodo. La fase inicial de esto se puede asociar al PIB, que se predice que crecerá a una tasa similar. Se espera que este crecimiento se extienda hasta 2025, sobrepasando el crecimiento del PIB global proyectado, lo que podría ser el resultado de un crecimiento mucho más acelerado

del PIB en China, el que, como se explica en la sección de intensidad de uso, resultará en un mayor consumo de pigmentos. Ya que China ya es el consumidor principal de TiO<sub>2</sub>, se puede atribuir a esto su desvío en relación al PIB global.

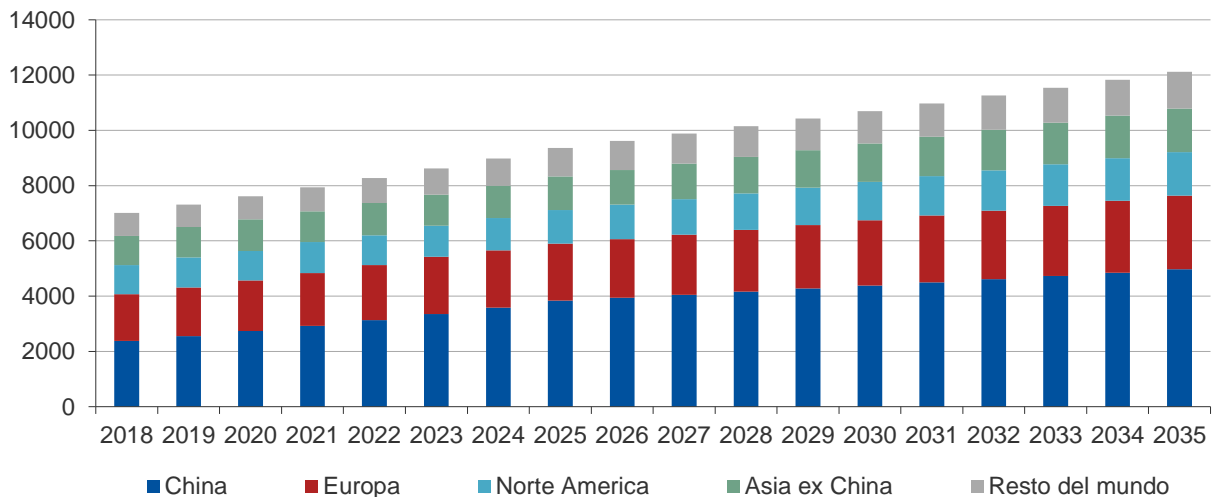
La proyección de largo plazo para el titanio es relativamente simple. La naturaleza limitada de uso y medios finales para pigmentos de TiO<sub>2</sub> implican que la demanda se puede proyectar usando un juego de métricas simples. La demanda de titanio en su estado metálico es, como lo sugiere la sección histórica, un poco más complicada debido al aumento de consumo de parte de la industria aeroespacial. La naturaleza pequeña de este mercado significa que tiene poco efecto en la demanda general de TiO<sub>2</sub>.

Tal y como se sugiere en las aplicaciones en la Tabla 1, la demanda de pigmentos tiene una correlación fuerte con varios sectores asociados al PIB y, ya que no se cuenta con un desglose de cuánta pintura se usa en la construcción en comparación a la aplicación en la aeronáutica, se asume que el consumo de pigmento a largo plazo seguirá al PIB.

Por otro lado, es posible determinar que los usos finales del metal de titanio se enfocan en los sectores industriales, donde el 90% de la industria tiene un lazo directo con esta industria. Así, a pesar de un crecimiento a corto plazo relacionado a un aumento en la demanda del sector aeroespacial, el futuro del metal a largo plazo se encuentra enlazado a la Producción Industrial (PI).

Se puede apreciar el futuro del PIB y del PI en la Figura 1 y la Figura 2.

**Figura 7 Proyección de demanda de concentrado de TiO<sub>2</sub>, 2018 - 2035 ('000s TiO<sub>2</sub> contenido)**



Fuente: CRU

La Figura 7 muestra una tasa de crecimiento con un ligero aumento a mediano plazo, antes de su transición para seguir el PIB a largo plazo. La gráfica también refleja las expectativas de que China aumentará su participación en el mercado global en un 7% para el periodo 2017 a 2025. La combinación de métricas entrega un crecimiento relativamente estable a largo plazo, algo que se puede esperar de un material que se mantendrá como fundamental para el desarrollo futuro de muchas industrias.

**Tabla 4 Proyección de demanda de concentrado de TiO<sub>2</sub>, 2018 - 2035 ('000s TiO<sub>2</sub> contenido)**

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
<b>China</b>	2.382	2.551	2.733	2.928	3.136	3.356	3.589	3.837	3.944	4.053
<b>Europa</b>	1.686	1.758	1.832	1.911	1.991	2.074	2.069	2.059	2.116	2.175
<b>Norteamérica</b>	1.054	1.099	1.069	1.115	1.079	1.123	1.169	1.216	1.251	1.285
<b>Asia sin China</b>	1.054	1.099	1.145	1.115	1.161	1.123	1.169	1.216	1.251	1.285
<b>Resto del mundo</b>	843	806	840	876	913	950	989	1.029	1.058	1.087
<b>Total mundial</b>	7.018	7.312	7.620	7.944	8.279	8.626	8.986	9.357	9.619	9.885
<b>% cambio anual</b>		4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	3%	3%

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035
<b>China</b>	4.163	4.274	4.387	4.501	4.616	4.732	4.850	4.968	4,4%
<b>Europa</b>	2.234	2.294	2.354	2.415	2.477	2.539	2.602	2.666	2,7%
<b>Norteamérica</b>	1.320	1.355	1.391	1.427	1.464	1.500	1.538	1.575	2,4%
<b>Asia sin China</b>	1.320	1.355	1.391	1.427	1.464	1.500	1.538	1.575	2,4%
<b>Resto del mundo</b>	1.117	1.147	1.177	1.208	1.238	1.270	1.301	1.333	2,7%
<b>Total mundial</b>	10.154	10.425	10.700	10.978	11.259	11.542	11.829	12.118	3,3%
<b>% cambio anual</b>	3%	3%	3%	3%	3%	3%	2%	2%	

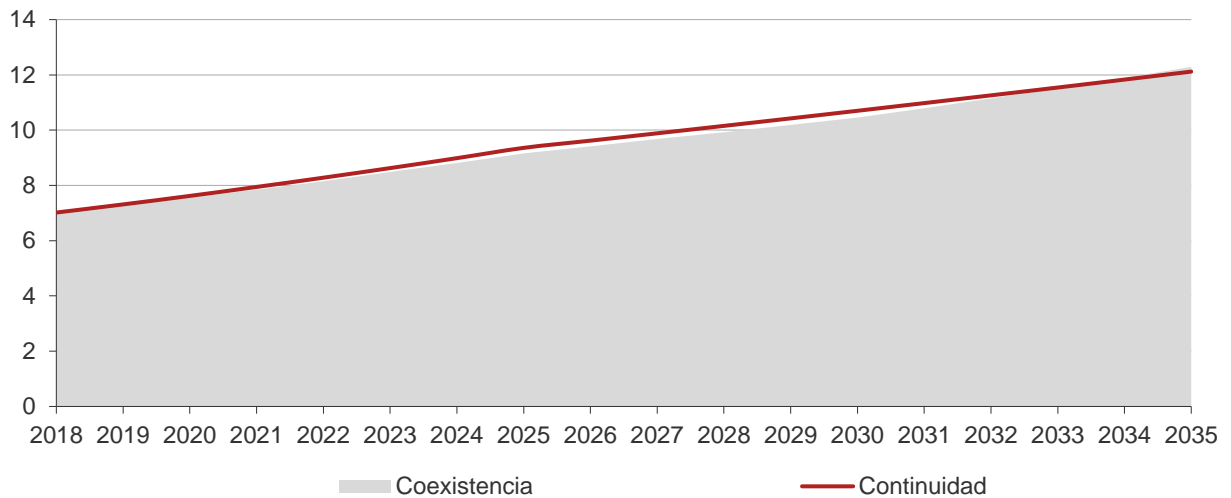
Fuente: CRU

Para mantener el aumento de China en la participación de mercado, el crecimiento en las regiones restantes parece ocurrir a una tasa más lenta. India ha comenzado a producir pigmento de TiO<sub>2</sub> solo de forma reciente (desde 2016), por lo que es difícil predecir su consumo posible de concentrado de TiO<sub>2</sub> a futuro. Si este fuera a seguir el crecimiento a la misma escala de China, entonces la participación de mercado de Asia excluyendo a China podría aumentar. Ya que la importación de pigmento de TiO<sub>2</sub> de India ha ido en aumento desde 2012 (al igual que Corea del Sur), es difícil decir si el consumo de concentrado de TiO<sub>2</sub> de la región aumentará de la misma manera. Por lo tanto, la participación de mercado ha caído, como en el caso de Norteamérica y Europa, para permitir que la participación de China aumente.

### Escenario 2 - Coexistencia

Al analizar los escenarios de Continuidad y Coexistencia, se puede observar que la demanda de titanio en el escenario de Continuidad es levemente más alta durante la mayor parte del período, alcanzando una diferencia aproximada de 200 mil toneladas en 2031. A contar de 2031, las tasas de crecimiento de la demanda para el escenario Coexistencia aumentan a una mayor velocidad que las de Continuidad, disminuyendo la diferencia entre las demandas de ambos escenarios, para finalmente en 2034 invertir la tendencia, siendo el escenario de Coexistencia el que presentará mayor demanda. Para 2035, bajo estos escenarios se proyecta que la demanda en Coexistencia sea de 12,3 (Mt), versus 12,1 (Mt) para Continuidad.

**Figura 8 Demanda en escenario Continuidad vs. Coexistencia para concentrado de TiO<sub>2</sub>, (Mt)**



Fuente: CRU

**Tabla 5 Demanda en escenario Continuidad vs. Coexistencia para concentrado de TiO<sub>2</sub>, (Mt)**

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

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035	
Continuidad	10,2	10,4	10,7	11,0	11,3	11,5	11,8	12,1	3,3%	
Coexistencia	9,9	10,2	10,5	10,8	11,2	11,5	11,9	12,3	3,3%	
Diferencia*	-	0,2	-	0,2	-	0,1	-	0,0	0,1	0,2

\* Diferencia calculada como Coexistencia menos Continuidad

Fuente: CRU

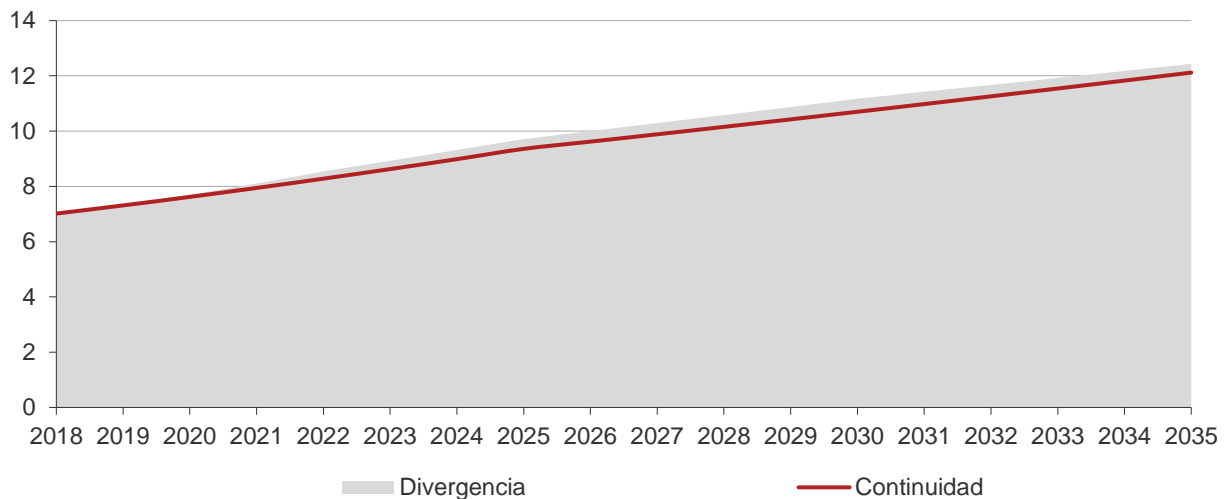
Para el período evaluado, el promedio anual de la demanda para el escenario de Continuidad es 9,6 (Mt) versus 9,5 (Mt) para el escenario de Coexistencia. La diferencia proyectada que se puede obtiene en ambos escenarios, se debe principalmente a la variación del PIB mundial el cual es el principal determinante de la mayor o menor demanda de concentrado de TiO<sub>2</sub>.

