



Universidad Católica del Norte
ver más allá



Escuela de Negocios Mineros
Dirección de Postgrado

Análisis de Oportunidades de Negocios para Fuentes de Tierras Raras en Chile: Concentrados del Mineral, Tratamiento de Descartes Mineros y Reciclaje.

Proyecto de Titulación presentado para optar al grado de Magíster en Gestión Minera.

Profesor Guía:

Fernando Álvarez Castillo

Oscar Benavente Poblete

MIGUEL MARTÍNEZ PEREIRA

GONZALO QUIROZ PEREZ

CRISTIAN WONG CUELLO

Antofagasta, Noviembre de 2012

DEDICATORIA

A nuestras familias que con su apoyo incondicional han sido la luz inspiradora que nos ha permitido mantener el paso por el camino de la minería.

AGRADECIMIENTOS

A nuestros profesores guías don Fernando Álvarez Castillo y don Óscar Benavente Poblete, quien es a su vez el Director de la Escuela de Negocios Mineros de la Universidad Católica del Norte, con su colaboración y sabios consejos nos permitieron consolidar esta tesis de Magíster. Al Sr. Carlos Molina Alfaro, Director del Magíster de Gestión Minera, por su aporte en la elaboración del trabajo de título.

A don Julio Daie Moreno, Jefe del Departamento de Reactores, y a don Pedro Orrego Alfaro, Jefe de Geología y Minería, ambos de la Comisión Chilena de Energía Nuclear, quienes nos recibieron cordialmente y atendieron nuestras consultas, en los Centro Nucleares de la Reina y de Lo Aguirre.

A don Luis Valderrama Campusano, profesor e investigador del Departamento de Metalurgia de la Universidad de Atacama, quien nos recibió muy cordialmente en su oficina y posteriormente sus trabajos han sido un punto de referencia permanente para el desarrollo de esta tesis.

A don David Olgúin A., Gerente de Planta de la Empresa Nacional de Minería, quien nos atendió y respondió atentamente las consultas de nuestro equipo de trabajo.

A la Sra. Marisol Bembow Seguel, Directora del Departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad Católica del Norte, quien nos orientó junto a su equipo en los temas de geología.

A don Humberto Burgos Romero, Director Regional SERNAGEOMIN Antofagasta y estimado profesor del Magíster, y a la investigadora Sra. Aída Acevedo Acevedo, Jefa del Departamento de Ingeniería y Gestión Ambiental del mismo organismo, quien nos atendió cordialmente en su oficina.

A la sra. Analía Urzúa Stricker y su hija Analía de la Torre Urzúa, por poner su apoyo y colaboración desinteresados en el desarrollo de esta tesis.

Tabla de Contenidos

	Página
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS DEL MERCADO DE MINERALES	3
1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS METALES POR COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA.....	3
1.1.1. Metales Férricos.....	3
1.1.2. Metales Base.....	3
1.1.3. Metales de Alta Tecnología o <i>High-Tech</i>	4
1.1.4. Metales del Grupo del Platino (<i>Platinum Group Metal PGM</i>)	4
1.1.5. Metales Preciosos	5
1.1.6. Metales Tóxicos.....	5
1.2. CLASIFICACIÓN ECONÓMICA POR RIESGO DE SUMINISTRO.....	6
1.3. CLASIFICACIÓN RESPECTO DEL TAMAÑO DE LAS EMPRESAS MINERAS.....	9
1.3.1. Empresas Jóvenes (<i>Juniors</i>)	9
1.3.2. Empresas Mayores (<i>Majors pur players</i>).....	9
1.3.3. Empresas Mayores Diversificadas (<i>Majors</i>)	9
1.4. CLASIFICACIÓN POR CONCENTRACIÓN DE LA OFERTA	11
CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE PARA LAS TIERRAS RARAS	13
2.1. LOS ELEMENTOS DE LAS TIERRAS RARAS	13
2.2. PRINCIPALES USOS DE LOS ELEMENTOS DE LAS TIERRAS RARAS.....	16
2.2.1. Iluminación	17
2.2.2. Computadoras y Comunicaciones.....	17
2.2.3. Catalizadores de Fraccionamiento de Petróleo (<i>Cracking</i>)	18
2.2.4. Energía Eólica	19
2.2.5. Industria Automotriz.....	19
2.2.6. Imanes de Alta Potencia.....	20

2.2.7. Telecomunicaciones.....	22
2.2.8. Aditivos en Vidrios.....	22
2.2.9. Medios de Pulido.....	23
2.2.10. Almacenamiento de Energía.....	24
2.2.11. Usos en Medicina.....	24
2.2.12. Usos en la Industria de la Defensa.....	25
2.3. AGRUPAMIENTO DE LAS TIERRAS RARAS.....	26
2.3.1. Total de Óxidos de Tierras Raras.....	26
2.3.2. Elementos de Tierras Raras Livianas.....	27
2.3.3. Elementos de Tierras Raras Pesadas.....	27
2.3.4. De acuerdo a la Criticidad del Suministro.....	28
2.4. GENERALIDADES DE LA MINERALOGÍA Y LOS DEPÓSITOS DE TIERRAS RARAS.....	29
2.5. LA PRODUCCIÓN DE TIERRAS RARAS EN EL MUNDO.....	30
2.5.1. China.....	31
2.5.2. El Resto del Mundo.....	34
2.5.2.1. Estados Unidos.....	36
2.5.2.2. Australia.....	39
2.5.2.3. Malasia.....	41
2.5.2.4. India.....	41
2.5.2.5. Canadá.....	41
2.5.2.6. Japón.....	42
2.5.2.7. Sudamérica.....	43
2.5.2.8. Chile.....	44
2.6. LA TIERRAS RARAS EN EL MERCADO DE CAPITAL CHILENO.....	48
2.6.1. Fondos de Inversión de Capital de Riesgo.....	48
2.6.2. Relación entre empresas de <i>Venture Capital</i> y Emprendedores..	50
2.6.3. Fondos de Inversión de Tierras Raras (ETF).....	52
2.6.4. Inversiones en compañías de Tierras Raras.....	54

CAPÍTULO III: ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE TIERRAS RARAS EN EL MUNDO.....	55
3.1. PROCESAMIENTO DE DESCARTES MINEROS	55
3.2. ENRIQUECIMIENTO DEL CONCENTRADO DE TIERRAS RARAS	58
3.3. OBTENCIÓN DE ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS.....	59
RECICLAJE DE ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS.....	61
3.4.1. Catalizadores.....	61
3.4.2. Vidrio	62
3.4.3. Metalurgia.....	63
3.4.4. Fosforescencia	63
3.4.5. Cerámica	64
3.4.6. Imanes de alta potencia	64
3.4.7. Baterías	65
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DEL MERCADO DE LAS TIERRAS RARAS	66
4.1. ESTUDIO DE TENDENCIAS DE LOS PRECIOS DE LAS TIERRAS RARAS.....	66
4.1.1. Evolución Histórica de los Precios.....	66
4.1.2. Generalidades de los Precios.....	69
4.1.3. Tendencia de Precios.....	72
4.1.4. Relación de Precios Respecto a Otros Elementos.....	76
4.1.5. Comportamiento de Largo Plazo Pre-Irrupción de China	80
4.2. CADENA DEL VALOR Y ASOCIATIVIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE TIERRAS RARAS.....	82
4.3. ANÁLISIS DEL MERCADO DE LAS TIERRAS RARAS, MEDIANTE EL MODELO DE LAS CINCO FUERZAS DE PORTER	89
4.3.1. Análisis de Porter: Nuevos Participantes.....	91
4.3.2. Análisis de Porter: Intensidad de la Rivalidad en la Industria	92
4.3.3. Análisis de Porter: Amenaza de Productos Sustitutos.....	93
4.3.4. Análisis de Porter: Poder de Negociación de los Proveedores	94

4.3.5. Análisis de Porter: Poder de Negociación de los Compradores...	95
4.4. ANÁLISIS INTERNO.....	96
4.4. PROPUESTA DE ESTRATEGIA PARA LA INCORPORACIÓN DE CHILE AL MERCADO MUNDIAL DE TIERRAS RARAS.....	97
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	100
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	103
GLOSARIO	107
BIBLIOGRAFÍA.....	119
ANEXOS	124
A) MINERALES DE LAS TIERRAS RARAS.....	125
B) CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS	127
Lantano	127
Itrio	128
Escandio.....	129
Cerio.....	130
Praseodimio	130
Neodimio	130
Prometio	131
Samario.....	131
Europio.....	132
Gadolinio	132
Terbio	133

Disprosio	133
Holmio	134
Erbio	134
Tulio.....	135
Iterbio	135
Lutecio.....	136

INDICE DE ILUSTRACIONES

	Página
Ilustración 1: Distinción económica de agrupaciones de metales.	6
Ilustración 2: Mapa del riesgo del suministro para minerales.....	7
Ilustración 3: Grupos mineros con participación en la bolsa, año 2007.....	10
Ilustración 4: Mayores productores de metales base, año 2007.	11
Ilustración 5: Oferta de materias primas críticas, según la Unión Europea.	12
Ilustración 6: La distribución de los elementos de Tierras Raras en la Tabla Periódica.....	13
Ilustración 7: Gráfica de la Abundancia de Elementos en la Naturaleza.	14
Ilustración 8: Óxidos de Tierras Raras.	15
Ilustración 9: Usos de las Tierras Raras y otros elementos tecnológicos.....	16
Ilustración 10: Ejemplos de usos en iluminación.....	17
Ilustración 11: Ejemplos de usos en computadoras y comunicaciones.....	18
Ilustración 12: Planta Petroquímica.	18
Ilustración 13: Turbina Eólica.....	19
Ilustración 14: Vista del auto híbrido Toyota Prius.	20
Ilustración 15: Distintas aplicaciones de los imanes de alta potencia en Motores, equipos de resonancia magnética y auriculares.	21
Ilustración 16: Transmisión de datos por fibra óptica.	22
Ilustración 17: Usos de Tierras Raras en filtro ultravioleta para vidrios y lentes de cámaras.....	23
Ilustración 18: Medios de pulido para la industria del vidrio y matriz de silicio para chip electrónico.....	23
Ilustración 19: Batería de Níquel Hidruro (NiMH).	24
Ilustración 20: En equipos y medicamentos también son utilizadas las Tierras Raras.....	25

Ilustración 21: Visores nocturnos, aviones fantasmas, aparatos de puntería y posicionamiento geográfico.	26
Ilustración 22: Matrices para clasificar la criticidad de los elementos de Tierras Raras en el corto y mediano plazo.....	28
Ilustración 23: Tendencia de la producción de Óxidos de Tierras Raras.	31
Ilustración 24: Vista Aérea de la Bayan Obo, Mongolia Interior (China).....	32
Ilustración 25: Vista Aérea de la Mina Mountain Pass de Molycorp (Colorado, Estados Unidos).	38
Ilustración 26: Vista Aérea de la Mount Weld de Lynas Co. (Australia).	40
Ilustración 27: Prospecto para la recuperación de Tierras Raras en Chile.....	46
Ilustración 28: Prospecto del complejo volcánico El Laco (Chile).	47
Ilustración 29: Curva de Desarrollo del Valor para Fondos de Riesgo Minero.	49
Ilustración 30: Instrumento de inversión USB STOXX ETF Global Rare Earth.	53
Ilustración 31: Proceso para la obtención de concentrado de óxidos de Tierras Raras a partir de mineral de Bastnasita de Mountain Pass, Molycorp.....	56
Ilustración 32: Proceso para la obtención de concentrado de cobre y concentrado de molibdenita.	57
Ilustración 33: Proceso de separación de elementos a partir de concentrados Tierras Raras.	60
Ilustración 34: Series de precios de Óxidos de Tierras Raras (<i>REO</i>).....	67
Ilustración 35: Resumen histórico de precios de la última década para óxidos de Tierras Raras Livianas (<i>LREE</i>) con un mínimo de 99% de pureza, base FOB China.	72
Ilustración 36: Resumen histórico de precios de la última década para óxidos de Tierras Raras Pesadas (<i>HREE</i>) con un mínimo de 99% de pureza, base FOB China.	73
Ilustración 37: Tendencia de precios del año 2011, para óxidos de Tierras Raras Livianas (<i>LREE</i>) con un mínimo de 99% de pureza, base FOB China.	74