En el caso Coexistencia, se espera que el crecimiento del PIB se mantenga por debajo del caso Continuidad y que la tendencia se revierta sólo a contar de 2033. Esto explica en gran parte el aumento en consumo de TiO<sub>2</sub> en el caso Coexistencia con respecto al caso Continuidad después del año 2031, desde donde se proyecta que el crecimiento del PIB sea superior en el escenario de Coexistencia.

### Escenario 3 - Divergencia

Comparando los escenarios Divergencia y Continuidad, vemos que el escenario Divergencia tiene una mayor demanda durante todo el período. Para el año 2030, se presenta la mayor holgura entre ambos escenarios, siendo Divergencia mayor por un monto aproximado de 0,5 (Mt). A contar de 2031, las tasas de crecimiento de Continuidad aumentan a un mayor ritmo que las de Divergencia, sin embargo, este cambio de tendencia no es suficiente para que la demanda de Continuidad pueda superar la de Divergencia antes de 2035. La demanda proyectada para Divergencia y Continuidad en 2035 es de 12,4 (Mt) y 12,1 (Mt) respectivamente.

**Figura 9 Demanda en escenario Continuidad vs. Divergencia para concentrado de TiO<sub>2</sub>, (Mt)**



Fuente: CRU

**Tabla 6 Demanda escenario Continuidad vs. Divergencia para concentrado de TiO<sub>2</sub>, (Mt)**

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	7,0	7,3	7,6	7,9	8,3	8,6	9,0	9,4	9,6	9,9
Divergencia	7,0	7,3	7,7	8,1	8,5	8,9	9,3	9,7	10,0	10,3
Diferencia*	-	0,0	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035
Continuidad	10,2	10,4	10,7	11,0	11,3	11,5	11,8	12,1	3,3%
Divergencia	10,6	10,9	11,2	11,4	11,7	11,9	12,2	12,4	3,4%
Diferencia*	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	

\* Diferencia calculada como Divergencia menos Continuidad

Fuente: CRU

Dado que el principal determinante del consumo de TiO<sub>2</sub> es el PIB global, la demanda para los escenarios de Divergencia y Continuidad evolucionaran principalmente en función de este indicador. En este caso, se proyecta que el PIB global sea mayor para el caso de Divergencia hasta 2031, posterior a esto las cifras del PIB global para el caso de Continuidad, superarían las proyectadas comparándolo con el caso de Divergencia de acuerdo con el informe de “metodología y plan de trabajo detallado”.

## 1.2. Oferta de titanio

### 1.2.1. Recursos y reservas de titanio: evolución, tasas de descubrimiento, presupuesto de exploración

Al hablar de recursos y reservas de titanio, es importante enfocarse en las fuentes primarias de concentrado que se suelen extraer de la ilmenita y el rutilo. Los recursos globales totales de estos dos minerales (incluyendo la anatasa) exceden las 2.000 Mt. Al dividir esto en ilmenita y rutilo, el 40% de los recursos globales de rutilo se encuentran en Australia, el 24% en Kenia, el 15% en Sudáfrica y el 14% en India. Para el caso de la ilmenita, China posee un 27% de los recursos globales, Australia un 19%, India un 11% y Sudáfrica un 9%.

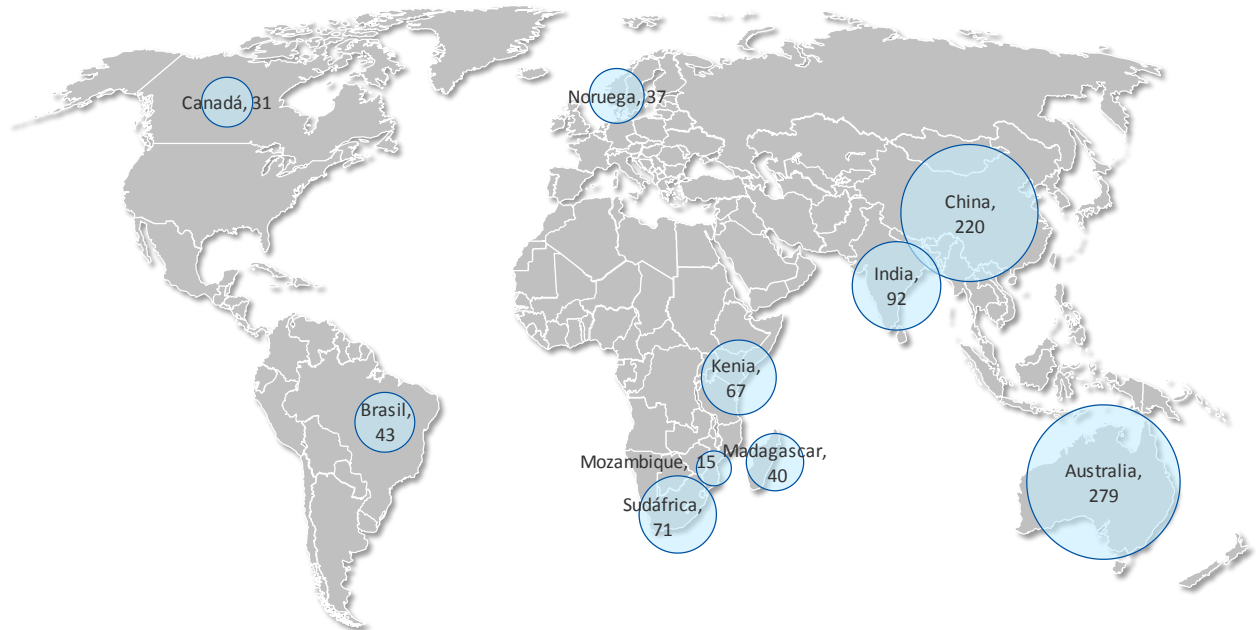
En términos de reservas, la Tabla 7 nos ofrece un desglose de dónde están distribuidas las reservas, con una representación visual en la Figura 10. Australia presenta un gran crecimiento en reservas en los últimos años, sobrepasando a China como el país con las mayores reservas de titanio en 2017.

**Tabla 7 Reservas y recursos de titanio, 2008 - 2017 ('000s TiO<sub>2</sub> contenido)**

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
<b>Reservas</b>											
<b>Australia</b>	152.000	152.000	118.000	118.000	118.000	184.000	198.000	162.000	177.000	279.000	7,0%
<b>China</b>	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	220.000	220.000	1,1%
<b>India</b>	92.400	92.400	92.400	92.400	92.400	92.400	92.400	92.400	92.400	92.400	0,0%
<b>Sudáfrica</b>	71.300	71.300	71.300	71.300	71.300	71.300	71.300	71.300	71.300	71.300	0,0%
<b>Kenia</b>	-	-	-	-	-	-	-	67.000	67.000	67.000	0%
<b>Brasil</b>	44.200	44.200	44.200	44.200	44.200	44.200	43.000	43.000	43.000	43.000	-0,3%
<b>Madagascar</b>	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	0,0%
<b>Noruega</b>	37.000	37.000	37.000	37.000	37.000	37.000	37.000	37.000	37.000	37.000	0,0%
<b>Canadá</b>	31.000	31.000	31.000	31.000	31.000	31.000	31.000	31.000	31.000	31.000	0,0%
<b>Mozambique</b>	16.480	16.480	16.480	16.480	16.480	14.510	14.000	14.000	14.000	14.880	-1,1%
<b>Ucrania</b>	8.400	8.400	8.400	8.400	8.400	8.400	8.400	8.400	8.400	8.400	0,0%
<b>EEUU</b>	6.400	6.400	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	-12,1%
<b>Resto del mundo</b>	30.800	30.800	31.800	31.800	31.800	31.800	28.000	28.000	28.000	28.490	-0,9%
<b>Total mundial</b>	729.980	729.980	692.580	692.580	692.580	756.610	765.100	796.100	831.100	934.470	2,8%
<b>% cambio anual</b>		0%	-5%	0%	0%	9%	1%	4%	4%	12%	
<b>Recursos (Mt)</b>	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0,0%
<b>% cambio anual</b>		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	

Fuente: USGS

**Figura 10 Mapa de las reservas de titanio a 2017 ('000s TiO<sub>2</sub> contenido)**



Fuente: USGS

El mapa de reservas muestra una tendencia de depósitos de arenas minerales en el hemisferio oriental, donde gran parte de África del Este, Asia del Este y del Sur y Australia contribuyen con la gran mayoría de las reservas de titanio.

Los depósitos de arenas minerales se suelen encontrar en forma de líneas costeras fósiles que pueden estar tierra adentro, a una gran distancia de las costas actuales. El material superficial meteorizado por acciones sedimentarias fue transportado a las costas prehistóricas, donde la acción de las olas y el viento causaron concentraciones de sílice en algunas partes de la costa.

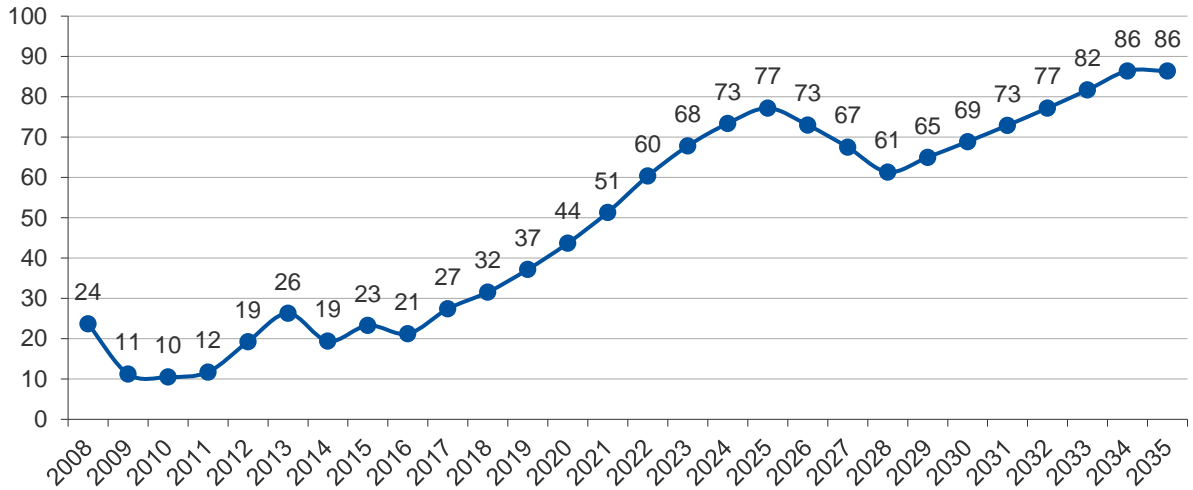
En términos de exploración junior, el sector tiene un papel importante en la exploración de arenas minerales. El menor costo involucrado permite que los juniors se enfoquen en el desarrollo, donde muchos juniors buscan vender sus proyectos a empresas más grandes.