Ilustración 38: Tendencia de precios del año 2011, para óxidos de Tierras Raras Pesadas (<i>HREE</i>) con un mínimo de 99% de pureza, base FOB China.	74
Ilustración 39: Comparación de la tendencia de precios entre el Cobre versus óxidos de Tierras Raras (REO).	76
Ilustración 40: Comparación de la tendencia de precios entre el Molibdeno versus óxidos de Tierras Raras.	77
Ilustración 41: Comparación de la tendencia de precios entre el Yodo versus óxidos de Tierras Raras (REO).	77
Ilustración 42: Comparación de la tendencia de precios entre el Litio versus óxidos de Tierras Raras (REO).	78
Ilustración 43: Tendencia de Precios de óxidos de elementos de Tierras Raras livianas.	80
Ilustración 44: Tendencia de Precios de óxidos de elementos de Tierras Raras Pesadas.	81
Ilustración 45: Cadena del Valor para el negocio de las Tierras Raras.	82
Ilustración 46: Cadena del Valor según el gobierno de Estados Unidos para el negocio de las Tierras Raras.	83
Ilustración 47: Modelo de asociación de la industria de las Tierras Raras.	84
Ilustración 48: Modelo de visión para los actores del negocio de las Tierras Raras.	85
Ilustración 49: Gastos de Capital (Capex) para los proyectos mineros de Tierras Raras.	86
Ilustración 50: Modelo de Análisis del Mercado de las Tierras Raras.	89
Ilustración 51: Diagrama Representativo del Modelo de Análisis para las Cinco Fuerzas de Porter.	90
Ilustración 52: Carbonatita de Mountain Pass con finos granos de Bastnasita.	126
Ilustración 53: Minerales de Tierras Raras Pesadas en arenas negras, Quartz Beach, Chennai, India.	126
Ilustración 54: Cristales de Monacita.	127

Ilustración 55: Uso de elementos de Tierras Raras en usos fosforescentes (Televisores, LED, Laser).	128
Ilustración 56: Óxidos de Cerio y Neodimio Embotellados.....	131
Ilustración 57: Óxidos de Europio y Samario Embotellados.....	133
Ilustración 58: Terbio y Disproso Metálicos Embotellados.	134
Ilustración 59: Erbio Metálico Embotellado.	135

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1:	Tabla de minerales. 29
Tabla 2:	Principales Países Productores de Tierras Raras en el Mundo. 30
Tabla 3:	Producción de Óxidos de Tierras Raras en China. 34
Tabla 4:	Empresas Productoras de Tierras Raras fuera de China. 35
Tabla 5:	Ponderador del Índice <i>USB STOXX ETF Global Rare Earth</i> 54
Tabla 6:	Comparación de precios entre Óxidos y Metal de Tierras Raras (REE). 70
Tabla 7:	Correlación relativa para precios óxidos de Tierras Raras versus elementos minerales comerciados en Chile. 79
Tabla 8:	Asociación entre actores del mercado de las Tierras Raras por asociaciones de capital. 87
Tabla 9:	Contratos de suministros en el mercado de las Tierras Raras. 88
Tabla 10:	Cooperación entre actores del mercado de las Tierras Raras. 88
Tabla 11:	Análisis de las Cinco Fuerzas de Porter: Nuevos Participantes. 91
Tabla 12:	Análisis de las Cinco Fuerzas de Porter: Rivalidad de la Industria. . 92
Tabla 13:	Análisis de las Cinco Fuerzas de Porter: Productos Sustitutos. 93
Tabla 14:	Análisis de las Cinco Fuerzas de Porter: Negociación de Proveedores. 94
Tabla 15:	Análisis de las Cinco Fuerzas de Porter: Negociación de Compradores. 95
Tabla 16:	Análisis del mercado respecto de Compañías Chilenas que quieran entrar en el negocio de Tierras Raras. 96
Tabla 17:	Respuestas estratégicas. 97
Tabla 18:	Respuestas estratégicas: Análisis de Desafíos y Brechas para la entrada de Chile al mercado de las Tierras Raras 98

RESUMEN

La Tesis de Grado “Análisis de oportunidades de negocios para fuentes de Tierras Raras: Concentrados del mineral, tratamiento de descartes mineros y reciclaje”, ha sido realizada con el fin de presentar al país un análisis del negocio de las Tierras Raras, y la importancia que tienen estos elementos dadas sus propiedades químicas, magnéticas, electrónicas y sus numerosas aplicaciones a nivel cotidiano, industrial y estratégico.

La presente tesis logra conectar múltiples fuentes de información, tanto nacional como internacional, a través de entrevistas a académicos e investigadores, visitas a instituciones y la extensa recopilación de antecedentes geológicos, técnicos, económicos y estratégicos.

Destacamos que el procesamiento de concentrados de Tierras Raras es abordable por medio del conocimiento minero del país y puede transformarse en un futuro subproducto del cobre o hierro. Por otra parte, se detecta que la alternativa de reciclaje más concreta es el reciclaje de magnetos de alta potencia.

Para que la oportunidad de negocio de la producción de Tierras Raras en Chile resulte exitosa, se propone una estrategia a nivel de país.

INTRODUCCIÓN

Las Tierras Raras (*Rare Earths, RE*) son un grupo de minerales altamente demandados por la industria militar y tecnológica. El 95% de la producción está concentrada en China¹ y los analistas coinciden que el suministro no está asegurado en el mediano plazo². A pesar de su nombre extraño, la existencia de minerales de Tierras Raras se da en todo el orbe³.

En el mundo, se ha instalado la discusión sobre el suministro de las Tierras Raras⁴, en especial por el crecimiento futuro del mercado, el desarrollo de las tecnologías de separación, la exploración de nuevos recursos, lo estratégico de sus usos, el impacto ambiental y los reclamos de las comunidades.

Los métodos de explotación de Tierras Raras se asemejan a lo conocido en Chile, no así a otros procesos de extracción tipo placeres o marinos. Por su parte, las etapas de concentración y separación de los metales corresponden a procesos químicos de bastante complejidad⁵.

Al revisar las operaciones mineras en Chile, no se encontraron casos de explotación de Tierras Raras, sólo se han llevado a cabo estudios de parte de agencias o empresas del estado chileno, tales como, Corporación del Cobre (CODELCO), Empresa Nacional de Minería (ENAMI), Servicio Nacional de

¹ US GEOLOGICAL SURVEY. 2010. Scientific Investigations Report. The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States. p15.

²EUROPEAN COMMISSION ENTERPRISE AND INDUSTRY, 2010. Critical Raw Materials for the European Union.

³ US GEOLOGICAL SURVEY. 2002. Rare Earth Element Mines, Deposits, and Occurrences.

⁴ TECHNOLOGY METALS RESEARCH. 2011. Critical Rare Earths. p29.

⁵ US GEOLOGICAL SURVEY. 2010. Scientific Investigations Report. The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States. p8.

Geología y Minería (SERNAGEOMIN), la Comisión de Energía Nuclear (CCHEN) y la Universidad de Atacama (UDA).

La hipótesis del presente trabajo es: Sí, es posible que Chile pueda participar del negocio de las Tierras Raras.

El objetivo general de la tesis es analizar las oportunidades de negocios para fuentes de Tierras Raras, tales como: Concentrados, Descartes Mineros y Reciclaje.

Los objetivos específicos son:

- Identificar cuales son las fuentes de las Tierras Raras y aplicaciones.
- Analizar el mercado de las Tierras Raras.
- Revisar las alternativas de producción de Tierras Raras a partir de: concentrados, explotación de descartes mineros y reciclaje.
- Analizar el potencial de Chile para incorporarse al mercado de las Tierras Raras
- Proponer un lineamiento estratégico a seguir para participar del negocio de las Tierras Raras.

CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS DEL MERCADO DE MINERALES

Los metales están presentes en gran parte de la infraestructura de la sociedad. Para comprender el mercado de los metales, es necesario clasificarlos según algunos elementos en común.

1.1. Clasificación de los Metales por Comportamiento de la Demanda

Respecto de la demanda de metales, no todos siguen la misma tendencia. Sin embargo, es posible advertir que existen grupos que tienen comportamientos similares de la demanda (ver la ilustración 1). A continuación se presentan las definiciones de los grandes grupos.

1.1.1. Metales Férricos

Constituidos por el mineral de Hierro, junto a sus derivados como el Acero y elementos de fundición. La demanda de estos metales, normalmente depende del crecimiento del producto interno bruto.

1.1.2. Metales Base

Se conoce así a los metales no férricos, tales como: Cobre, Aluminio, Níquel, Zinc, Plomo. La demanda varía cíclicamente y su crecimiento promedio anual es del orden del 3% del PIB de los países.

1.1.3. Metales de Alta Tecnología o *High-Tech*

Son metales utilizados principalmente en metalurgia como aditivos para mejorar las capacidades de otros metales o en aplicaciones de alta tecnología. Entre ellos, se encuentra: Cromo, Molibdeno, Titanio, Cadmio, Indio y las Tierras Raras. La demanda es fuertemente dependiente de la entrada y salida de tecnologías al mercado y de las innovaciones. El precio puede tener alzas bruscas, del orden de un 20%⁶, para luego caer. Como ejemplo de lo anterior, el Indio tenía un valor de 70 US\$/kg⁷ en 2003, con la salida al mercado de las pantallas *LCD (Liquid Crystal Display)* para televisores y computadores, su precio subió a 1.025 US\$/kg en 2006. Ya en 2008, el precio bajó a 700 US\$/kg. Comúnmente, los metales de alta tecnología, no se usan para muchas aplicaciones, más bien están concentrados en una o dos alternativas. Otra característica, a considerar, es que la oferta es inelástica, dado que normalmente son un subproducto de otros metales de mayor producción y, por lo tanto, no siguen la demanda propia, sino aquella de los metales primarios. Un ejemplo de lo anterior, es la producción de Molibdeno a partir de minerales de Cobre y la producción de Indio a partir de minerales de Zinc. También, a estos metales se les denomina semi-preciosos.

1.1.4. Metales del Grupo del Platino (*Platinum Group Metal PGM*)

Son los metales que se encuentran asociados con el Platino, tales como: Paladio, Rodio, Osmio, Rutenio e Iridio. Todos ellos presentan características físicas y químicas parecidas. Tienden a ser parte del mismo mineral. Son muy

⁶ BRUNET S. 2007. Le monde des matières premières, une nouvelle donne _ Les acteurs. EXANE BNP PARIBAS.

⁷ US GEOLOGICAL SURVEY. 2009. Indium Minerals Year Book.

utilizados en catalizadores, de hecho el 80%⁸ de la demanda es para esta aplicación. Son muy resistentes al desgaste, al ataque químico, poseen excelente resistencia a altas temperaturas y son muy buenos conductores de la electricidad. Tienen un alto valor económico y poseen una gran tasa de reutilización a partir de sus chatarras.

1.1.5. Metales Preciosos

Son considerados en esta categorización el Oro y la Plata. La característica que los agrupa tiene que ver con el uso, como valor de intercambio o moneda. Por su alto valor, muchas veces el grupo de metales asociado al Platino es incluido en esta categoría, pero no es habitual que estos últimos sean utilizados como moneda de cambio.