El presupuesto de exploración es relativamente bajo producto de su bajo volumen de producción (en valor) en comparación con el total de la industria minera global.

En línea con lo anterior, se observa que el gasto en exploración en yacimientos de titanio ha presentado volatilidad relativamente baja – comparado contra otros minerales – entre desde 2008

y hasta la fecha. Posteriormente a esto se pronostica un crecimiento agresivo hasta mediados de la próxima década, para caer por un breve periodo y luego retomar el crecimiento. Esperamos que alcance su valor máximo hacia el término del periodo en estudio.

**Figura 11 Presupuestos de exploración del titanio, 2008-2035 (MUS\$, real 2017)**



Fuente: MinEx Consulting, CRU

### 1.2.2. Métodos de extracción y procesamiento de titanio

La oferta de dióxido de titanio se puede dividir en varias formas de concentrado de mineral, en particular la ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ), rutilo ( $\text{TiO}_2$ ) y la escoria titanífera, con otras formas que ofrecen parte de la oferta de titanio, como la leucoxina y la anatasa. La ilmenita en general se procesa en rutilo sintético por medio de la remoción de su contenido de hierro (explicado más adelante en esta sección). La escoria titanífera es un producto de dos procesos, la fundición tradicional del concentrado de baja ley y el proceso más reciente de fundir mineral de titanomagnetita, donde se produce escoria como subproducto.

En 2015, aproximadamente un 71% del concentrado de  $\text{TiO}_2$  se encontraba en forma de ilmenita (excluyendo la ilmenita usada para la producción de escoria titanífera), un 8% en rutilo y el resto, 21%, en forma de escoria titanífera, dando una idea de la escala de producción de ilmenita en comparación al rutilo. Sin embargo, esto no está directamente correlacionado a la producción de  $\text{TiO}_2$  debido a las leyes de cada material. La ilmenita tiene el contenido de  $\text{TiO}_2$  más bajo de estos minerales, con un contenido del 52% al 62% dependiendo del tipo de ilmenita (cloruro con mayor

ley, sulfato con menor ley). El rutilo es un material de mayor ley entre los tres, con leyes que por lo general varían entre 95% y 97%. En un punto medio se encuentra la escoria titanífera, que suele empezar con un contenido del 75% de  $\text{TiO}_2$ . El proceso de convertir la ilmenita en rutilo sintético aumenta el contenido de  $\text{TiO}_2$  a una ley entre 88% y 95%.

La mayoría de los minerales con contenido de titanio se extraen en forma de arena mineral, donde parte de la ilmenita se extrae en forma roca dura, al igual que la titanomagnetita que se usa en la producción de escoria titanífera. La minería en forma de arena mineral se da de dos formas simples de minería superficial: seca o húmeda. El método seco involucra técnicas de excavación superficial típicas, involucrando una flota que combina el uso de niveladoras, recuperadoras, excavadoras, cargadores frontales y camiones de transporte que se suelen ver en la mayoría de los ambientes de minería superficial de roca blanda. Una opción de menor costo, el método húmedo, hace uso de técnicas de dragado y se suele usar cuando el cuerpo mineral es de gran tamaño en toneladas y carece de arcillas. El dragado depende de condiciones correctas del terreno, y se requiere la disponibilidad de agua. Este método también requiere de cuerpos minerales regulares con un mínimo de dureza, lo que significa que los cuerpos minerales que no cumplen con estas características suelen ser explotados en seco. Otra opción es el uso de la minería hidráulica, la que se puede usar en ambos escenarios descritos, como en los casos de minería seca y de lechada de arena.

El mineral se alimenta a un concentrador ya sea por correa transportadora o por un sistema de tuberías para lechada. El material de arena mineral se suele rechazar en la etapa de filtrado si se encuentra por sobre cierto tamaño (por ejemplo, 150mm), antes de ser alimentado al concentrador.

Una vez que el mineral ha sido concentrado usando métodos de concentrado convencional (separación magnética para la remoción del hierro en los minerales de ilmenita y posterior separación por gravedad para la ilmenita y el rutilo), ingresa en dos tipos de procesos, cuya naturaleza depende de la composición del concentrado y que determina cuál será el producto final. El mineral de ilmenita con composición de sulfuro ingresa al "proceso de sulfato" y el mineral de cloruro ingresa al "proceso de cloruro".

A continuación, se describen los dos procesos:

- Proceso de cloruro: el rutilo se convierte en cloruro de titanio por medio de la cloración, en presencia de coque de petróleo. Este luego se oxida y calcina para retirar el cloro o ácido clorhídrico que se forma durante el procesado inicial. Luego se añade cloruro de aluminio para asegurar que casi todo el titanio se encuentre en forma de cristales puros de rutilo.

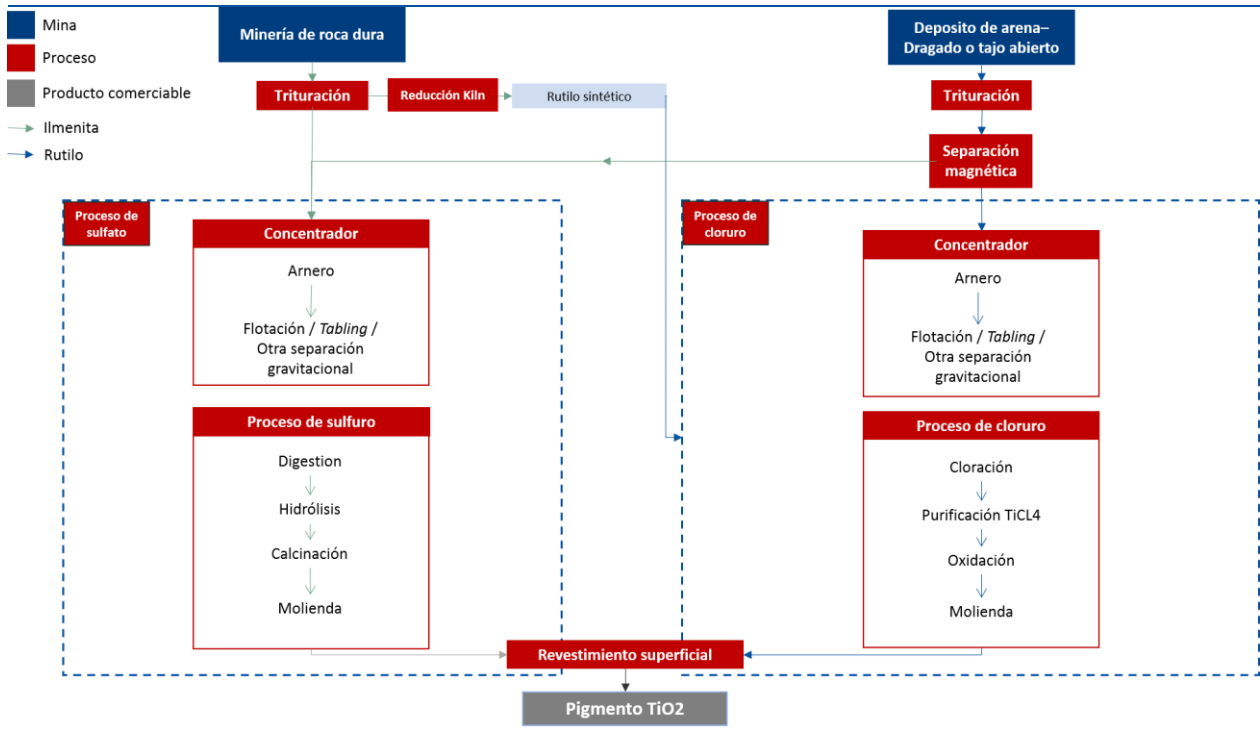
En general, la materia prima de mayor ley (% de  $\text{TiO}_2$ ) se usa para el proceso de cloruro en vez del proceso de sulfato. El rutilo es un mineral natural de dióxido de titanio de alta ley, mientras que el rutilo sintético se produce al reducir el óxido de hierro en la ilmenita a un hierro metálico usando monóxido de carbono, seguido de una reoxidación y separación de la fracción rica en  $\text{TiO}_2$  (proceso Becher), o lixiviando con ácido clorhídrico (proceso Benelita).

- Proceso de sulfato: la ilmenita o la escoria de titanio se mezcla con ácido sulfúrico; así se logra la precipitación de hidróxido de titanio. El producto resultante se calcina para eliminar las impurezas. Esto produce cristales de anatasa.

La materia prima de rutilo no se puede digerir en ácido sulfúrico, por lo que solo se puede usar en el proceso de cloruro. La elección de materia prima que tome el fabricante depende de cómo se ha configurado la planta en la etapa de desarrollo, los requerimientos Medioambientales, de Salud y Seguridad, y los costos de proceso en general.

El producto terminado de estos procesos es posteriormente molido y recubierto para producir un producto con un tamaño y características de manipulación consistente. Los pigmentos de rutilo son menos reactivos al exponerlos a la luz, lo que es una consideración clave para el mercado de pinturas de exterior. La esponja de titanio solo se puede producir a partir del proceso de cloruro, mientras que el pigmento se puede obtener de ambos procesos. El proceso de cloruro suele producir pigmentos de mayor calidad que el proceso de sulfuro, lo que hace que este sea más útil en aplicaciones de gama alta, como en recubrimientos con tratamiento de calor.

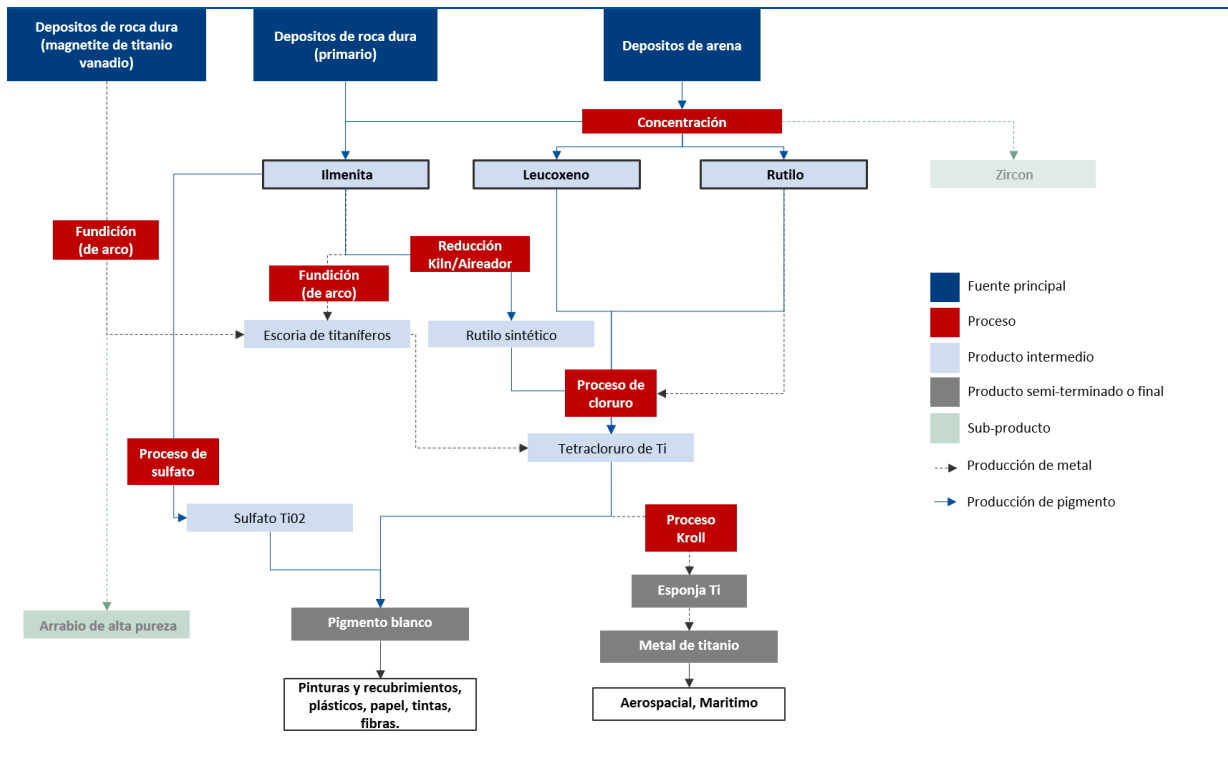
Figura 12 Procesado para pigmento de TiO<sub>2</sub>



### 1.2.3. Cadena de valor del titanio

La cadena de valor para el titanio es simple en comparación a la de muchos otros metales, al tener tres fuentes primarias y dos productos terminados. Entre la etapa de concentrado y la de pigmento, el valor de materia prima a producto aumenta entre un 300% y 500% (más cercano al 300% para los últimos años). El valor añadido equivalente para el metal de titanio es de aproximadamente un 1.000% debido a los métodos de procesado mucho más complicados y costosos.

Figura 13 Cadena de Valor del Titanio



La Figura 13 muestra un resumen claro de la cadena de valor del titanio. Aproximadamente un 62% del  $TiO_2$  contenido se encontraba en forma de ilmenita en 2017 (sin incluir la ilmenita usada en escoria titanífera), un 12% en forma de rutilo y un 25% en forma de escoria titanífera (nótese que este es diferente al desglose similar en la sección 1.2.2. ya que este desglose se refiere al contenido de  $TiO_2$ ). La producción principal, la ilmenita, sigue uno de tres procesos, entre; conversión directa a sulfato de  $TiO_2$  (mineral con bajo contenido de hierro), fundición en horno de arco para la producción de escoria titanífera o reducción a rutilo sintético. Estos últimos dos procesos pasan después al proceso de cloruro y al de rutilo para formar tetracloruro de titanio ( $TiCl_4$ ). Este luego se procesa como pigmento blanco o como esponja de titanio, donde se usa el proceso de Kröll.

Los dos factores externos de esto son el circón y el método de producción de escoria titanífera a partir de mineral de titanomagnetita. El circón es otro mineral que a menudo se encuentra en los depósitos pesados de arena mineral, pero que no contiene titanio, y es a menudo un subproducto de la producción de concentrado de titanio (filtrado en la etapa de concentración). La producción

de escoria titanífera a partir de magnetita con contenido de vanadio y titanio se logra por fundición, al igual que en el proceso convencional de escoria, y es a menudo un subproducto de la producción de arrabio y vanadio de alta pureza.

#### 1.2.4. Costo de capital de titanio

La naturaleza simple de la minería de arena mineral significa que los costos de capital para proyectos nuevos no se encuentran en la misma escala de algunas de las materias primas más comunes. Por ejemplo, se espera que el proyecto Fugoni, de propiedad de Strandline Resources cueste solamente 30 millones de dólares en términos de gasto de capital inicial (CAPEX). Quizás esto hace que las arenas minerales sean menos susceptibles a los tiempos de limitación en la inversión de capital. La Tabla 8 entrega un resumen de una selección de proyectos futuros y sus gastos de capital.

**Tabla 8 Muestra de gastos de capital en proyectos futuros de arenas minerales**

Mineral	Proyecto	Propietario	Región	País	CAPEX USD M
Rutilo	Sembehun Dry Mine	Sierra Rutile Limited	África y Medio Oriente	Sierra Leona	99
Ilmenita	Proyecto Goondicum Ilmenite	Melior Resources	Asia Pacific	Australia	7 en reinicio - 120 ya invertidos por dueños anteriores
Ilmenita	Proyecto Mutamba	Savannah Resources	África y Medio Oriente	Mozambique	152
Arenas Minerales - Ilmenita y Circón	Fugoni	Strandline resources	África y Medio Oriente	Tanzania	30

Fuente: CRU

#### 1.2.5. Comercialización de titanio

##### Principales sectores importadores y usos de las importaciones de titanio

Tal como se plantea en la sección “Determinantes de la demanda de titanio y usos finales” de este reporte, la demanda de uso final para el titanio se puede dividir en dos categorías: el Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>), que se usa en pigmento blanco, y la esponja de titanio, que se usa para la producción de metal. La demanda de TiO<sub>2</sub> representa aproximadamente un 95% de la demanda total de concentrado de titanio, y el resto se consume en la producción de esponja de titanio.

##### Importaciones y exportaciones por país

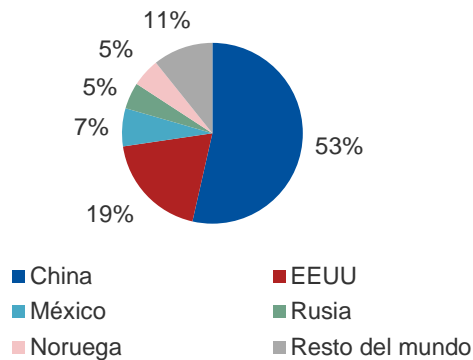
Teniendo en cuenta que la principal característica de los *commodities* es que el mercado trata a distintos productos como prácticamente equivalentes sin importar su precedencia, y que esta es la base para que se den dinámicas de mercado basadas en información global y no regional, esta sección muestra los principales países importadores y exportadores de titanio 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.

Los principales volúmenes de importaciones y exportaciones en la cadena de valor provienen del mineral y de su forma concentrada. Se asume que es muy probable que el mineral sea concentrado en terreno, ya que es poco probable que el mineral en forma pura sea transado. China es, por un amplio margen, el principal importador de concentrado, con más de 3 Mt importados en 2017. Por otro lado, Sudáfrica es el principal exportador, con grandes volúmenes de producción de escoria de titanio y sin una capacidad local de pigmentos de importancia.

**Figura 14 Importaciones de minerales y concentrados de titanio, 2017**

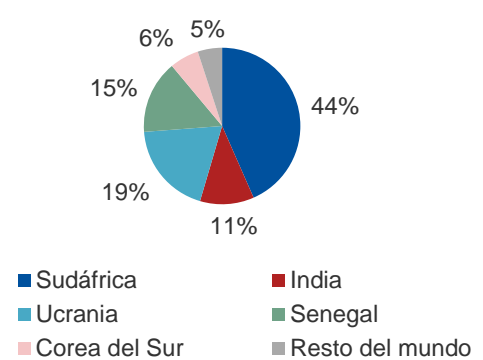
Importaciones totales: 6.271 kt



Fuente: CRU

**Figura 15 Exportaciones de minerales y concentrados de titanio, 2017**

Exportaciones totales: 3.033 kt



Fuente: CRU

### Importaciones

Como se mencionó antes, en términos de volumen, el mineral y el concentrado son las formas más transadas de titanio, sin embargo, también existe un comercio significativo en pigmento de TiO<sub>2</sub>, el que será tratado en las secciones a continuación.

### Mineral y concentrado de titanio

La Tabla 7 muestra que China es, por un amplio margen, el principal importador de mineral y concentrado de titanio, alcanzando un máximo en la década de 3 Mt en 2017. Esto corresponde a una tasa de crecimiento del 12,4% desde 2008. Aunque ocupa solo el quinto lugar en tasa de crecimiento, es significativa cuando se considera la escala. Las importaciones de China provienen en su mayoría de África, con exportaciones de Mozambique y Kenia de 613 kt y 511 kt de mineral y concentrado, respectivamente, durante 2017. 2017 ha visto una reducción en las importaciones Chinas de India a menos de la mitad de los niveles de 2016 (247 kt en 2017), mientras que las

importaciones han crecido de Australia en un 230%, hasta las 552 kt. Las importaciones al segundo país con mayores importaciones, EEUU, provienen principalmente de África, con Mozambique y Madagascar exportando 190 kt y 198 kt respectivamente a los EEUU. El principal exportador a los EEUU es Australia, con 347 kt en 2017. Mozambique también provee la mayoría de las importaciones de India, con 72 kt en 2017. La oferta reciente de Sri Lanka ha añadido al crecimiento en las importaciones en India.

**Tabla 9 Importaciones de mineral y concentrados de titanio, kt**

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
China	1067	1479	2039	2271	2907	2270	2025	1880	2548	3065	12,4%
EEUU	1061	550	846	758	763	795	698	1043	942	1094	0,3%
México	108	65	113	80	88	104	114	201	324	389	15,3%
Rusia	119	38	93	105	158	121	129	312	238	271	9,6%
Noruega	73	30	45	25	0	26	27	75	157	289	16,5%
Resto del mundo	324	461	719	735	859	889	541	864	537	615	7,4%
<b>Total mundial</b>	<b>2.751</b>	<b>2.623</b>	<b>3.855</b>	<b>3.975</b>	<b>4.774</b>	<b>4.205</b>	<b>3.534</b>	<b>4.375</b>	<b>4.746</b>	<b>5.724</b>	<b>8,5%</b>
% cambio anual		-5%	47%	3%	20%	-12%	-16%	24%	8%	21%	

Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

### **Pigmento de dióxido de titanio**

Al igual que con el mineral y el concentrado, China y EEUU también importan grandes cantidades de pigmento, 221 kt y 191 kt respectivamente en 2017. La importación de pigmento en China se ha reducido desde 2008 a una TCAC del -1,6%, quizás en relación al aumento en la capacidad doméstica del país. La importa china de pigmento proviene de Taiwán, Australia y los EEUU (62 kt, 42 kt y 33 kt respectivamente). India ha crecido a una TCAC del 15,2% desde 2008, convirtiéndose en el principal importador de pigmento en 2017, con 225 kt. La combinación de esta importación de concentrado y capacidad de pigmentos sugiere que la demanda de pigmento en India está aumentando, lo que refleja su condición de país en rápido desarrollo.

**Tabla 10 Importaciones de pigmentos de dióxido de titanio (80% o más por peso en TiO<sub>2</sub>) (kt)**

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
India	63	70	100	124	114	118	123	123	195	225	15,2%
China	255	248	273	233	166	198	220	208	200	221	-1,6%
EEUU	135	130	145	140	151	160	170	168	185	191	3,9%
Corea del Sur	116	103	128	128	111	125	129	128	145	152	3,1%
Turquía	94	87	111	127	101	115	121	122	130	134	4,1%
Resto del mundo	803	753	911	937	856	1011	1018	945	991	1140	4,0%
<b>Total mundial</b>	<b>1466</b>	<b>1391</b>	<b>1667</b>	<b>1690</b>	<b>1499</b>	<b>1726</b>	<b>1782</b>	<b>1694</b>	<b>1845</b>	<b>2064</b>	<b>3,9%</b>
% cambio anual		-5%	20%	1%	-11%	15%	3%	-5%	9%	12%	

Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

## Exportaciones

### Mineral y concentrado de titanio

La mayoría de las exportaciones globales de mineral y concentrado de titanio provienen de Sudáfrica, con poco menos de la mitad de las exportaciones globales (1,3 Mt). Con una capacidad doméstica mínima para pigmentos y grandes volúmenes de producción de escoria titanífera, esto no es de sorprender. Las exportaciones de Senegal han aumentado, de cero antes de 2013, a 459 kt en 2017, lo que también se puede asociar a la nueva línea de oferta que se menciona en la sección 1.2.6. lo que deja a Senegal como el cuarto exportador principal de mineral y concentrado.