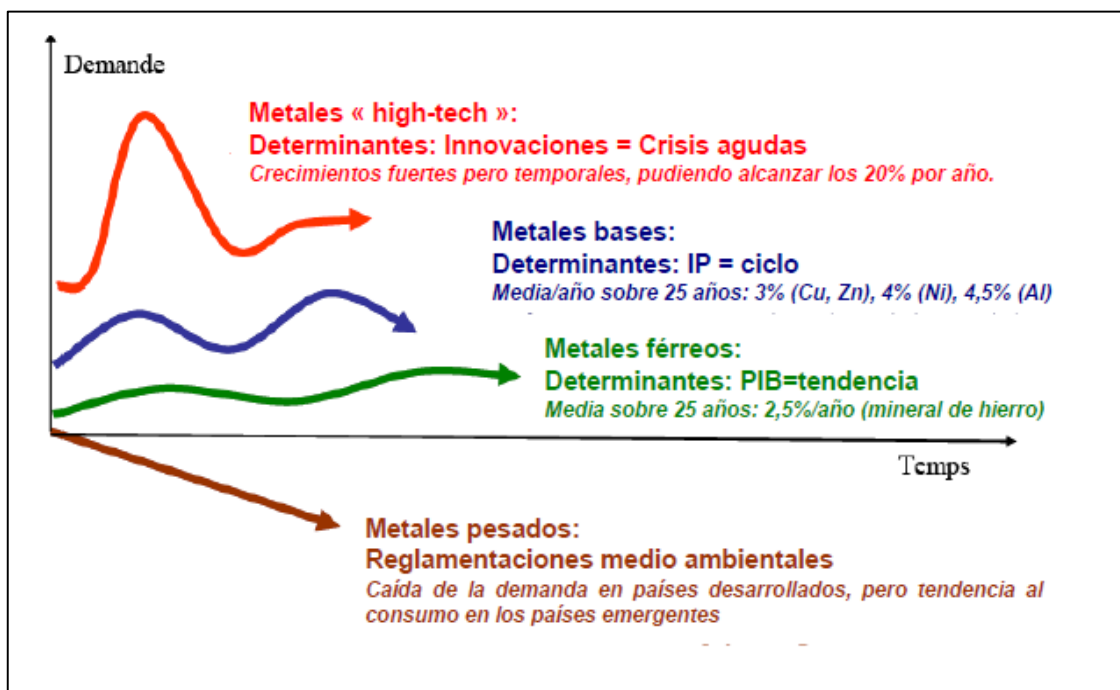
1.1.6. Metales Tóxicos

Este grupo, era denominado "Metales Pesados", la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (*IUPAC*) reconsideró el nombre, puesto que la definición era contradictoria⁹. Son parte de esta categoría, el Mercurio, el Plomo, el Cadmio y el Arsénico, los que son responsables de graves enfermedades al sistema nervioso central y pueden ocasionar muerte. Por las reglamentaciones medioambientales, estos elementos han presentado una caída de la demanda en los países desarrollados, pero con tendencia al alza en países emergentes.

⁸ US GEOLOGICAL SURVEY. 2011. Mineral Commodity Summaries.

⁹ Duffus J., "Heavy metals" a meaningless term? (*IUPAC Technical Report*)" *Pure and Applied Chemistry*, 2002, Vol. 74, pp. 793–807

Ilustración 1: Distinción económica de agrupaciones de metales.



Fuente: BRUNET S. 2007. Le monde des matières premières, une nouvelle donne _ Les acteurs. EXANE BNP PARIBAS.

1.2. Clasificación Económica por Riesgo de Suministro

Otra forma de agrupar los metales es por el riesgo de suministro. Esta categorización ha sido desarrollada principalmente por la Comunidad Económica Europea¹⁰. También, es posible encontrar trabajos semejantes por parte del gobierno Británico¹¹ y por el gobierno estadounidense¹². Para resumir, se puede decir, que son indicadores construidos en base a criterios, tales como, estabilidad política y económica de los países, nivel de concentración de la

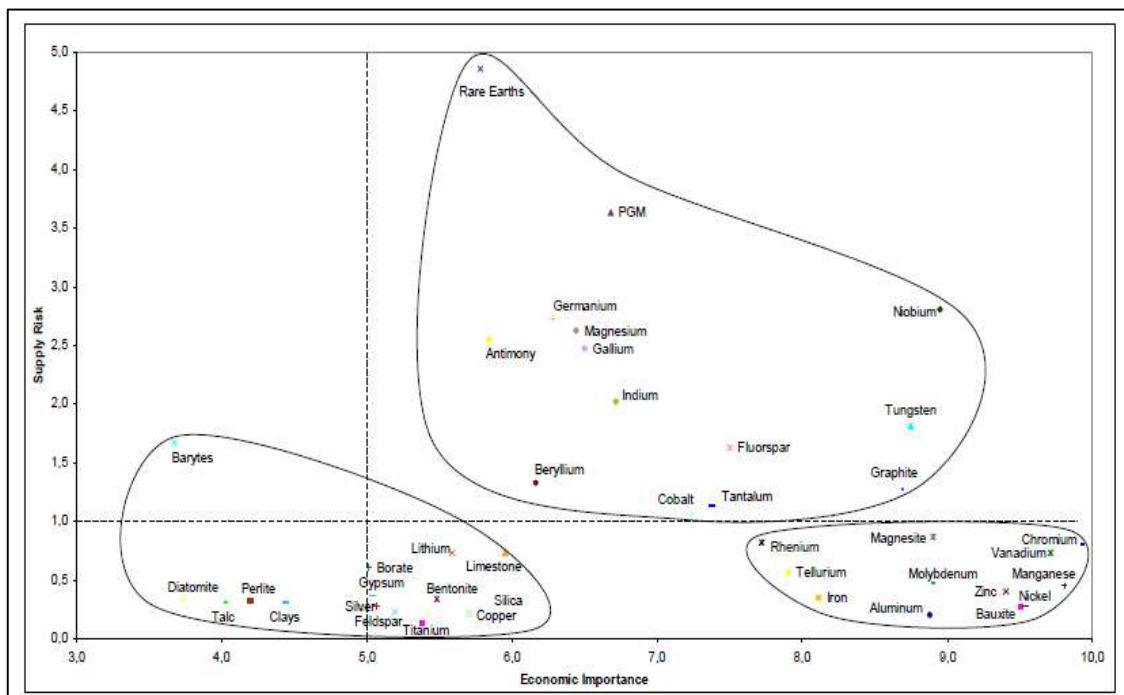
¹⁰ European Commission Enterprise and Industry, 2010. Critical Raw Materials for the European Union.

¹¹ British Geological Survey. 2004. The Economics Importance of Minerals to the United Kingdom.

¹² United States Department of Energy. 2010. Critical Materials Strategy.

producción, potencial de sustitutos, reciclaje, medidas para reducir el riesgo ambiental en el origen, riesgos de transporte y clientes. Aunque las metodologías de evaluación son similares, los ponderadores y criterios pueden hacer diferencias en los resultados, según quién emita el informe.

Ilustración 2: Mapa del riesgo del suministro para minerales



Fuente: European Commission Enterprise and Industry, 2010. Critical Raw Materials for the European Union. p6.

La Comisión Europea de Empresa e Industria, presentó la gráfica mostrada en la ilustración 2. El diagrama fue dividido en cuadrantes, donde el riesgo al suministro mayor a uno, es considerado como crítico. Un metal con indicador de importancia económica sobre cinco, es considerado de grado superior.

La agrupación del cuadrante superior derecho es definida como crítico. En este caso, se crea espacio para la captura de mayores rentabilidades, pero con un alto riesgo, debido al nivel de la inversión, el desconocimiento del negocio

(*know-how*) y la volatilidad de los precios. Los catorce minerales dentro de esta categoría, son los siguientes:

Antimonio; Berilio; Cobalto; Galio; Germanio; Fluorita;
Grafito; Indio; Magnesio; Niobio; Grupo de metales asociados al
Platino; Tierras Raras; Tantalio y Tungsteno.

En cuanto a los materiales ubicados en el cuadrante inferior derecho, un pequeño cambio en uno de los parámetros del riesgo de suministro, puede dar lugar a un cambio de categoría a crítico. La demanda para estos elementos es significativa. Las empresas tienden a agruparse en grandes compañías transnacionales, a concentrar la producción y a integrar la cadena del valor aguas arriba y abajo del proceso. Desde el punto de vista de la entrada de nuevos actores al mercado, la competencia debería ser efectuada por costos. La incertidumbre en la exploración de nuevos yacimientos y sus costos asociados, así como, la alta inversión y tiempos de concreción de proyectos mineros también frena la aparición de nuevos actores.

Para los materiales que son parte del cuadrante inferior izquierdo, en particular se trata de minerales industriales. Los posibles riesgos de suministro pueden ocurrir dentro de un horizonte largo de tiempo, ligados a la competencia por la tierra y agua (agricultura/comunidades) que afecten negativamente a la producción. La principal competencia es por costo y calidad.

1.3. Clasificación Respecto del Tamaño de las Empresas Mineras

Dentro del mercado de los metales, las empresas mineras se pueden clasificar en tres tipos según su tamaño.

1.3.1. Empresas Jóvenes (*Juniors*)

Son pequeños grupos mineros y que no representan una gran parte de la producción mundial.

1.3.2. Empresas Mayores (*Majors pur players*)

Son grupos de nivel internacional especializadas en la producción de un único metal.

1.3.3. Empresas Mayores Diversificadas (*Majors*)

Son grupos del alto valor financiero. Cuentan con una amplia cartera de participación en distintos metales.

Generalmente, las Empresas Jóvenes suelen ser compradas por las Empresas Mayores, que buscan crecimiento o diversificación del negocio. Las Empresas Mayores suelen ser integradas a una Empresa Mayor Diversificada mediante fusiones o adquisiciones. Los grandes grupos prefieren invertir en grupos más pequeños que ya poseen yacimientos explotables, más que invertir

en investigación y desarrollo. La puesta en servicio de un nuevo yacimiento tarda aproximadamente, unos diez años¹³.

Dentro de la clasificación de empresas Mayores Diversificadas, se destacan cinco grupos mineros importantes: BHP Billiton (Australia), Vale (Brasil), Río Tinto (Reino Unido/Australia), Anglo American (EEUU) y Xstrata (Suiza).

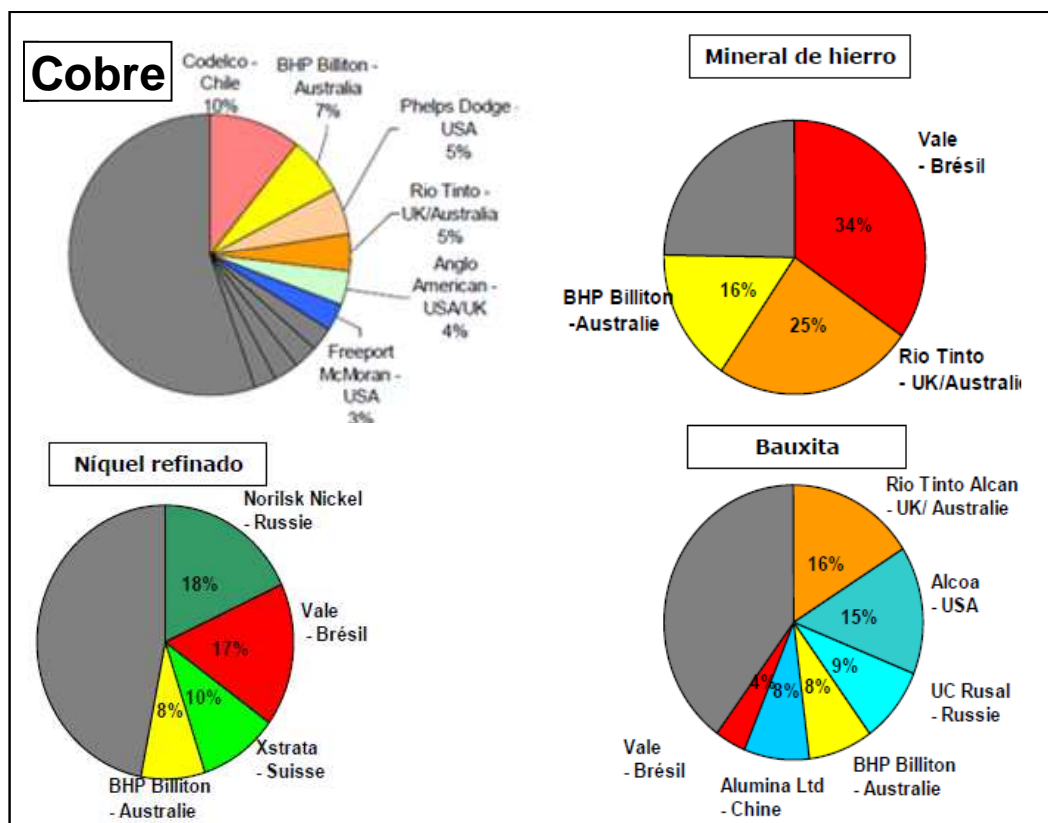
Ilustración 3: Grupos mineros con participación en la bolsa, año 2007.



Fuente: BRUNET S. 2007. Le monde des matières premières, une nouvelle donne _ Les acteurs. EXANE BNP PARIBAS.

¹³ US Geological Survey. 2010. Scientific Investigations Report. The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States.

Ilustración 4: Mayores productores de metales base, año 2007.

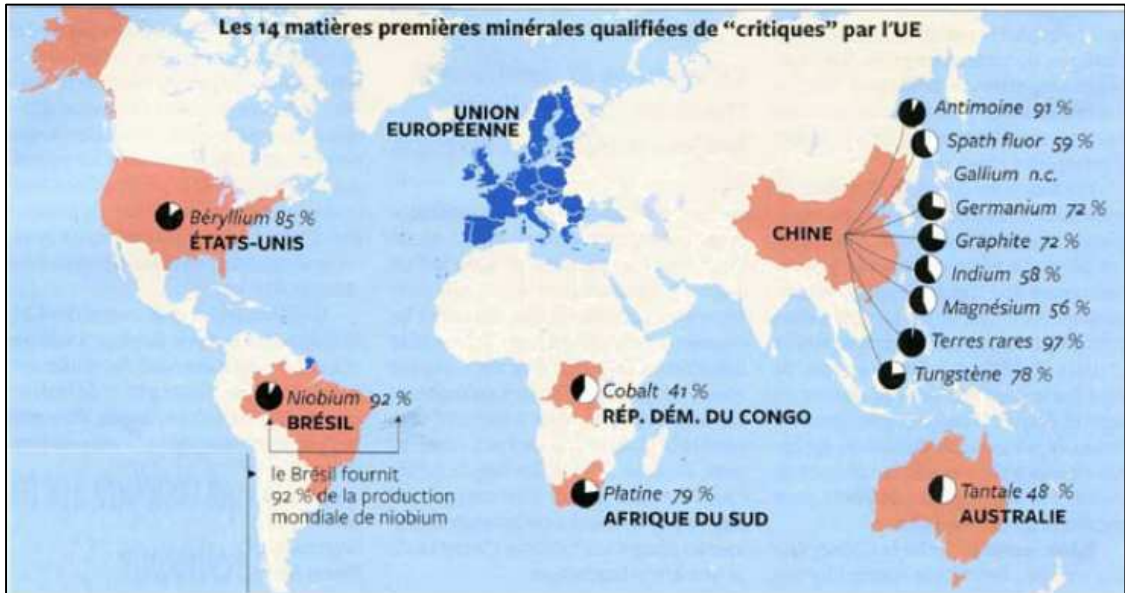


Fuente: BRUNET S. 2007. Le monde des matières premières, une nouvelle donne _ Les acteurs. EXANE BNP PARIBAS.

1.4. Clasificación por Concentración de la Oferta

Esta es una visión para referirse a la competitividad del mercado. Es posible observar que la oferta de los minerales críticos está concentrada en pocas manos, lo que sin duda afecta al poder negociador y puede provocar vicios, cuyo tratamiento cae en las arenas políticas, más que en las fuerzas del mercado.

Ilustración 5: Oferta de materias primas críticas, según la Unión Europea.



Fuente: NICOLETOPOULOS V., 2012. Critical & Essencial Materials. Brussels.

CAPITULO 1: DEFINICIÓN DE METALES DE ALTO VALOR (TIERRAS RARAS)

2.1. Los Elementos de las Tierras Raras

Las Tierras Raras son un grupo de diecisiete elementos metálicos. Se les denomina Lantánidos a los quince que forman el periodo sexto de la tabla periódica de Mendeleev (números atómicos 57 al 71). Debido a la semejanza en el comportamiento, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (*IUPAC*) considera al Itrio y el Escandio (números atómicos 21 y 39) como parte del mismo grupo.

Ilustración 6: La distribución de los elementos de Tierras Raras en la Tabla Periódica.

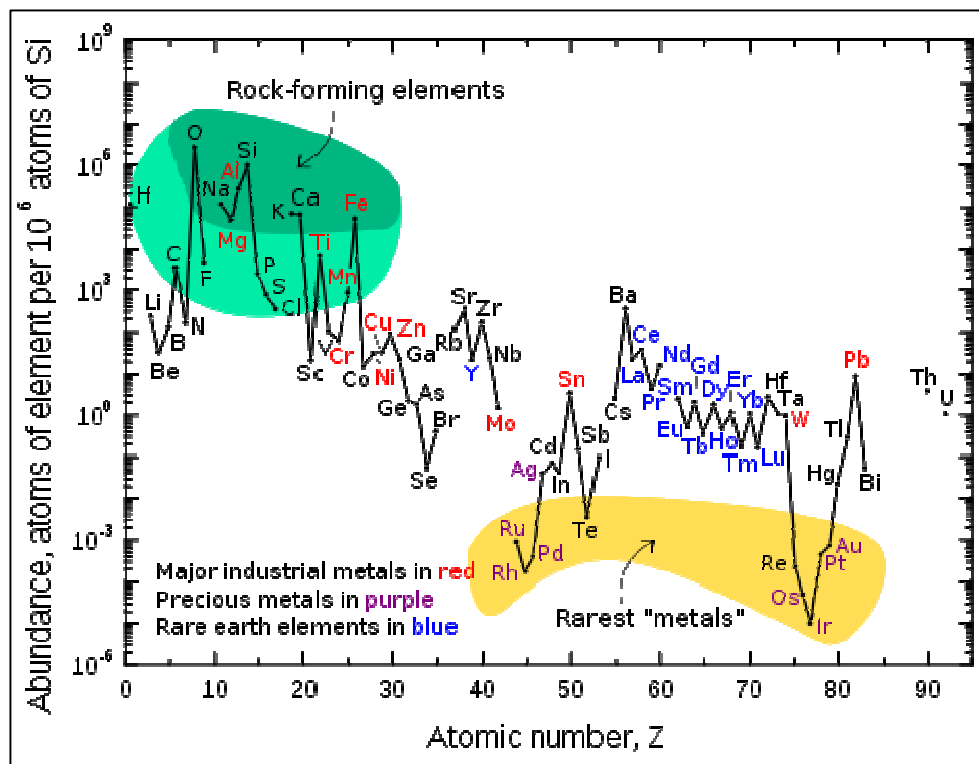
1 H 1.008																	18 He 4.003	
3 Li 6.941	4 Be 9.012											5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.180	
11 Na 22.990	12 Mg 24.305											13 Al 26.981	14 Si 28.086	15 P 30.974	16 S 32.065	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948	
19 K 39.098	20 Ca 40.078	21 Sc 44.956	22 Ti 47.867	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.845	27 Co 58.933	28 Ni 58.693	29 Cu 63.546	30 Zn 65.409	31 Ga 69.723	32 Ge 72.641	33 As 74.922	34 Se 78.963	35 Br 79.904	36 Kr 83.798	
37 Rb 85.468	38 Sr 87.621	39 Y 88.906	40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.942	43 Tc [98]	44 Ru 101.072	45 Rh 102.906	46 Pd 106.421	47 Ag 107.868	48 Cd 112.412	49 In 114.818	50 Sn 118.711	51 Sb 121.760	52 Te 127.603	53 I 126.904	54 Xe 131.293	
55 Cs 132.905	56 Ba 137.327	57-71 Lanthanoids	72 Hf 178.492	73 Ta 180.948	74 W 183.841	75 Re 186.207	76 Os 190.233	77 Ir 192.217	78 Pt 195.084	79 Au 196.966	80 Hg 200.592	81 Tl 204.383	82 Pb 207.21	83 Bi 208.980	84 Po [209]	85 At [210]	86 Rn [222]	
87 Fr [223]	88 Ra [226]	89-103 Actinoids	104 Rf [261]	105 Db [262]	106 Sg [266]	107 Bh [264]	108 Hs [277]	109 Mt [268]	110 Ds [271]	111 Rg [272]								
		57 La 138.905	58 Ce 140.116	59 Pr 140.908	60 Nd 144.242	61 Pm [145]	62 Sm 150.362	63 Eu 151.964	64 Gd 157.253	65 Tb 158.925	66 Dy 162.500	67 Ho 164.930	68 Er 167.259	69 Tm 168.934	70 Yb 173.043	71 Lu 174.967		
		89 Ac [227]	90 Th 232.038	91 Pa 231.036	92 U 238.029	93 Np [237]	94 Pu [244]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [251]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [258]	102 No [259]	103 Lr [262]		

Fuente: TECHNOLOGY METALS RESEARCH. 2011. Critical Rare Earths. p7.

Las Tierras Raras fueron descubiertas en 1784 por el finlandés Johan Gadolin. El primer elemento en ser separado fue el Itrio. En 1803 se logró separar un segundo elemento, el cual fue bautizado como Cerio.

El origen del nombre, Tierras Raras, no se debe a que los diecisiete elementos sean escasos, sino a que siempre se presentan combinados, en cantidades pequeñas y difíciles de separar. En cambio, hoy se sabe que en la corteza terrestre estos elementos son más abundantes que el Oro, la Plata y el Platino (ver la ilustración 7).

Ilustración 7: Gráfica de la Abundancia de Elementos en la Naturaleza.



Fuente: US Geological Survey. 2002. Rare Earth Elements—Critical Resources for High Technology,

Ya en la segunda mitad del siglo XX y con el advenimiento de la era nuclear, la industria militar de la guerra fría y la miniaturización de la electrónica, es que las Tierras Raras cobran fuerza en fuertes usos tecnológicos. Normalmente, las Tierras Raras se comercian como óxidos de cada elemento los cuales físicamente tienen el aspecto de polvos (ver ilustración 8).

Ilustración 8: Óxidos de Tierras Raras.



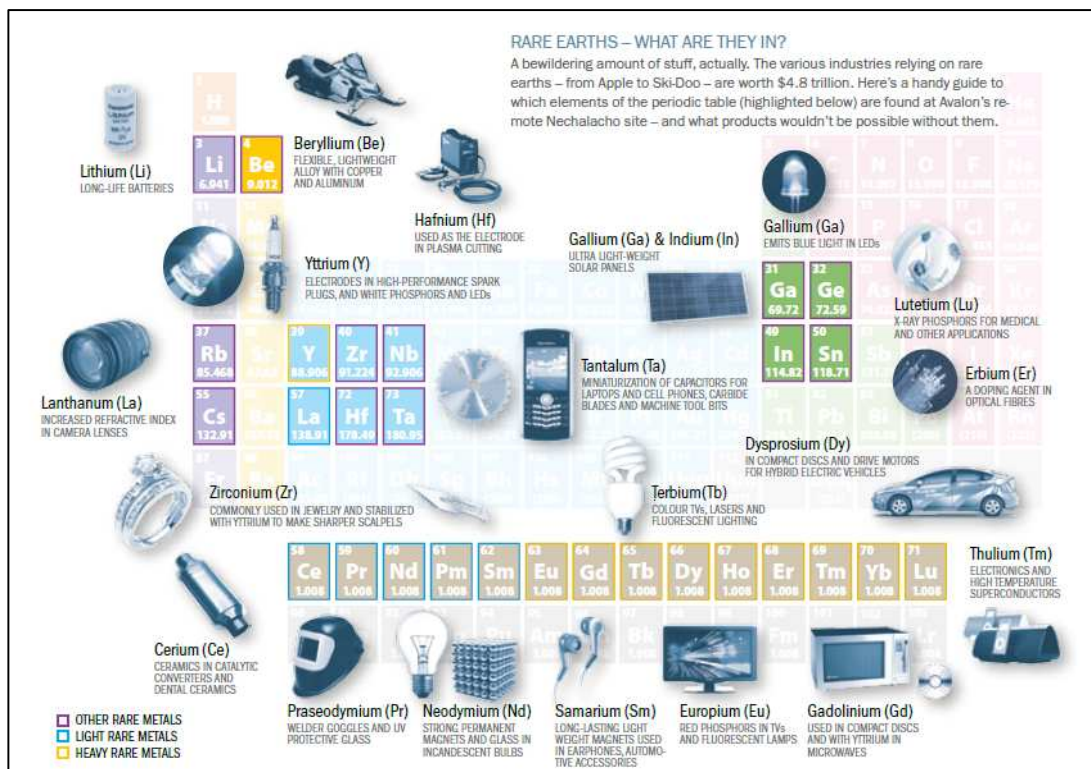
Fuente: US GEOLOGICAL SURVEY. 2010. Scientific Investigations Report.
The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States.

2.2. Principales Usos de los Elementos de las Tierras Raras

Los principales usos de las Tierras Raras se pueden dividir en los siguientes ítemes:

- Catalizadores
- Baterías y Energía Eólica
- Vidrio y Cerámica
- Electrónica
- Computadoras
- Iluminación
- Aleaciones Metálicas
- Magnetos
- Industria Automotriz
- Defensa
- Telefonía Móvil
- Comunicaciones

Ilustración 9: Usos de las Tierras Raras y otros elementos tecnológicos.