**Tabla 11 Exportaciones de mineral y concentrado de titanio (kt)**

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
Sudáfrica	1.128	1.015	1.007	1.131	917	826	901	678	667	1.316	1,7%
India	253	420	684	1159	888	757	740	841	603	338	3,3%
Ucrania	288	219	284	202	266	351	329	295	463	584	8,1%
Senegal	0	0	0	0	0	0	78	404	387	459	0,0%
Corea del Sur	83	31	84	154	184	216	195	121	185	183	9,2%
Resto del mundo	196	71	255	218	277	280	302	373	183	153	-2,8%
<b>Total mundial</b>	<b>1.949</b>	<b>1.756</b>	<b>2.313</b>	<b>2.864</b>	<b>2.532</b>	<b>2.430</b>	<b>2.545</b>	<b>2.713</b>	<b>2.489</b>	<b>3.033</b>	<b>5,0%</b>
% cambio anual		-10%	32%	24%	-12%	-4%	5%	7%	-8%	22%	-10%

Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

### Pigmento de dióxido de titanio

China, el principal importador de mineral y concentrado de titanio, también es el principal exportador de pigmento de dióxido de titanio, con 831 kt exportados en 2017. China solo exportó 76 kt de pigmento en 2008, lo que significa que su crecimiento en la última década ha sido

sustancial con una TCAC del 30,5%. Los tres destinos principales para el pigmento chino son India, Corea del Sur y Brasil, con 82 kt, 57 kt y 56 kt respectivamente.

**Tabla 12 Exportaciones de pigmento de dióxido de titanio (80% o más por peso en TiO<sub>2</sub>) (kt)**

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
China	76	104	266	398	385	403	554	540	719	831	30,5%
EEUU	670	621	725	746	592	628	662	627	636	611	-1,0%
México	121	117	128	131	127	136	146	153	199	285	10,0%
Taiwan	148	144	165	149	97	126	148	150	135	152	0,3%
Canadá	86	66	90	84	71	58	69	74	95	108	2,6%
Resto del mundo	211	201	249	268	271	260	176	186	155	146	-4,0%
Total mundial	1.311	1.252	1.624	1.777	1.543	1.611	1.755	1.730	1.939	2.133	5,6%

Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

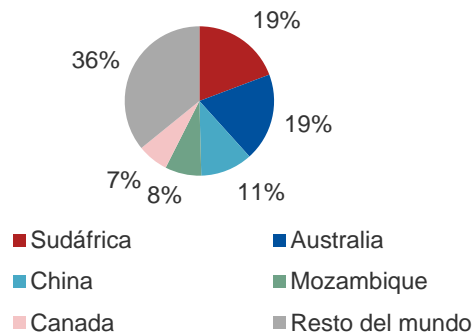
### 1.2.6. Producción histórica de titanio

A escala regional, la oferta de concentrados de titanio en 2017 se enfocó principalmente en África, donde dos de los cinco principales productores, Sudáfrica y Mozambique, produjeron un total combinado del 27% de la producción total de concentrado de TiO<sub>2</sub> (7,1 Mt). Australia tiene una participación aproximada igual a la de Sudáfrica, contribuyendo también un 19% de la oferta global total.

A nivel de productor, los principales productores de concentrado de titanio han sido Rio Tinto, Iluka y Tronox. La Figura 17 muestra un desglose de la producción promedio para cada una de las 5 principales empresas productoras para el periodo 2010 - 2014. Desde 2014, otros productores principales han ingresado al mercado, incluyendo Chemours en 2015, una subsidiaria del productor de pigmentos Du Pont. Otro productor notable es Trimex Sands.

**Figura 16 Producción de concentrado de TiO<sub>2</sub> , promedio 2010 - 2014 ('000s kt de TiO<sub>2</sub> contenido)**

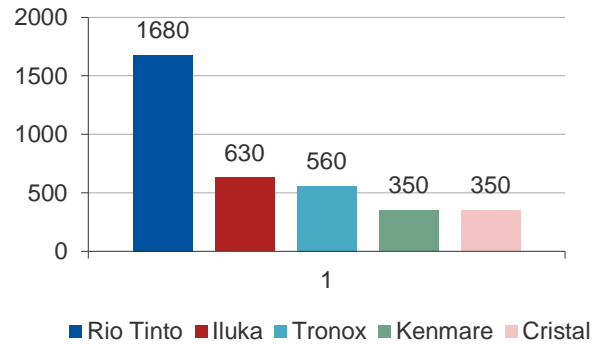
Producción total: 7,1 Mt



Fuente: CRU

**Figura 17 Producción de concentrado de TiO<sub>2</sub> por productor, promedio 2010 - 2014 ('000s kt de TiO<sub>2</sub> contenido)**

Producción: 7,000 (kt de concentrado)



Fuente: CRU

Desde 2008, la oferta de concentrado de titanio ha sido inconsistente, inicialmente debido a los efectos de la crisis financiera. Para este periodo entre 2008 y 2010, se redujo la capacidad de las instalaciones de producción de pigmento de TiO<sub>2</sub>, lo que redujo el consumo de concentrado de TiO<sub>2</sub>. Se vio una reducción similar en la producción de concentrado de TiO<sub>2</sub>, según se muestra a continuación donde la producción de concentrado de titanio de Australia cayó en un 21%. El aumento de precios resultante causó un regreso a la producción y superó los niveles de 2008, alcanzando un máximo para la década en 2012. El exceso de oferta resultó en otra caída de los precios en 2013 y 2014, lo que tuvo un efecto negativo en algunos proveedores. Por ejemplo, en China, uno de los mayores productores de ilmenita, Panzihua (que produce ilmenita como subproducto de la minería del hierro) sufrió de cierres importantes de minas en 2015, cortando la oferta china de ilmenita en el mercado.

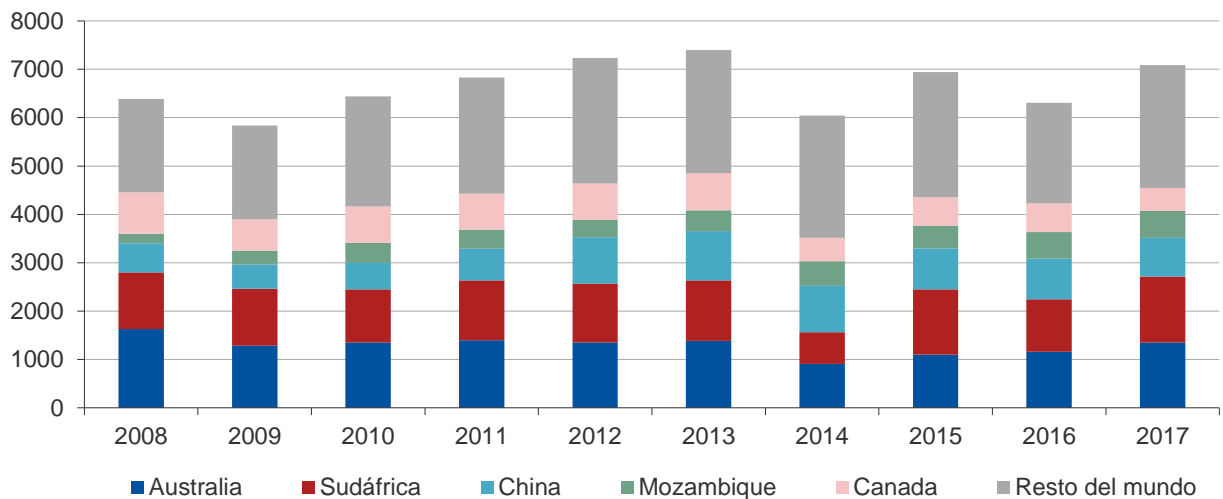
Tras 2015, Rio Tinto cortó la producción de escoria de TiO<sub>2</sub> en Canadá y Sudáfrica, dejando tres hornos en standby debido a otra caída en los precios de escoria titanífera y rutilo. La gran participación de mercado de Rio Tinto por medio de su participación en Richards Bay Minerals hace que el mercado sea altamente susceptible a los movimientos de producción de Rio Tinto. En reacción al aumento de precios en 2017, se aumentó la producción de escoria titanífera de parte de Rio Tinto en Sudáfrica, lo que causó un aumento en la producción general.

Otra característica del mercado del titanio es la integración vertical. Por ejemplo, Tronox y Cristal, dos de los principales productores de TiO<sub>2</sub>, han considerado la integración vertical aguas arriba.

Los aumentos han causado que los proveedores independientes se alineen más efectivamente con los movimientos de oferta y demanda y de los productores de pigmentos.

Las adiciones recientes a la cartera de proyectos incluyen el proyecto mineral Grande Côte en Senegal, que es la operación de dragado de arenas minerales más grande del mundo y que producirá ilmenita de alta calidad y pequeñas cantidades de rutilo durante los próximos 25 años y el depósito de arenas minerales de Kwale en Kenia. Ambos empezaron su producción en 2014.

**Figura 18 Producción histórica de concentrado de TiO<sub>2</sub>, 2008 - 2017 ('000s TiO<sub>2</sub> contenido)**



Fuente: CRU

**Tabla 13 Producción histórica de concentrado de TiO<sub>2</sub>, 2008 - 2017 ('000s TiO<sub>2</sub> contenido)**

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
Sudáfrica	1171	1177	1097	1232	1220	1249	653	1347	1087	1365	1,7%
Australia	1629	1286	1352	1400	1350	1383	910	1100	1160	1350	-2,1%
China	600	500	550	660	960	1020	960	850	840	800	3,2%
Mozambique	203	285	411	386	357	430	510	460	547	557	11,9%
Canadá	850	650	754	750	750	770	480	595	595	475	-6,3%
Resto del mundo	1935	1942	2274	2401	2596	2549	2528	2589	2076	2540	3,1%
<b>Total mundial</b>	<b>6388</b>	<b>5840</b>	<b>6438</b>	<b>6829</b>	<b>7233</b>	<b>7401</b>	<b>6041</b>	<b>6941</b>	<b>6305</b>	<b>7087</b>	<b>1,2%</b>
<i>% cambio anual</i>		-9%	10%	6%	6%	2%	-18%	15%	-9%	12%	

Fuente: CRU

## 1.2.7. Proyección de producción de titanio

### Escenario 1 - Continuidad

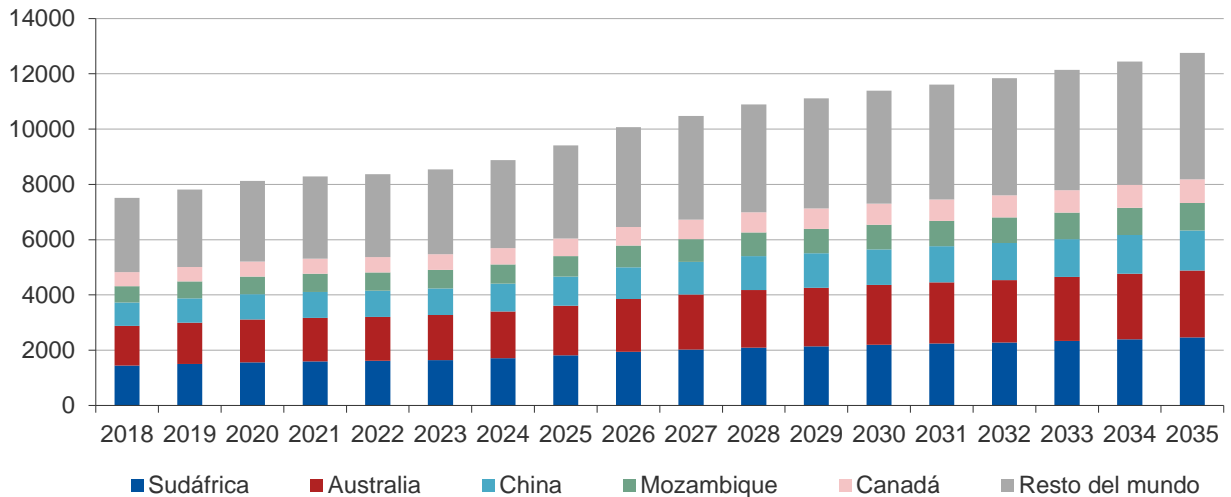
La proyección de oferta para los concentrados de titanio cuenta con la suposición básica que la oferta deberá aumentar para alinearse con el crecimiento de consumo pronosticado. Se asume que para el 2035, la oferta de concentrado de titanio será equivalente a su consumo. En el corto plazo, algunas dinámicas estarán en juego, las que disminuirán el crecimiento de la producción de concentrado. El término de vida de numerosos depósitos de arenas minerales disminuirá el crecimiento. Además, la ley promedio del mineral para los proyectos en el periodo hasta 2025 es menor, añadiendo el factor de que el contenido de la arena mineral pesada más valiosa de estos minerales también está decayendo.

El resultado de esto serán costos de producción más altos a futuro, lo que requerirá precios más altos para el concentrado de arena mineral, para así asegurar la inversión en proyectos futuros. Con los precios más altos viene el riesgo de exceso de inversión y una mayor tasa de crecimiento de la oferta.

Los nuevos proyectos en cartera para el futuro cercano incluyen un nuevo proyecto de rutilo, Mina Seca Sembahun en Sierra Leona, operada por Sierra Rutile (producción esperada en 2019), el proyecto de ilmenita Mutamba de Savannah Resources, en Mozambique (2020), el proyecto Fugoni de Strandline Resources en Tanzania (2019) y el proyecto de ilmenita Goondicum de Melior Resources, el cual empezó producción en Noviembre de 2018.

El exceso de oferta una vez más reducirá los precios en 2027, causando que el crecimiento de la producción se ralentice, retomando el paso a largo plazo a medida que la oferta se acerca al consumo. Sin un desglose de los proyectos a largo plazo, la participación de mercado de cada país o región se ha mantenido constante.

**Figura 19 Proyección de oferta de concentrado de titanio, 2018 - 2035 ('000s de TiO2 contenido)**



Fuente: CRU

**Tabla 14 Proyección de producción de concentrado de TiO<sub>2</sub>, 2018 - 2035 ('000s TiO2 contenido)**

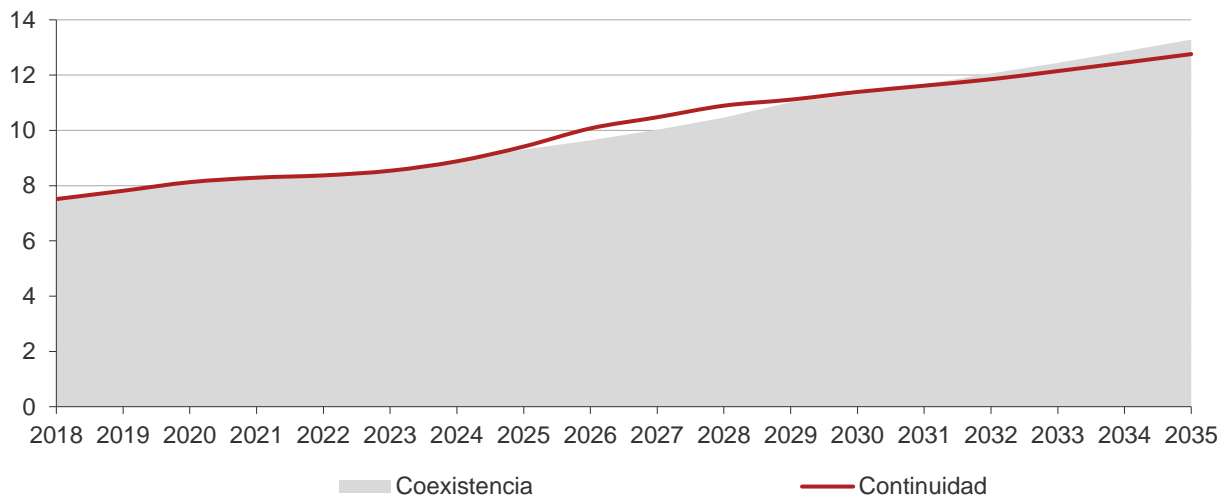
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Sudáfrica	1.447	1.505	1.565	1.596	1.612	1.644	1.710	1.813	1.940	2.017
Australia	1.431	1.488	1.548	1.579	1.595	1.626	1.691	1.793	1.918	1.995
China	848	882	917	936	945	964	1.002	1.062	1.137	1.182
Mozambique	590	614	639	651	658	671	698	740	792	823
Canadá	504	524	545	555	561	572	595	631	675	702
Resto del mundo	2.692	2.800	2.912	2.970	3.000	3.060	3.182	3.373	3.610	3.754
<b>Total mundial</b>	<b>7.512</b>	<b>7.812</b>	<b>8.125</b>	<b>8.287</b>	<b>8.370</b>	<b>8.538</b>	<b>8.879</b>	<b>9.412</b>	<b>10.071</b>	<b>10.474</b>
<i>% cambio anual</i>		4%	4%	2%	1%	2%	4%	6%	7%	4%
	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035	
Sudáfrica	2.098	2.140	2.194	2.237	2.282	2.339	2.398	2.458	3,2%	
Australia	2.075	2.116	2.169	2.213	2.257	2.313	2.371	2.431	3,2%	
China	1.230	1.254	1.286	1.311	1.338	1.371	1.405	1.440	3,2%	
Mozambique	856	873	895	913	931	955	978	1.003	3,2%	
Canadá	730	745	763	779	794	814	834	855	3,2%	
Resto del mundo	3.904	3982	4.082	4.163	4.247	4.353	4.462	4.573	3,2%	
<b>Total mundial</b>	<b>10.893</b>	<b>11.111</b>	<b>11.389</b>	<b>11.616</b>	<b>11.849</b>	<b>12.145</b>	<b>12.449</b>	<b>12.760</b>	<b>3,2%</b>	
<i>% cambio anual</i>	4%	2%	2%	2%	2%	2%	3%	2%		

Fuente: CRU

### Escenario 2 - Coexistencia

Para el mediano plazo, se asume que la oferta no tendrá la capacidad de ajustarse a posibles cambios en la demanda gatillados por las diferencias entre el escenario Continuidad y Coexistencia. En el largo plazo, sin embargo, la oferta tendría la capacidad de reaccionar a estos cambios. A raíz de esto, en el escenario de Coexistencia se produciría una mayor oferta de concentrado de TiO<sub>2</sub> en comparación con el de Continuidad desde 2024. La diferencia entre la producción para el escenario de Coexistencia sobre el escenario de Continuidad sería de 0,5 Mt a 2035. En el caso de Continuidad, la oferta crecería a un menor ritmo que la demanda para este escenario, esperándose un déficit de la oferta desde 2023, el cual se incrementaría en el largo plazo. En el escenario de Coexistencia la oferta superaría a la demanda a partir de 2019.

**Figura 20 Oferta en escenario Continuidad vs. Coexistencia para concentrado de TiO<sub>2</sub> (Mt)**



Fuente: CRU

**Tabla 15 Oferta en escenario Continuidad vs. Coexistencia para concentrado de TiO<sub>2</sub> (Mt)**

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027			
Continuidad	7.5	7.8	8.1	8.3	8.4	8.5	8.9	9.4	10.1	10.5			
Coexistencia	7.5	7.8	8.1	8.3	8.4	8.5	8.9	9.3	9.6	10.0			
Diferencia*	-	-	-	-	-	-	0.0	-	0.1	-	0.4	-	0.5

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035		
Continuidad	10.9	11.1	11.4	11.6	11.8	12.1	12.4	12.8	3.2%		
Coexistencia	10.5	11.0	11.3	11.7	12.1	12.4	12.9	13.3	3.4%		
Diferencia*	-	0.4	-	0.1	-	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5

\* Diferencia calculada como Coexistencia menos Continuidad

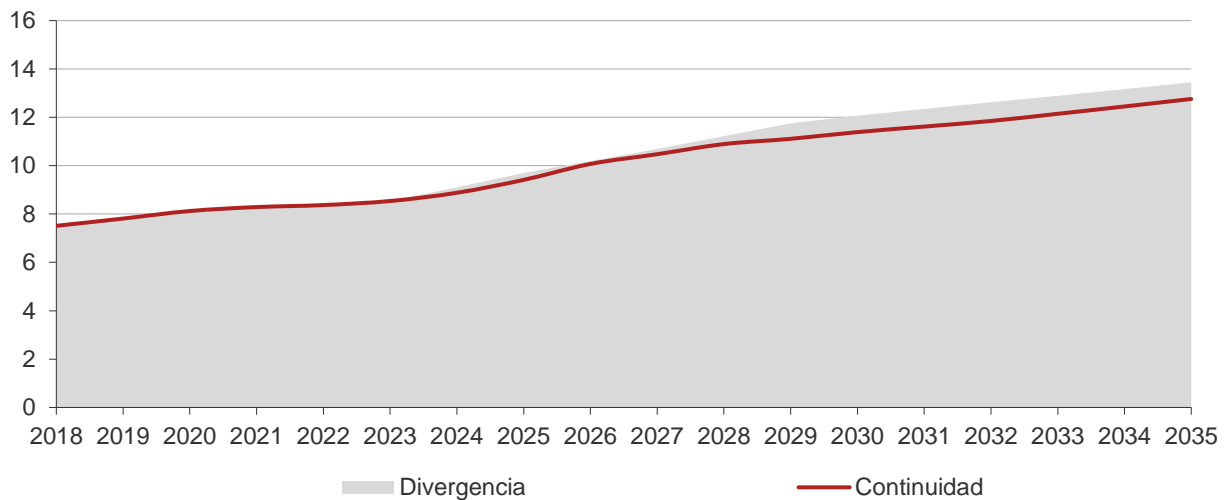
Fuente: CRU

### Escenario 3 - Divergencia

Tal como para el escenario Coexistencia, en el escenario Divergencia se asume que la oferta no tendrá la capacidad de ajustarse a cambios en la demanda en el mediano plazo. Como consecuencia, la oferta en el escenario Divergencia se mantiene igual a la oferta en el escenario Convergencia entre los años 2018-2023.

En el largo plazo, se asume que la oferta tiene la capacidad de reaccionar y responder a las exigencias del mercado. Dada lo anterior, en el escenario de Divergencia la producción aumentaría en niveles superiores a los del escenario de Continuidad, reflejando una mayor producción que alcanzaría las 13,4 Mt versus los 12,8 Mt del escenario de Continuidad para 2035.

**Figura 21 Oferta en escenario Continuidad vs. Divergencia para concentrado de TiO<sub>2</sub> (Mt)**



Fuente: CRU

**Tabla 16 Oferta en escenario Continuidad vs. Divergencia para concentrado de TiO<sub>2</sub> (Mt)**

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	7,5	7,8	8,1	8,3	8,4	8,5	8,9	9,4	10,1	10,5
Divergencia	7,5	7,8	8,1	8,3	8,4	8,5	9,1	9,7	10,2	10,7
Diferencia*	-	-	-	-	-	-	0,2	0,3	0,1	0,2

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035
Continuidad	10,9	11,1	11,4	11,6	11,8	12,1	12,4	12,8	3,2%
Divergencia	11,2	11,8	12,1	12,3	12,6	12,9	13,2	13,4	3,5%
Diferencia*	0,3	0,6	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	

\* Diferencia calculada como Divergencia menos Continuidad

Fuente: CRU

## 1.3. Balance del mercado y precio del titanio

### 1.3.1. Descripción de la estructura y mecanismos de precio

No hay un precio de referencia para el concentrado de  $\text{TiO}_2$ , ya que las arenas minerales se suelen transar en base a contratos a largo plazo. Para el precio del pigmento de  $\text{TiO}_2$  tampoco hay un precio de mercado estándar, ya que los precios acordados dependen de la especificación del producto y marca del productor.