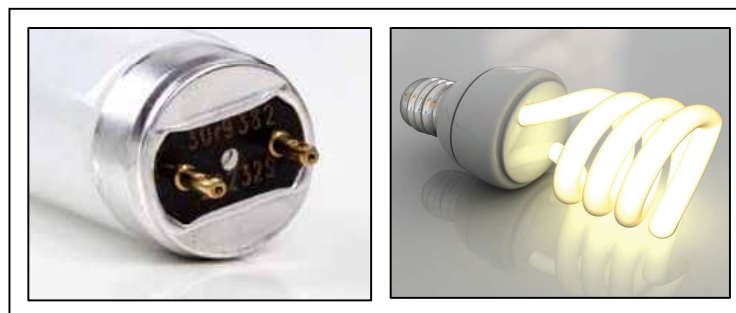


Fuente: OKO INSTITUTE. 2011. Study on Rare Earths and Their Recycling. Final Report for the European Parliament.

2.2.1. Iluminación

Son necesarias para la producción de lámparas de bajo consumo. Para este efecto, principalmente se utiliza el Europio y el Terbio. Ambos se encuentran entre los minerales de menor ley.

Ilustración 10: Ejemplos de usos en iluminación.



Fuente: IAMGOLD. 2012. Rare Earth Elements 101

2.2.2. Computadoras y Comunicaciones

Las Tierras Raras se usan en las pantallas *LED (Light Emitting Diode)* de televisores, computadoras, teléfonos táctiles, *iPods*, *iPads* y *Tablets*. Las pantallas de cristal líquido, pantallas de plasma, diodos emisores de luz y las lámparas compactas fluorescentes, en conjunto, utilizan Terbio, Itrio y Europio. En general, se les denomina medios fosforescentes. Además, el Cerio se utiliza en lectores de *CD (Compact Disc)*, *DVD (Digital Versatile Disc)* y *Blue Ray*. Dichos elementos son significativamente más eficientes desde el punto de vista energético que las tecnologías más antiguas.

Ilustración 11: Ejemplos de usos en computadoras y comunicaciones.



Fuente: IAMGOLD. 2012. Rare Earth Elements 101

2.2.3. Catalizadores de Fraccionamiento de Petróleo (*Cracking*)

El Lantano y el Cerio se añaden a los compuestos catalíticos para convertir petróleo crudo en gasolina y en otros productos valiosos. Son capaces de interactuar con el Hidrógeno que se encuentra en las moléculas de los hidrocarburos de cadena larga.

Ilustración 12: Planta Petroquímica.



Fuente: IAMGOLD. 2012. Rare Earth Elements 101

2.2.4. Energía Eólica

Las turbinas eólicas de nueva generación, contienen magnetos fabricados con Tierras Raras. Una estimación indica que se utilizan entre 150 a 200 kilogramos de Neodimio y Praseodimio, y entre 20 a 35 kilogramos de Disproso, por cada mega Watts de capacidad generadora.

Ilustración 13: Turbina Eólica.

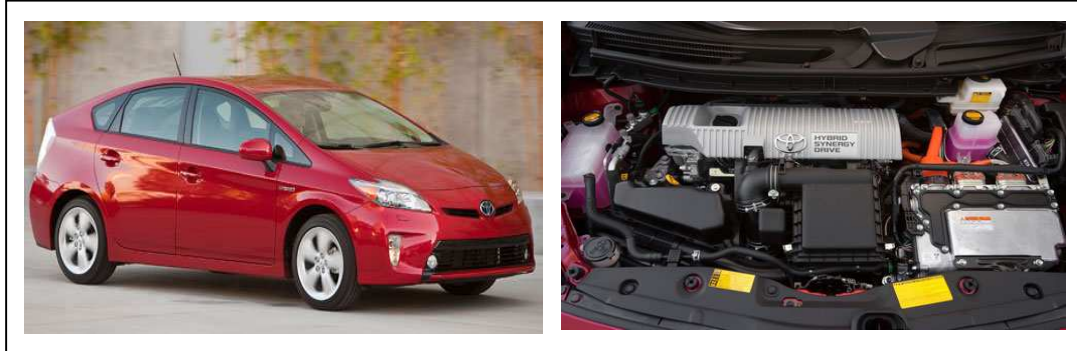


Fuente: IAMGOLD. 2012. Rare Earth Elements 101

2.2.5. Industria Automotriz

El Lantano y el Cerio se usan como soporte de catalizadores en los convertidores de vehículos. En los autos eléctricos o híbridos, se usan en baterías. Se prevé que el uso de autos eléctricos se incremente rápidamente, impulsado por la independencia energética y el cambio climático. Ésta es un área clave de crecimiento para las Tierras Raras. Estas también se usan en generadores para alimentar vehículos, así como para volver a capturar la energía asociada con el frenado. El automóvil híbrido Prius de Toyota, utiliza un kilogramo de Neodimio y Praseodimio, y entre 100 a 200 gramos de Disproso, en los diferentes imanes necesarios para su funcionamiento.

Ilustración 14: Vista del auto híbrido Toyota Prius.



Fuente: www.toyota.com/prius-hybrid

2.2.6. Imanes de Alta Potencia

La demanda es muy fuerte debido a la producción de magnetos que generan campos muy poderosos. A la vez, estos imanes son capaces de resistirse a ser desmagnetizados, cuando se exponen a otros campos magnéticos, incluso con incrementos en la temperatura. En los últimos años estas características han revolucionado el diseño del magnetismo. Se usan en discos duros, herramientas y motores eléctricos. Los elementos de Tierras Raras presentes en estas aleaciones son: Neodimio, Praseodimio, Samario, Terbio y Disprosio.

Ilustración 15: Distintas aplicaciones de los imanes de alta potencia en Motores, equipos de resonancia magnética y auriculares.



Fuente: SWISS METAL ASSETS. 2012. Strategic Metals.
www.buyrareearthmetalschinaprices.com

2.2.7. Telecomunicaciones

Se emplean el Erblio, Terbio y Europio para la fabricación de fibra óptica.

Ilustración 16: Transmisión de datos por fibra óptica.



Fuente: IAMGOLD. 2012. Rare Earth Elements 101

2.2.8. Aditivos en Vidrios

El Óxido de Cerio y el Óxido de Lantano, se utilizan como aditivos en la industria del vidrio. Son empleados para eliminar la coloración indeseable en el vidrio comercial, mediante la reducción de los efectos de la presencia de Hierro dentro del material. También, se usan para reducir la penetración de la luz ultravioleta, protegiendo así los interiores de vehículos y otros materiales que se degradan con el tiempo. Igualmente, se utilizan para aumentar el índice de refracción en los lentes de cristal. El Neodimio es empleado para la coloración de lentes fotocromáticos.

Ilustración 17: Usos de Tierras Raras en filtro ultravioleta para vidrios y lentes de cámaras.



Fuente: IAMGOLD. 2012. Rare Earth Elements 101

2.2.9. Medios de Pulido

El Óxido de Cerio, con algunos contenidos de Oxido de Lantano y Oxido de Neodimio, se utilizan para el pulido de: Vidrio, espejos, pantallas de televisión, de pantallas de ordenador y en las matrices usadas para producir chips de Silicio.

Ilustración 18: Medios de pulido para la industria del vidrio y matriz de silicio para chip electrónico.



Fuente: IAMGOLD. 2012. Rare Earth Elements 101

2.2.10. Almacenamiento de Energía

Los compuestos de Lantano y Níquel se utilizan para producir las celdas que componen la batería de Níquel-Hidruro metálico. La presencia de Lantano permite la absorción de Hidrógeno en la celda, y facilita la reversión del proceso electroquímico (recarga). Un ejemplo es la batería del automóvil *Prius* de Toyota, donde se utilizan de 2 a 3 kilogramos de Lantano por vehículo.

Ilustración 19: Batería de Níquel Hidruro (NiMH).



Fuente: IAMGOLD. 2012. Rare Earth Elements 101

2.2.11. Usos en Medicina

El Neodimio sirve para la construcción de láseres para operaciones oculares y odontológicas. El Lantano se utiliza para reducir la cantidad de Fosfato en la sangre de aquellos pacientes con enfermedades renales. El Gadolino es usado como medio de contraste en radiografías y para evaluar la mineralización de los huesos.

Ilustración 20: En equipos y medicamentos también son utilizadas las Tierras Raras.



Fuente: IAMGOLD. 2012. Rare Earth Elements 101

2.2.12. Usos en la Industria de la Defensa

El Lantano se usa en las gafas de visión nocturna; El Neodimio, en los telémetros láser, sistemas de orientación y comunicaciones; El Europio, en los monitores; El Erbio, en amplificadores para la transmisión de datos por fibra óptica; El Samario, está orientado a la fabricación de imanes permanentes los que son estables en altas temperaturas para armas de precisión y de tecnología furtiva.

Ilustración 21: Visores nocturnos, aviones fantasmas, aparatos de puntería y posicionamiento geográfico.



Fuente: US CONGRESSIONAL RESEARCH SERVICE. 2012. Rare Earth Elements in National Defense.

2.3. Agrupamiento de las Tierras Raras

Existen una serie convenciones que agrupan a los distintos elementos de las Tierras Raras, las cuales se indican a continuación

2.3.1. Total de Óxidos de Tierras Raras

Los minerales que contienen Tierras Raras, comúnmente incluyen la presencia de varios de sus elementos en conjunto. El contenido de cada elemento se manifiesta en partes por millón (ppm). Dado que el contenido de cada elemento por separado es pequeño y con el objetivo de una comparación gruesa de las distintas menas, se utiliza el concepto del Total de Óxidos de

Tierras Raras o *Total Rare Earth Oxides (TREO)*, el cual es la suma de la cuantificaciones por separado.

2.3.2. Elementos de Tierras Raras Livianas

Los siguientes elementos que a continuación se enumeran se definen como Tierras Raras Livianas (*Light Rare Earth Oxide, LREE*) y se expresan conceptualmente como Óxidos de Tierras Raras Livianas (*Light Rare Earth Oxide, LREO*):

- *Escandio (Sc)*
- *Lantano (La)*
- *Cerio (Ce)*
- *Praseodimio (Pr)*
- *Neodimio (Nd)*
- *Prometeo (Pm)*
- *Samarium (Sm)*

2.3.3. Elementos de Tierras Raras Pesadas

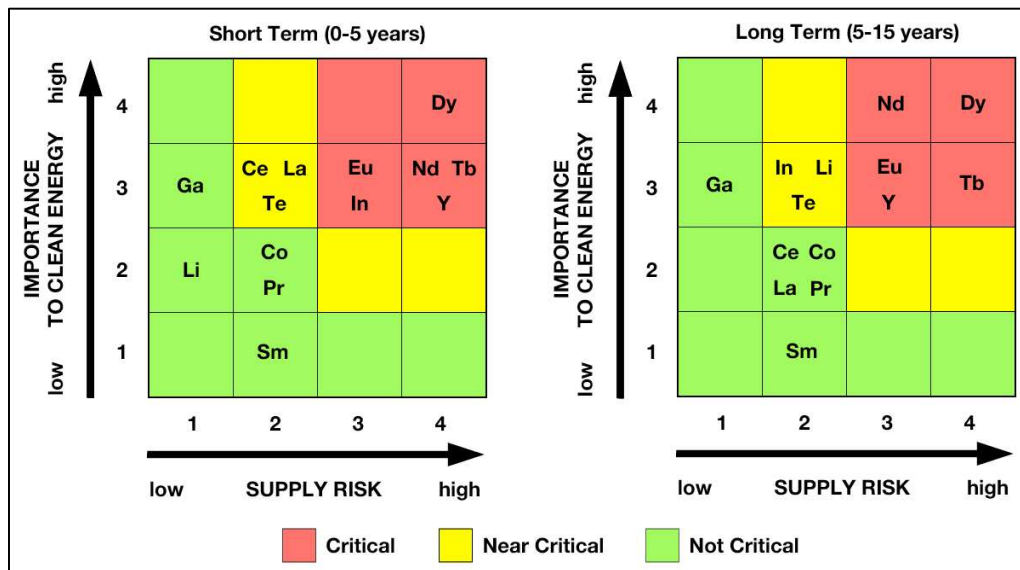
Se define a los siguientes elementos como Tierras Raras Pesadas (*High Rare Earth Oxide, HREE*) y se expresan conceptualmente como Óxidos de Tierras Raras Pesadas (*High Rare Earth Oxide, HREO*):

- *Europio (Eu)*
- *Gadolinio (Gd)*
- *Terbio (Tb)*
- *Disproseo (Dy)*
- *Holmio (Ho)*
- *Erbio (Er)*
- *Tulio (Tm)*
- *Yterbio (Yb)*
- *Lutecio (Lu)*
- *Yttrio (Y)*

2.3.4. De acuerdo a la Criticidad del Suministro

Existen estudios^{14,15,16,17} que definen a cinco elementos de las Tierras Raras con importancia crítica en el riesgo del suministro para el corto plazo (de 0 a 5 años) y mediano plazo (de 5 a 15 años). Lo anterior, es debido a su utilización en la fabricación de componentes asociados a las tecnologías energéticas denominadas “limpias”: Neodimio, Disprobio, Itrio, Terbio y Europio. Además, se define a otros cuatro elementos de las Tierras Raras con un nivel de riesgo moderadamente crítico en su suministro, pero no menos importante, tanto para el corto, como para el mediano plazo: Samario, Praseodimio, Lantano y Cerio.

Ilustración 22: Matrices para clasificar la criticidad de los elementos de Tierras Raras en el corto y mediano plazo.



Fuente: United States Department of Energy. 2010. Critical Materials Strategy Summary 2010.

¹⁴ United States Department of Energy. 2010. Critical Materials Strategy Summary 2010.

¹⁵ US Geological Survey. 2010. The Principal Rare Earth Elements Deposit of the United States.

¹⁶ US Congressional Research Service. 2012. Rare Earth Elements in National Defense.

¹⁷ Technology Metals Research. 2011. Critical Rare Earths.

2.4. Generalidades de la Mineralogía y los Depósitos de Tierras Raras

Las Tierras Raras se encuentran en una amplia gama de tipos de minerales, incluyendo Haluros, Carbonatos, Óxidos, Fosfatos y Silicatos. Las Tierras Raras se encuentran alojadas, en gran medida, por la roca de formación como una sustitución a los iones principales.

Las principales clases de depósito minerales de Tierras Raras, se producen en una amplia gama de rocas: ígneas, sedimentarias y metamórficas. La concentración y distribución de depósitos de minerales de Tierras Raras, se ve influenciada por la formación rocosa y procesos hidrotermales, incluyendo los fluidos de enriquecimiento magmáticos e hidrotermales; la separación en fases minerales y precipitación; la posterior redistribución y la concentración mediante la erosión. Los entornos en los que se enriquecen las Tierras Raras, se pueden dividir en dos categorías: los depósitos primarios asociados con procesos ígneos e hidrotermales y los depósitos secundarios, concentrados por procesos de sedimentación y erosión.

Tabla 1: Tabla de minerales.

Mineral	Formula	% Óxidos de Tierras Raras
Bastnasita	(Ce, La)(CO ₃)F	75
Monacita	(Ce, La, Nd, Th)(PO ₄)	65
Xenotimo	YPO ₄	61
Parisita	Ca(Ce, La) ₂ (CO ₃)F ₂	61
Gadolinita	(Ce, La, Nd, Y) ₂ Fe ²⁺ Be ₂ SiO ₁₀	60
Fergusonita	(Ce, La, Nd)NbO ₄	53
Yttrocerita	(Ca, Ce, Y, La)F ₂ nH ₂ O	53
Loparita	(Ce, La, Na, Ca, Sr)(Ti, Nb)O ₃	30

Fuente: British Geological Survey. 2004. The Economics Importance of Minerals to the United Kingdom.

La gran mayoría de los yacimientos de Tierras Raras, están asociados, sólo a tres minerales: Bastnasita, Monacita y Xenotimo.

2.5. La Producción de Tierras Raras en el Mundo

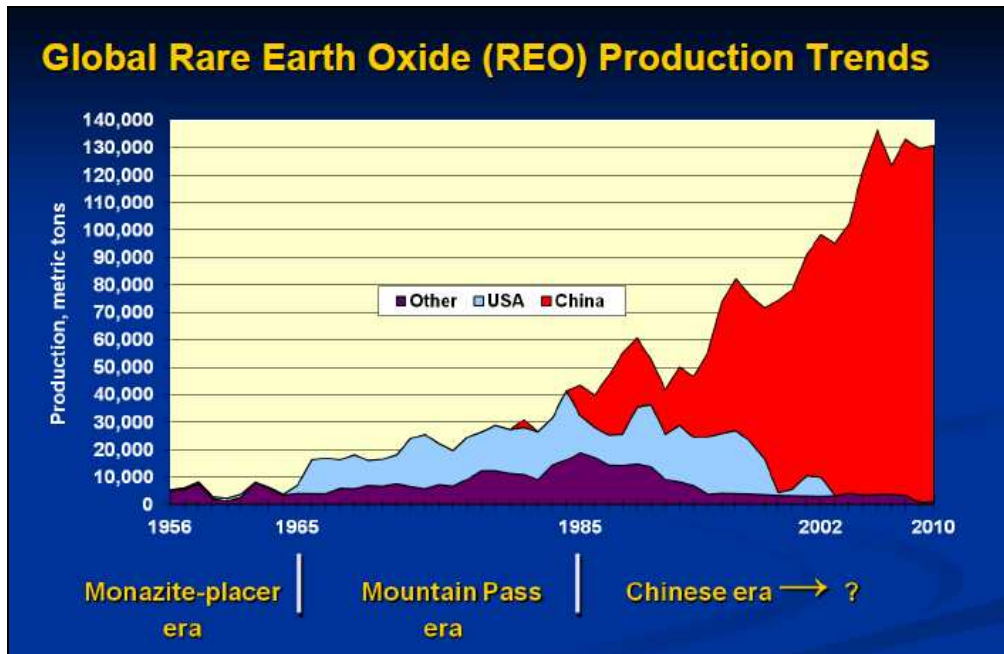
La literatura señala que en torno al siglo XIX, Brasil fue el pionero en este negocio, con exploraciones de arena de Monacita en el estado de Bahía. Hasta 1915 esta economía sudamericana había sido la mayor productora mundial, y luego, le cedió su lugar a India, que a su vez, fue desplazada por Estados Unidos en 1965 con la entrada en producción de Mountain Pass, hasta la irrupción de China en 1985 (ver ilustración 23). En el año 2012, China continúa siendo el mayor productor de Tierras Raras (ver tabla 2).

Tabla 2: Principales Países Productores de Tierras Raras en el Mundo.

País	Reservas 2011 (t REO)	2006 Minas producción (t REO)	2007 Minas producción (t REO)	2009 Mina producción (t REO)
Estados Unidos	13.000.000	0	0	0
Australia	1.600.000	0	0	0
Brasil	48.000	730	730	650
China	36.000.000	119,000	120,000	120,000
Rusia	19.000.000	N/A	N/A	N/A
India	3,100,000	2,700	2,700	2,700
Malasia	30,000	200	200	380
Otros países	22,000,000	N/A	N/A	N/A
Total Mundial (redondeado)	113.778.000	123,000	124,000	124,000

Fuente: US GEOLOGICAL SURVEY. 2011. Scientific Investigations Report. The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States.

Ilustración 23: Tendencia de la producción de Óxidos de Tierras Raras.



Fuente: US GEOLOGICAL SURVEY. 2010. Global Rare Earth Trends

2.5.1. China

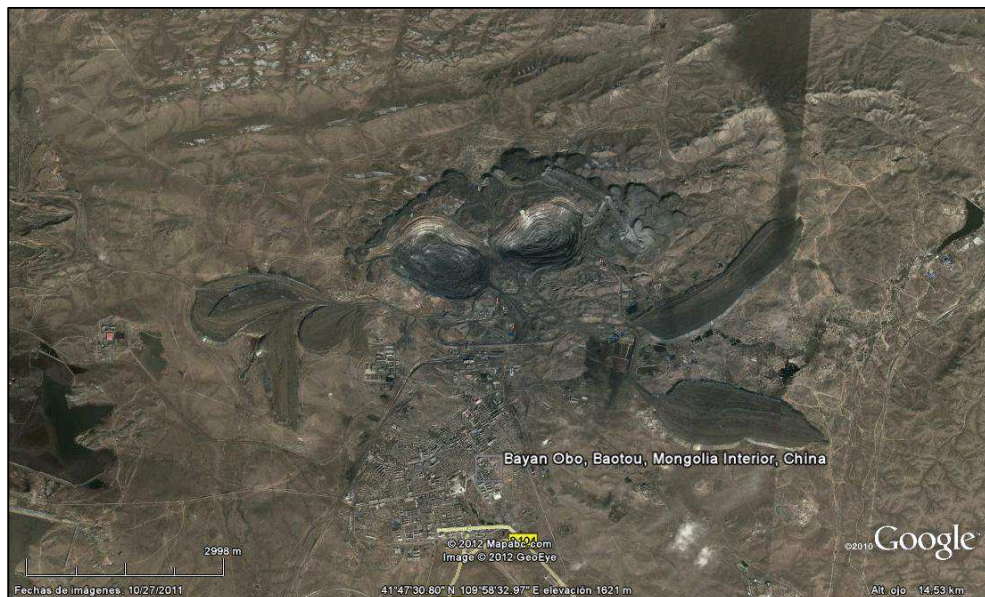
Como en muchas otras áreas, China ha logrado producir niveles significativos de Tierras Raras con costos muy inferiores a los de otros países. Esto hizo paralizar la producción y exploración en varias naciones¹⁸. China se convirtió en el líder del mercado a comienzos de la década de los noventa, alcanzando a copar el 97% de la demanda en el año 2009. Por otro lado, China consume el 60% de su producción de Tierras Raras¹⁹. En julio del 2010, el gobierno chino redujo al 95% la oferta, bajo el criterio de proteger sus recursos naturales y darle a la producción local un mayor valor agregado. El gigante

¹⁸ US GEOLOGICAL SURVEY. 2010. Scientific Investigations Report. The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States.

¹⁹ NATIONAL GEOGRAPHIC. 2011. Rare Earths, The Secret Ingredients of Everything.

asiático comenzó a imponer una serie de restricciones y aranceles a sus exportaciones de Tierras Raras, reduciendo en un 40% las cuotas de exportación²⁰. Asociado a lo anterior, se presenta el control de los recursos, dado que por estimaciones del propio gobierno chino (ver tabla 3), más del 30% del mineral es producto de operaciones fuera de la ley²¹.

Ilustración 24: Vista Aérea de la Bayan Obo, Mongolia Interior (China).



Fuente: Google Earth

El recorte de las cuotas de exportación, por parte del gobierno chino, tomó por sorpresa a las economías industrializadas como Estados Unidos, Japón y el bloque de países de la Unión Europea²². Debido a lo anterior, el suministro de las Tierras Raras, ha trascendido desde lo netamente económico hacia lo político, prueba de ello, son los siguientes hechos:

²⁰ TECHNOLOGY METALS RESEARCH. 2011. Critical Rare Earths.

²¹ CHINADAILY. 2012. The Environmental Cost of Rare Earths.

²² REUTERS. 2010. Recorte Cuotas Tierras Raras, China causa Preocupación Comercial.

- a) En el año 2010, las exportaciones Chinas de elementos de Tierras Raras a Japón, fueron interrumpidas durante una disputa política por las aguas territoriales²³.
- b) El Presidente de los Estados Unidos, Barack Obama dijo: “Las Tierras Raras son demasiado importantes para mantenernos al margen”, cuando su país junto a varias otras naciones presentaron ante la Organización Mundial de Comercio (OMC), una acción para intentar revertir la decisión proteccionista de China instaurada en el año 2010²⁴.
- c) La Canciller de Alemania, Angela Merkel, viajó a Mongolia en Octubre del 2011 y se firmaron contratos de suministro de materias primas, incluidas las Tierras Raras²⁵.

Pekín se ha mostrado preocupado por los efectos medioambientales de esta industria extractiva al señalar que los recortes de cuotas evitarán la extracción desenfadada y contaminante de los yacimientos. Aunque también, las autoridades Chinas han anunciado que modificarán estas cuotas de extracción y exportación para volverlas "razonables" y tranquilizar así a los compradores extranjeros alarmados, por el dominio que esa potencia había desarrollado sobre el sector²⁶.

²³ BBC MUNDO. 2011. Los Minerales Raros podrían cambiar las Relaciones Globales

²⁴ EI MUNDO. 2012. Temor en Occidente a la restricción china de tierras raras para la alta tecnología

²⁵ SPIEGEL.2011. Germany Playing Catch-Up in Scramble for Resources.