Sin embargo, las fuentes de datos más disponibles tanto para los precios del concentrado como del pigmento provienen de la USGS, que ofrece los precios históricos de la ilmenita, rutilo, escoria y pigmento en los EEUU. Los precios del concentrado y del pigmento están basados en el valor de consumo aparente de una tonelada métrica de peso bruto, donde el precio del concentrado toma en consideración los valores de embarque e importación, y el pigmento sólo considera los valores de embarques para años recientes (a partir de 1978, antes de esta fecha se usan los datos de valores de exportación).

Se usan los precios históricos citados por la USGS debido a su disponibilidad y claridad de información. Los precios futuros se basan en estos precios, aplicando diversos factores de modificación para reflejar las tendencias del mercado. El precio de la ilmenita se usará como el valor para las secciones a continuación, ya que es el principal componente de la producción total.

### 1.3.2. Balance de mercado y precio histórico del titanio

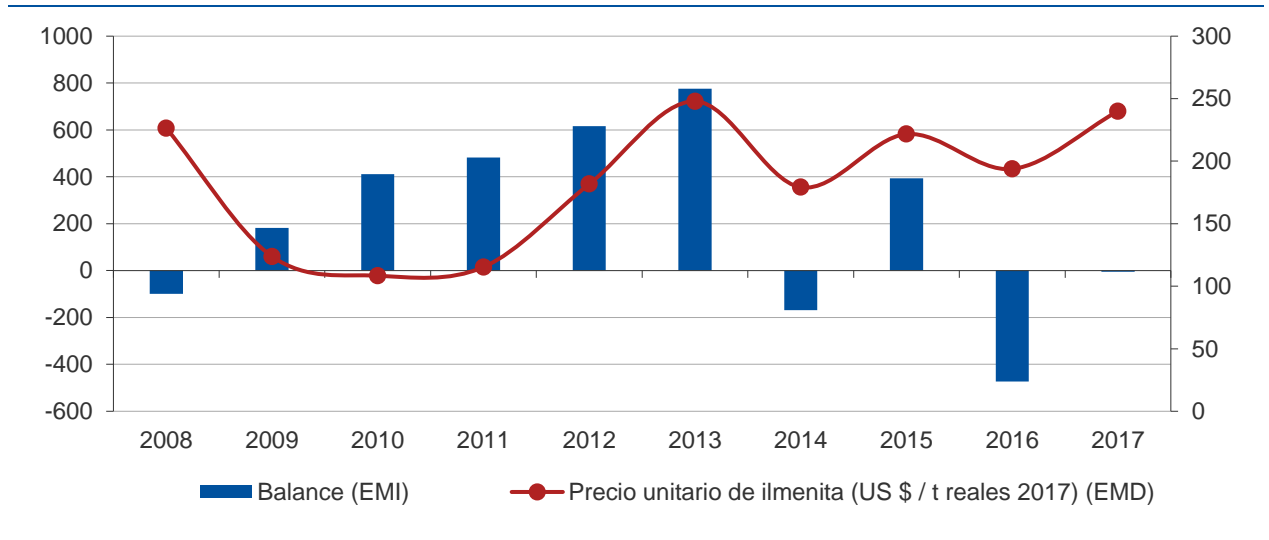
Para calcular el balance de mercado se ha considerado un 5% de pérdidas de producción a consumo. En la Figura 22 se puede apreciar el balance de mercado y el precio por unidad de la ilmenita en los EE. UU. para la última década. La reducción en la producción de ilmenita en 2009 y la caída en la utilización de capacidad de las instalaciones de pigmento de  $\text{TiO}_2$  significan que los precios cayeron y que el mercado entró a un exceso de oferta.

El alza en los precios de pigmento entre 2010 y 2012 (2.618 USD/t a 3.903 USD/t) causó un aumento con retraso en los precios de la ilmenita entre 2011 y 2013 (115 USD/t a 248 USD/t). Sin embargo, los precios cayeron a medida que la tendencia al exceso de oferta terminó y los precios del pigmento cayeron por debajo de los niveles de 2008. Desde 2014 el mercado se ha mantenido volátil, con un balance rezagado respecto a los precios a medida que los productores reaccionan a las tendencias de precios.

Los precios del pigmento y los volúmenes de ventas han ido en aumento desde 2015, con las plantas de pigmentos aumentando sus tasas de operación, lo que ha llevado a una mejora en el

consumo de materia prima. Esta mejora en los precios de los pigmentos ha tenido y seguirá teniendo un efecto retrasado aguas arriba para el precio del concentrado de titanio. Según se aprecia en la Figura 22, los precios de la ilmenita ya estaban aumentando como resultado, en especial debido a la estrechez de la oferta de ilmenita china (ver 1.2.6). Se espera que los precios del rutilo y de la escoria se mantengan detrás de la ilmenita debido a la introducción de capacidad latente, como es el caso de las instalaciones sudafricanas y canadienses de Rio Tinto que se mencionan en la sección 1.2.6.

**Figura 22 Balance y precios de mercado históricos del concentrado de TiO<sub>2</sub>, 2008 - 2017, ('000s de TiO<sub>2</sub> contenido)**



Fuente: CRU

**Tabla 17 Balance de mercado y precios históricos del dióxido de titanio, 2008 - 2017**

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC
Balance de mercado ('000s de TiO <sub>2</sub> contenido)											
Oferta	6.069	5.548	6.116	6.488	6.871	7.031	6.214	6.594	5.990	6.733	1,2%
Demanda	6.168	5.365	5.705	6.005	6.256	6.256	6.383	6.200	6.463	6.738	1,0%
<b>Balance</b>	<b>-99</b>	<b>183</b>	<b>411</b>	<b>482</b>	<b>616</b>	<b>775</b>	<b>-169</b>	<b>394</b>	<b>-473</b>	<b>-5</b>	
Precio del concentrado de TiO <sub>2</sub>											
Precio unitario											
Ilmenita (real 2017 USD/t)	226,4	123,9	108,4	115,4	181,7	247,9	179,2	221,6	193,8	240,0	0,7%
Precio unitario											
Ilmenita (nominal 2017 USD/t)	197,0	109,0	96,5	105,0	169,0	233,0	172,0	215,0	190,0	240,0	2,2%
Precio unitario											
pigmento de dióxido de titanio (real 2017 USD/t)	2.540,2	2.511,4	2.618,0	3.659,3	3.903,2	3.287,2	2.822,9	2.371,1	2.427,3	2.985,9	1,8%
Precio unitario											
pigmento de dióxido de titanio (nominal 2017 USD/t)	2.210,0	2.210,0	2.330,0	3.330,0	3.630,0	3.090,0	2.710,0	2.300,0	2.378,7	2.985,9	3,4%

Fuente: CRU

### 1.3.3. Proyección de balance de mercado y precio del titanio

#### Escenario 1 - Continuidad

A corto plazo, el balance de mercado se mantendrá en excedentes a un nivel decreciente hasta 2021, cuando el mercado pase a un déficit (-88 kt de TiO<sub>2</sub> contenido). El crecimiento consistente del consumo coincidirá con un menor crecimiento en la oferta debido a la caída de la ley del mineral y al comienzo del término de algunos proyectos de arenas minerales.

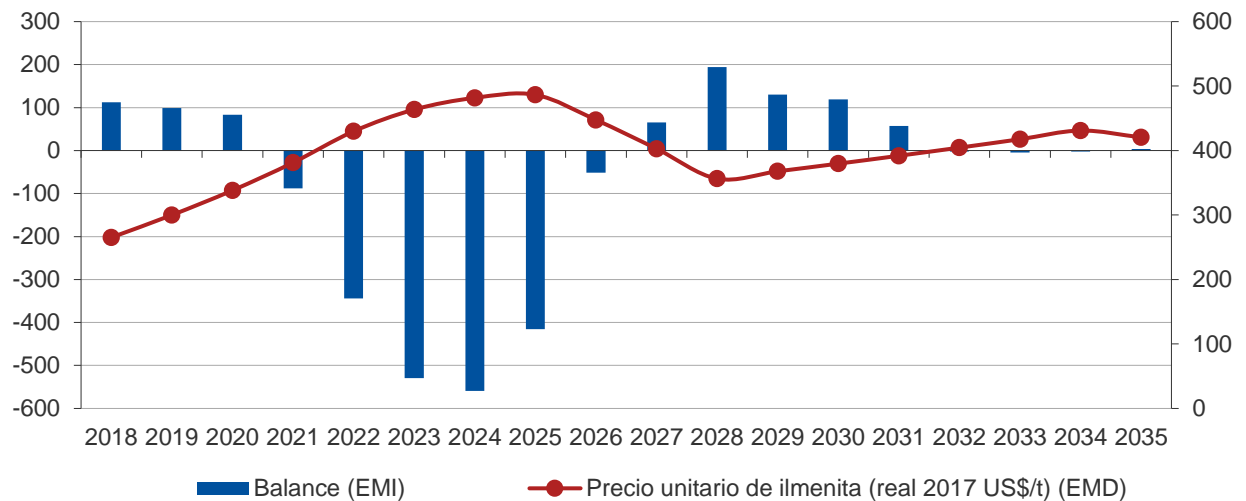
A largo plazo, el mercado entrará a un periodo de déficit entre 2021 y 2026 a medida que el mercado sienta los efectos del aumento en el consumo y una baja en el crecimiento de la oferta. Sin embargo, es altamente probable que los precios altos que resulten de esto causen un exceso de inversión en la industria, lo que llevaría a un retorno a una situación de excedentes en 2027. A medida que la oferta tienda a igualar la demanda a partir de 2029, el balance volverá de forma gradual a cero.

Se espera que el aumento en los precios de la ilmenita para los próximos años sea consistente con el aumento en los precios que comenzó en 2016, a un promedio de 13% anual hasta el 2022.

Los precios empezarán en 2018 a aproximadamente 265 USD/t y terminarán en 2022 a 430 USD/t (real) en respuesta al aumento en los precios de los pigmentos.

El Costo Marginal de Largo Plazo (CMLP) para la ilmenita es de 421 USD/t, basados en las tendencias históricas de precios. Entre 2021 y 2025, los precios aumentarán, pero el crecimiento caerá a medida que el déficit se reduzca en tasa de crecimiento. El exceso de inversión en los proyectos de arenas minerales frente al aumento de los precios tendrá un efecto negativo en los precios a partir de 2025, cuando el mercado vuelva a quedar en excedentes. Estos excedentes caerán entre 2028 y 2032, causando un aumento ligero en los precios a medida que estos tiendan a llegar al CMLP.