²⁶ CHINA Xinhua News. 2012. Acusaciones de Occidente contra China por Tierras Raras son injustas

Tabla 3: Producción de Óxidos de Tierras Raras en China.

Province / Región	2007	2008	2009	2010	2011
Fujian (t)	220	320	720	1.500	2.000
Guangdong (t)	700	1.000	1.500	2.000	2.200
Guangxi (t)	200	200	200	2.000	2.500
Hunan (t)	100	300	800	1.500	2.000
Inner Mongolia (t)	46.000	46.000	46.000	50.000	50.000
Jiangxi (t)	7.400	7.400	7.400	8.500	9.000
Shandong (t)	1.200	1.200	1.500	1500	1.500
Sichuan (t)	31.000	31.000	24.000	22.000	24.400
Yunnan (t)	200	200	200	200	200
Cuota total de producción (t)	87.020	87.620	82.320	89.200	93.800
Producción Estimada (t)	120.800	124.500	129.400	118.900	

Fuente: TECHNOLOGY METALS RESEARCH. 2011. Critical Rare Earths. P14. (última actualización agosto 2011).

2.5.2. El Resto del Mundo

Mientras, Occidente trata de diversificar la oferta de Tierras Raras por medio de la búsqueda de nuevos yacimientos y de insumos alternativos por el lado de los grandes consumidores de Tierras Raras, como Toyota e Hitachi, se suma otra fuente en desarrollo: el reciclaje de aparatos tecnológicos (celulares, televisores, computadores)²⁷. En Estados Unidos, las empresas: Boeing, General Electric y Toyota, han anunciado que van a entrar a participar en el negocio de las Tierras Raras para asegurar su propio abastecimiento²⁸.

²⁷ OKO INSTITUTE. 2011. Study on Rare Earths and Their Recycling. Final Report for the European Parliament.

²⁸ US Congressional Research Service. 2012. Rare Earth Elements: The Global Supply Chain.

En Occidente, la única empresa de productora de Tierras Raras, está ubicada en la mina de Mountain Pass, en Estados Unidos, la cual estuvo paralizada y se puso nuevamente en marcha en el año 2010, después de una serie de inversiones para actualizar sus instalaciones²⁹.

Existen una serie de plantas productoras de Tierras Raras fuera de China, las cuales en muchos casos debieron cerrar debido a la oferta de dicho país asiático (Ver Tabla 4). Las nuevas inversiones en minas de Tierras Raras en: los Estados Unidos, Australia, Canadá y Sudáfrica, no se pondrán en marcha al menos hasta 2014 y la construcción de nuevas refinerías podría tardar hasta 15 años³⁰.

Tabla 4: Empresas Productoras de Tierras Raras fuera de China.

País	Nombre Mineral	Empresa
Australia	Mount Weld	Lynas Corporation
Sudáfrica	Steenkampskraal	RAREco y Great Western
Estados Unidos	Bokan Montaña	Nova Scotia
Estados Unidos	Mountain Pass	Molycorp
Canadá	Strange Lake	Quest Rare Minerals Ltd
Suecia	Norra Karr	Tasman Metals Ltd.
Federación Rusa	Karnasurt	
Brasil	Buena Norte	
India	Orissa-Kerala	

Fuente: Technology Metals Research. 2011. Critical Rare Earths.

²⁹ US Geological Survey. 2010. The Principal Rare Earth Elements Deposit of the United States.

³⁰ US Congressional Research Service. 2012. Rare Earth Elements in National Defense

2.5.2.1. Estados Unidos

La mayor empresa de América del Norte, productora de Tierras Raras es Molycorp, con sede en Greenwood Village, Colorado. Su historia comienza en 1952, cuando la Corporación de Molibdeno de América, empezó la explotación de Tierras Raras en Mountain Pass. El proceso incluía etapas de molienda y separación. La Corporación Unocal compró la Corporación de Molibdeno de América en 1977. En 1998, todas las operaciones de procesamiento químico fueron suspendidas por un fallo legal, que indicaba que no cumplían con la legislación ambiental, debido a fugas en el ducto que transportaba las aguas residuales de las pozas de evaporación en el lecho del lago seco Ivanpah. Las operaciones de extracción y tratamiento continuaron hasta 2002, cuando fueron detenidas, debido a la baja de precios de los Óxidos de Tierras Raras, a la falta de capacidad para la disposición de relaves y las demoras en la obtención de los permisos para las nuevas instalaciones de almacenamiento de relaves en pasta³¹.

Una campaña especial de recuperación de Lantano había comenzado antes de la suspensión de actividades en 1998 y el inventario fue mantenido en pozas de evaporación y fueron, posteriormente procesados, con el fin de recuperar el Neodimio y Praseodimio.³²

La Corporación Unocal vendió la totalidad de sus equipos mineros (palas, camiones de Carga) antes de ser adquirida por la corporación Chevron en 2005³³. Las operaciones quedaron suspendidas hasta Septiembre de 2007, cuando Chevron Mining Inc., una subsidiaria de Chevron Corporation, inició un

³¹ Molycorp. 2010. Rare Earth Company: Anual Report.

³² Ibid

³³ Ibid

proceso piloto de recuperación, el cual fue utilizado como una oportunidad para mejorar las tecnologías de procesamiento y generar ingresos muy modestos. El 30 de septiembre de 2008, la compañía Rare Earth Acquisitions LLC, adquirió los depósitos de Mountain Pass y los activos asociados a Chevron Mining Inc. Posteriormente, Rare Earth Acquisitions fue rebautizado como Molycorp Minerals LLC³⁴.

La adquisición excluyó ciertos activos, pasivos y responsabilidades relacionadas con asuntos ambientales y laborales, que fueron mantenidos por Chevron Corporation. Actualmente, cuenta con permiso para el plan minero y un informe de impacto ambiental, lo que permite continuidad de las operaciones hasta 2042³⁵.

Desde la adquisición de las instalaciones, se han procesado y vendido Óxidos de Tierras Raras a partir de los inventarios de materias primas almacenadas. Además, han mejorado significativamente la capacidad y tecnologías de extracción por solventes³⁶.

Las operaciones mineras fueron reanudadas en diciembre de 2010, la cual es coincidente con la modernización de la capacidad de procesamiento, con el fin de producir de manera eficiente alrededor de 19.050 toneladas/año de Óxidos de Tierras Raras a finales de 2012. Tras finalizar el plan de expansión, previsto para el 2013, esperan tener la capacidad de producir aproximadamente 40.000 toneladas de Óxidos de Tierras Raras³⁷.

³⁴ Molycorp. 2010. Rare Earth Company: Annual Report.

³⁵ Ibid

³⁶ Ibid

³⁷ Ibid

Ilustración 25: Vista Aérea de la Mina Mountain Pass de Molycorp
(Colorado, Estados Unidos).



Fuente: Google Earth

Las instalaciones de Mountain Pass incluyen: una mina a cielo abierto, acopios de mineral, chancadores, molinos, planta de flotación, planta de separación, depósito de relaves, las áreas de almacenamiento, pozas de evaporación, laboratorios para apoyar las actividades de investigación y desarrollo, oficinas, almacenes. La mayor parte de la planta y de los equipos tienen más de 20 años de antigüedad y, sustancialmente, todos serán reemplazados como parte del esfuerzo de modernización. La compañía espera ampliar la mina a rajo abierto, tanto hacia el Oeste, Suroeste y Norte, así como la profundización vertical³⁸.

³⁸ US Geological Survey. 2010. The Principal Rare Earth Elements Deposit of the United States.

Molycorp ha basado sus negocios en buscar un encadenamiento productivo y asociatividades con otros actores del mercado, cuya estrategia han denominado: “De la Mina al Magneto” (*Mine to Magnet*)³⁹.

2.5.2.2. Australia

La empresa Lynas Corporation se ha especializado en la exploración y procesamiento de minerales de Tierras Raras; cuenta con su principal mina, llamada Mount Weld, la cual está localizada en Australia Occidental. Su estrategia es mantener la fuente segura y fiable de suministro, desde la mina hasta el cliente, para desarrollar una perspectiva global y convertirse en el mayor productor y proveedor de Tierras Raras fuera de China⁴⁰.

Mount Weld fue inaugurado, oficialmente, el 4 de Agosto del 2007. Se espera que produzca 11.000 toneladas de Óxidos de Tierras Raras al año. Su segunda fase permitirá duplicar la producción a 22.000 toneladas para el 2013 y finalmente tiene como objetivo producir 33.000 toneladas anuales, dentro de un período de 20 años⁴¹.

Alkane Resources es una empresa con sede en Perth, que posee el proyecto de Dubbo Zirconia en Nueva Gales del Sur. La mina tiene proporciones relativamente grandes de Tierras Raras y, recientemente, descubrieron Oro. En

³⁹ Ernst&Young. 2011. Technology Minerals: The Rare Earths Race On!. p22.

⁴⁰ Lynas Corporation. 2012. Annual Report

⁴¹ Ibid

el proyecto de Nueva Tomingley, también han encontrado altos niveles de concentrado de Tierras Raras, cerca de los depósitos de Oro⁴².

Ilustración 26: Vista Aérea de la Mount Weld de Lynas Co. (Australia).



Fuente: Google Earth

Otra empresa con sede en Perth es Arafura Resources. Están construyendo el proyecto Nolan y esperan iniciar la etapa minera el año 2013.

⁴² CHEN Z. 2011. Global Rare Earth Resources and Scenarios of Future Rare Earth Industry. Journal of Rare Earths, Vol 29. p1.

2.5.2.3. Malasia

Lynas también está construyendo, una planta de procesamiento que se espera que esté terminada a finales del 2012. La empresa tiene que cumplir un conjunto de once recomendaciones, que figuran en el informe de permiso ambiental. Debido a su alto riesgo de contaminación radiactiva, las organizaciones sociales y ambientalistas de Malasia, suelen manifestarse en contra de la operación de esta planta⁴³.

2.5.2.4. India

Los tres productores de Tierras Raras en la India, incluyendo Indio Rare Earth y Kerala minerales y metales, son propiedad del Gobierno.⁴⁴

2.5.2.5. Canadá

Neo Material Technologies, es una compañía Canadiense con sede en Toronto. El origen de la empresa estuvo en el año 1993, donde capitales Chinos adquirieron dos plantas existentes de Tierras Raras. En 1997, ellos crearon un sistema para la producción de "Polvo de Neo"; un polvo magnético que está hecho de una aleación de Neodimio-Hierro-Boro. Cuentan con un total de diecinueve plantas e inversiones en diez países diferentes⁴⁵.

Avalon Rare Metals, es una empresa ubicada en Toronto. La principal fuente de Tierras Raras, es la mina Nachalacho. Están desarrollando la mina Thor Iago,

⁴³ CHEN Z. 2011. Global Rare Earth Resources and Scenarios of Future Rare Earth Industry. Journal of Rare Earths, Vol 29. p1.

⁴⁴ Ibid

⁴⁵ Molycorp. 2012. Rare Earth Company: Annual Report.

en el noroeste de Canadá: rica en Neodimio y Tierras Raras Pesadas. Cuentan con el desarrollo de cuatro plantas en Canadá, de las cuales hay tres en una fase avanzada⁴⁶.

VMS Ventures es una empresa con sede en Vancouver. Posee complejos en Manitoba Central, donde se descubrieron Tierras Raras el año 2003, en el Lago Eden⁴⁷.

Great Western Minerals⁴⁸ es una compañía ubicada en Saskatoon con seis procesos de exploración de Tierras Raras y propiedades de desarrollo en América del Norte y una opción sobre una propiedad en Sudáfrica. El proyecto del lago Hoidas al norte de Saskatchewan, según la empresa, la que tiene el potencial para abastecer el 10% de la demanda Norteamericana.

Rare Element Resources⁴⁹ es una empresa con sede en Vancouver, cuya propiedad Bear Lodge tiene importantes yacimientos de Tierras Raras.

2.5.2.6. Japón

Un estudio de la Universidad de Tokio⁵⁰ sostiene que se hallaron grandes reservas de Tierras Raras en aguas del Sureste de Japón. Se estima que su volumen equivaldría a cientos de veces el consumo anual del país. El equipo científico realizó el anuncio tras analizar muestras de sedimento obtenidas a más

⁴⁶ AVALON METALS. 2011. Journey to a Sustainable Future. Corporate Annual Report.

⁴⁷ VMS VENTURES. 2012. First Quarter Condensed Financial Report.

⁴⁸ GREAT WESTERN MINERALS GROUP. 2012. Corporate Presentation.