**Figura 23 Proyección de balance y precios de mercado del concentrado de TiO<sub>2</sub>, 2018 - 2035, ('000s de TiO<sub>2</sub> contenido)**



Fuente: CRU

**Tabla 18 Proyección de balance de mercado del concentrado de titanio, 2018 - 2035 (kt de TiO<sub>2</sub> contenido)**

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Oferta	7.137	7.422	7.719	7.873	7.952	8.111	8.436	8.942	9.568	9.950
Demanda	7.024	7.323	7.635	7.961	8.296	8.641	8.995	9.357	9.619	9.885
Balance	112	99	84	(88)	(344)	(530)	(559)	(416)	(52)	66

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-35
Oferta	10.348	10.555	10.,819	11.036	11.256	11.538	11.826	12.122	3,2%
Demanda	10.154	10.425	10.700	10.978	11.259	11.542	11.829	12.118	3,3%
Balance	195	130	119	57	(3)	(4)	(3)	4	

Fuente: CRU

**Tabla 19 Proyección de precio por unidad del concentrado de titanio en EEUU, 2018 - 2035 (USD/t)**

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Precio unitario Ilmenita (real 2017 USD/t)	265,2	300,0	338,2	381,3	429,9	463,6	481,8	486,5	447,5	402,8
Precio unitario Ilmenita (nominal 2017 USD/t)	271,4	313,1	360,1	414,1	476,2	523,8	555,2	571,9	536,7	492,7

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-35
Precio unitario Ilmenita (real 2017 USD/t)	356,3	367,8	379,7	391,9	404,5	417,6	431,0	420,5	2,7%
Precio unitario Ilmenita (nominal 2017 USD/t)	444,6	468,1	492,9	519,0	546,4	575,3	605,8	602,8	4,8%

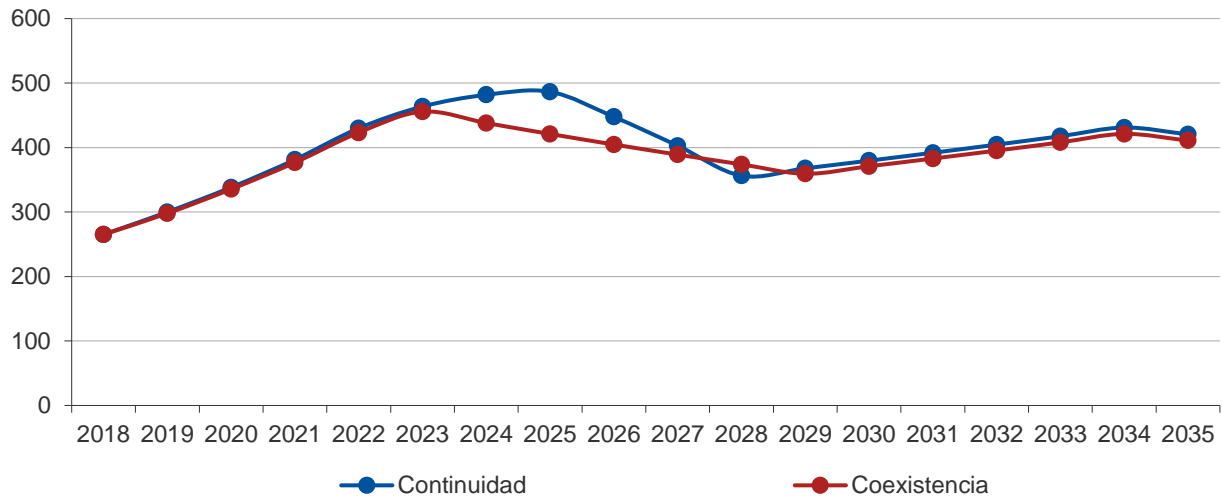
Fuente: CRU

## Escenario 2 – Coexistencia

En el mediano plazo, el escenario de Continuidad tiene una demanda mayor a la demanda del escenario Coexistencia. La oferta se mantiene igual en ambos escenarios. Como consecuencia, el precio del concentrado de TiO<sub>2</sub> en el escenario Continuidad es levemente mayor que en el escenario Coexistencia durante el periodo 2018-2022.

En el caso de Coexistencia, existirá un superávit de oferta en el mercado de forma permanente durante el periodo analizado lo que hace que el precio a partir de 2022 se ajuste a la baja con respecto al escenario de Continuidad. Luego, a partir de 2028 retomara su tendencia hacia el CMLP.

**Figura 24 Precios en escenario Continuidad vs. Coexistencia para concentrado de TiO<sub>2</sub> (2017 US\$/t)**



Fuente: CRU

**Tabla 20 Precios en escenario Continuidad vs. Coexistencia para concentrado de TiO<sub>2</sub> (2017 US\$/t)**

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	265	300	338	381	430	464	482	486	448	403
Coexistencia	265	298	335	377	423	456	438	421	405	389
Diferencia*	--	2 -	3 -	5 -	7 -	8 -	44 -	65 -	43 -	14

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035
Continuidad	356	368	380	392	405	418	431	420	2,7%
Coexistencia	374	359	371	383	395	408	421	411	2,6%
Diferencia*	18-	8 -	9 -	9 -	9 -	10 -	10 -	10	

\* Diferencia calculada como Coexistencia menos Continuidad

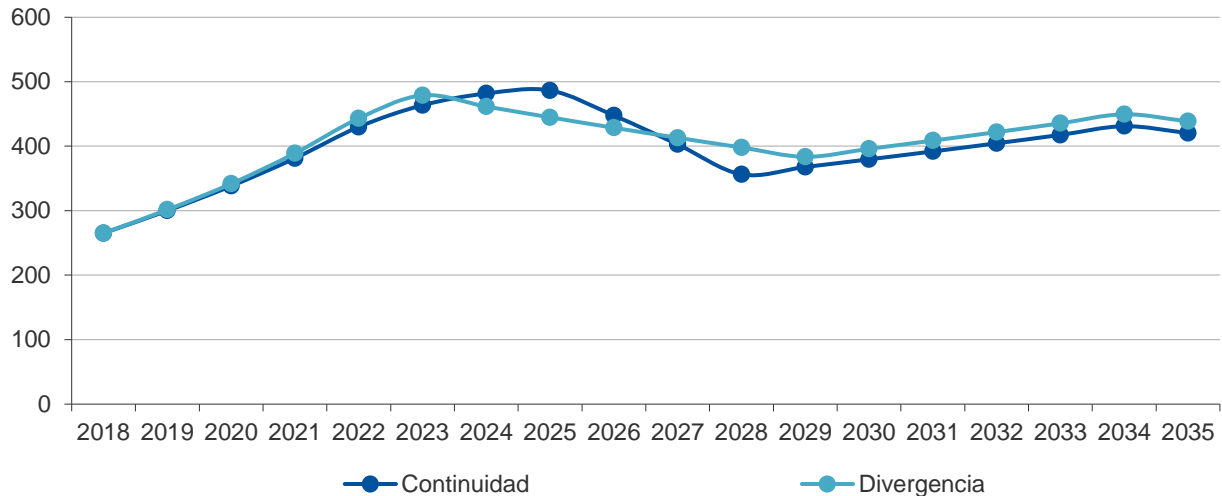
Fuente: CRU

### Escenario 3 - Divergencia

En el mediano plazo (2018-2022), el escenario Divergencia tiene una mayor demanda que el escenario Continuidad. Al mantenerse constante la oferta en ambos escenarios, Los cambios en la demanda se traducen en que el escenario Divergencia muestra mayores precios que el escenario Continuidad durante este periodo de tiempo.

Al igual que en el escenario Continuidad, existirá un déficit de oferta en los años intermedios de nuestra proyección (2020-2025), sin embargo en este caso es menor lo que provoca que el precio se ajuste a partir de 2023 para luego retomar la tendencia hacia el CMLP.

**Figura 25 Precios en escenario Continuidad vs. Divergencia para concentrado de TiO<sub>2</sub> (2017 US\$/t)**



Fuente: CRU

**Tabla 21 Precios en escenario Continuidad vs. Divergencia para concentrado de TiO<sub>2</sub> (2017 US\$/t)**

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	265	300	338	381	430	464	482	486	448	403
Divergencia	265	301	342	389	443	479	462	445	429	413
Diferencia*	-	1	4	8	13	15	-	20	-	19

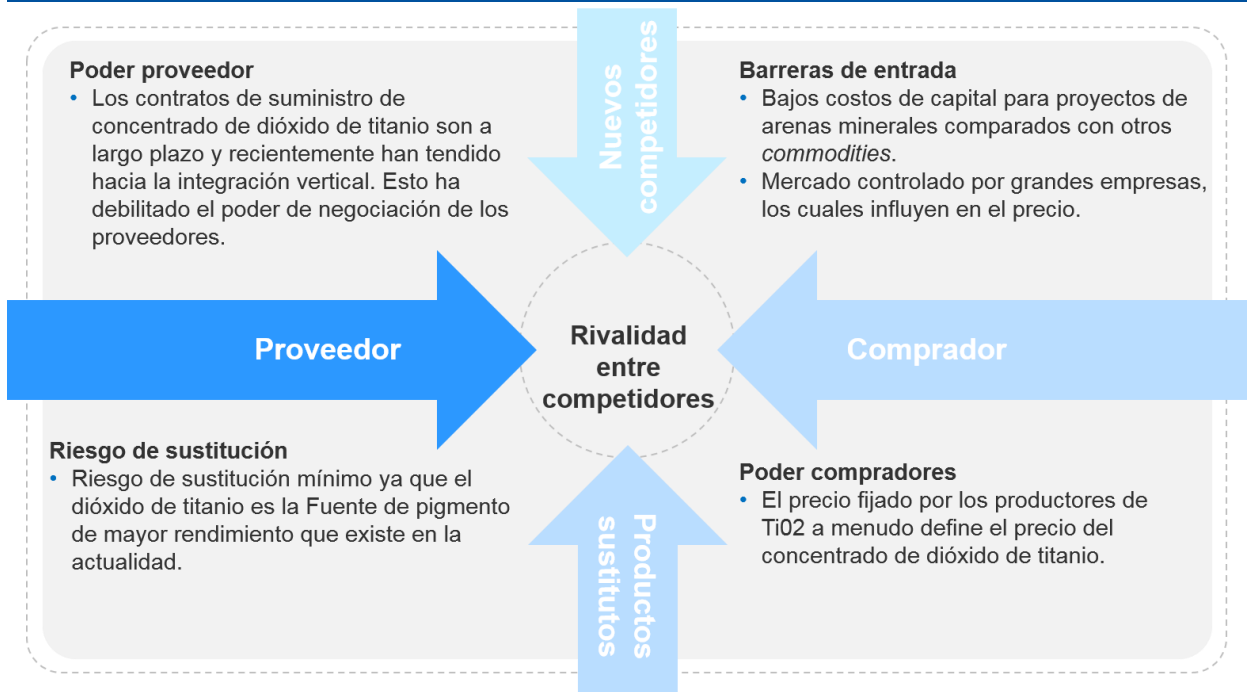
	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035
Continuidad	356	368	380	392	405	418	431	420	2.7%
Divergencia	398	384	396	409	422	435	450	439	3.0%
Diferencia*	42	16	16	17	17	18	18	18	

\* Diferencia calculada como Divergencia menos Continuidad

Fuente: CRU

### 1.3.4. Análisis de las cinco fuerzas de Porter para el mercado del titanio

Figura 26 Análisis de 5 fuerzas de Porter, titanio



Fuente: CRU

## Anexo I. Glosario

### Monedas y medidas de valor

Sigla	Significado
US\$	Dólar estadounidense
US\$/t	Dólar estadounidense por tonelada

### Empresas e Instituciones

Sigla	Significado
USGS	United States Geological Service / Servicio Geológico estadounidense

### Medidas de peso

Sigla	Significado
Kt	Miles de Toneladas
Mt	Millones de toneladas
T/Ton	Tonelada

### Otros

Sigla	Significado
LME	<i>London Metal Exchange</i> / Bolsa de Metales de Londres
LRMC – CMLP	<i>Long run marginal cost</i> / Costo marginal de largo plazo
PI	Producción industrial
PIB	Producto Interno Bruto
SRMC – CMCP	<i>Short run marginal cost</i> / Costo marginal de corto plazo
TCAC	Tasa de Crecimiento Anual Compuesto
Ti	Símbolo del Titanio

## Anexo II. Bibliografía

1. MinEx Consulting
2. Global Trade Information Services. IHS Markit GTA
3. DESA/UNSD, *United Nations Comtrade database*
4. MARSHALL, Alfred. Principles of Economics. XVIII ed. Nueva York, Cosimo Inc, 2006.
5. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries. 2009 – 2018. Disponible en Internet: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf>
6. Iluka, Mineral Sands Industry Information. 2015. Disponible en internet: <http://www.iluka.com/docs/default-source/6.0-investors-media/mineral-sands-industry-information-%28may-2015%29.pdf?sfvrsn=4>