⁴⁹ RARE ELEMENTS RESOURCES. 2011. Corporate Presentation.

⁵⁰ YASUHIRO K. 2011. Deep sea mud in the Pacific Ocean as a Potential resource for rare Earth elements. Nature Geoscience.

de 5.000 metros de profundidad en dos puntos: a 300 kilómetros al Suroeste y 500 kilómetros al Norte de la isla de Minami Torishima. La importancia de estas reservas, reside en que la confirmación del hallazgo, supondría el primer depósito en territorio Nipón. No obstante, ninguno de estos yacimientos podría explotarse comercialmente en la actualidad, ya que la tecnología para extraer sedimentos a grandes profundidades, se encuentra todavía en fase experimental.

2.5.2.7. Sudamérica

Los únicos países Sudamericanos con recursos probados de interés en Tierras Raras son: Argentina y Brasil.

En el caso de Argentina, en: San Luis, Catamarca, Salta, Jujuy, Córdoba, La Rioja y Santiago del Estero, son provincias que cuentan con reservas de Tierras Raras y existen pedidos de permisos de exploración, solicitados por compañías de Canadá y Australia. La empresa canadiense, Artha Resources⁵¹, anunció otro descubrimiento en la zona de Cachi, provincia de Salta. La superficie con potencial para ser explotada, totaliza unas 55.000 hectáreas. Del mismo país, también es la firma Bolland, que solicitó asistencia a la Universidad de La Plata, para el análisis de una porción de terreno, ubicada en las sierras de Córdoba. La minera Canadiense Wealth Minerals⁵², adquirió casi 6.000 hectáreas en cercanías a Rodeo de los Molles, en San Luis para exploración.

⁵¹ ARTHA RESOURCES. 2012. <<http://www.artharesources.com>>

⁵² WEALTH MINERALS. 2012. <<http://www.wealthminerals.com/s/Home.asp>>

Brasil, cuenta con la mina y planta Buena⁵³, que es el principal productor de Tierras Raras y es de propiedad de la Industria Nuclear Brasileña, una empresa del Estado. Cuentan con reservas de 20.000 toneladas. El mineral extraído es Monacita que contiene Uranio y Torio. Las concentraciones de estos dos últimos elementos, son demasiado bajas para ser económicamente viables, pero lo suficientemente altas, para que los residuos mineros radiactivos necesiten un manejo especial. La operación se encuentra cerca del mar y el cuerpo mineral continúa bajo el lecho marino. La Industria Nuclear Brasileña está en conversaciones con la Universidad Federal Fluminense, para desarrollar un programa de investigación con el fin de localizar los recursos explotables de Tierras Raras en el lecho marino. También cuenta con depósitos de Tierras Raras en el distrito de Catalão (Goáis), Pitinga (Amazonas) y São Francisco do Itabapoana (Rio de Janeiro).

2.5.2.8. Chile

En cuanto a Chile, el escenario geológico no parece de primera mano como auspicioso, dado que los minerales que contienen Tierras Raras se presentan, mayormente, en rocas alcalinas⁵⁴ y en complejos de carbonatitas⁵⁵, que son tipos de minerales que se dan en ambientes geológicos que no existirían en Chile. Sin embargo, pese a este diagnóstico, hay algunas iniciativas que apuntan

⁵³ GOMEZ R. 2007. Flotación de Minerales que contienen elementos de Tierras Raras. Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama.

⁵⁴ British Geological Survey. 2004. The Economics Importance of Minerals to the United Kingdom.

⁵⁵ Ibid

a determinar lo contrario. Mientras la Comisión de Energía Nuclear⁵⁶ (ver ilustración 27), El Servicio de Geología y Minería ya cuentan con estudios de prospección^{57 58}. El Departamento de Metalurgia de la Universidad de Atacama, ha separado los elementos de Tierras Raras a partir de relaves mineros pertenecientes a la Empresa Nacional de Minería (ENAMI)⁵⁹. Por otra parte, privados como la asesora financiera Larraín-Vial, están avanzando en exploraciones de estos minerales, gracias a recursos de privados y el fondo Fénix de Corfo⁶⁰.

Uno de las fuentes promisorias en Chile es el Complejo Volcánico El Laco, ubicado en la segunda región. El contenido de óxido de hierro en promedio es indicado como 98% y el de tierras Raras de 5.000 a 10.000 ppm⁶¹. (el texto no indica el nivel de definición de la reserva). Este yacimiento es propiedad de la

⁵⁶ ORREGO, P. 2010. Identificación de Prospectos y Propuestas de Recuperación de Uranio y Tierras Raras en Chile. En: Workshop International, Reciclaje y Recuperación de Metales y Minerales, Comisión Chilena de Energía Nuclear

⁵⁷ FORTIN, H. y ALARCON, B. 2007. Geología del Prospecto Cerro Carmen; Mineralización de Uranio y Tierras Raras. Nucleotécnica año 26.

⁵⁸ INTERNATIONAL ASSOCIATION OF VOLCANOLOGY AND CHEMISTRY OF EARTH INTERIOR. 2004. General Geology of El Laco. General Assembly <<http://www.iavcei.org/documents/pucon04/a3.pdf>>

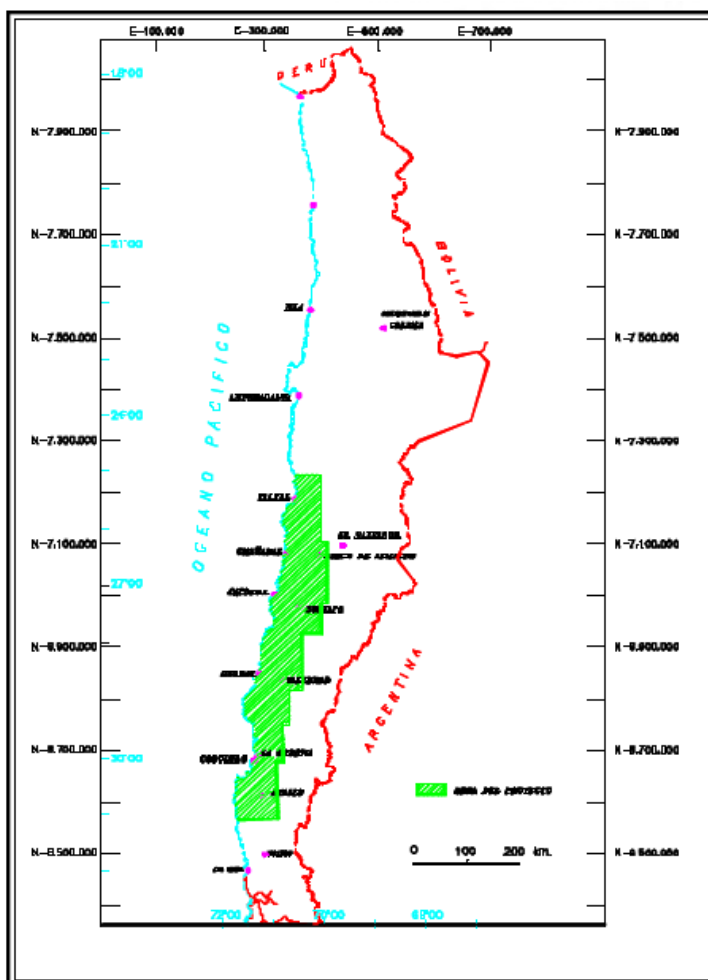
⁵⁹ GOMEZ R. 2007. Flotación de Minerales que contienen elementos de Tierras Raras. Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama.

⁶⁰ Rivas, C. 2012. La apuesta minera de los fondos de inversión. Que Pasa Minería. <<http://www.quepasamineria.cl>>

⁶¹ INTERNATIONAL ASSOCIATION OF VOLCANOLOGY AND CHEMISTRY OF EARTH INTERIOR. 2004. General Geology of El Laco. General Assembly <<http://www.iavcei.org/documents/pucon04/a3.pdf>>

Compañía Minera del Pacífico (CMP). Las minas Yungay y Arrayán en la tercera región son mencionadas con contenidos similares de Tierras Raras⁶².

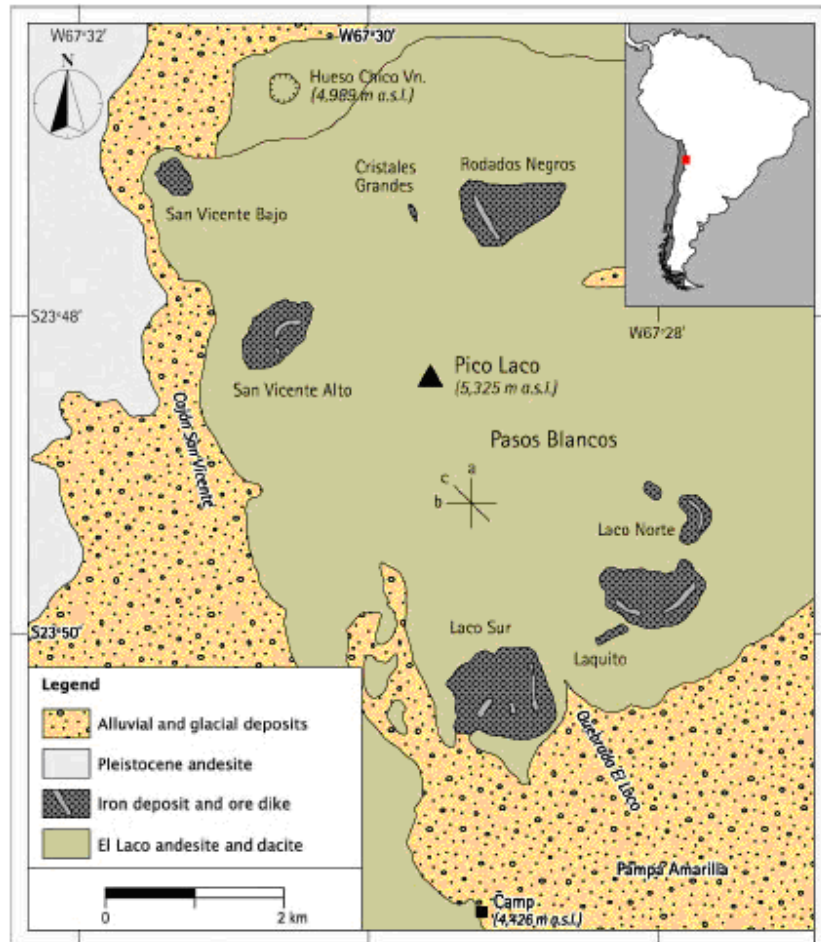
Ilustración 27: Prospecto para la recuperación de Tierras Raras en Chile.



Fuente: FORTIN, H. y ALARCON, B. Proyecto de investigación de Tierras Raras III y IV Regiones CCHEN – ENAMI, 1995 – 2003.

⁶² GOMEZ R. 2007. Flotación de Minerales que contienen elementos de Tierras Raras. Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama.

Ilustración 28: Prospecto del complejo volcánico El Lago (Chile).



Fuente: Naranjo, J. Henríquez, F. y Nyström J. Subvolcanic contact metasomatism at El Lago Volcanic Complex, Central Andes. Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile.

2.6. La Tierras Raras en el Mercado de Capitales Chileno

El sector minero chileno posee características que, a diferencia de otros países, limitan su plena integración a la economía nacional. La más importante se refiere a la escasa vinculación que tiene la actividad minera con los mercados financieros y de capitales nacionales. De hecho sólo tres empresas ligadas a la minería cotizan en la bolsa en Chile.

En Chile no existe un mercado de capitales especializado en minería, lo que determina que el financiamiento de estas empresas se desarrolle en condiciones de extrema dificultad, con poca presencia y profundidad para empresas operativas e inexistentes para el caso de la industria de exploración minera.

2.6.1. Fondos de Inversión de Capital de Riesgo

Los Fondos de Inversión de Capital de Riesgo, tienen como objetivo apoyar el desarrollo de la industria de la exploración y prospección minera en Chile⁶³ (Fondo Fénix). CORFO entrega el financiamiento en la forma de un crédito de largo plazo a Fondos de Inversión, para que éstos, a su vez, inviertan en empresas junior, dedicadas a la exploración y/o prospección minera en territorio nacional. Los fondos de inversión pueden otorgar préstamos a dichas empresas o bien aportar capital y adquirir participaciones parciales o totales de las mismas. Este subsidio entrega financiamiento para proyectos de prospección y/o exploración minera en territorio chileno⁶⁴.

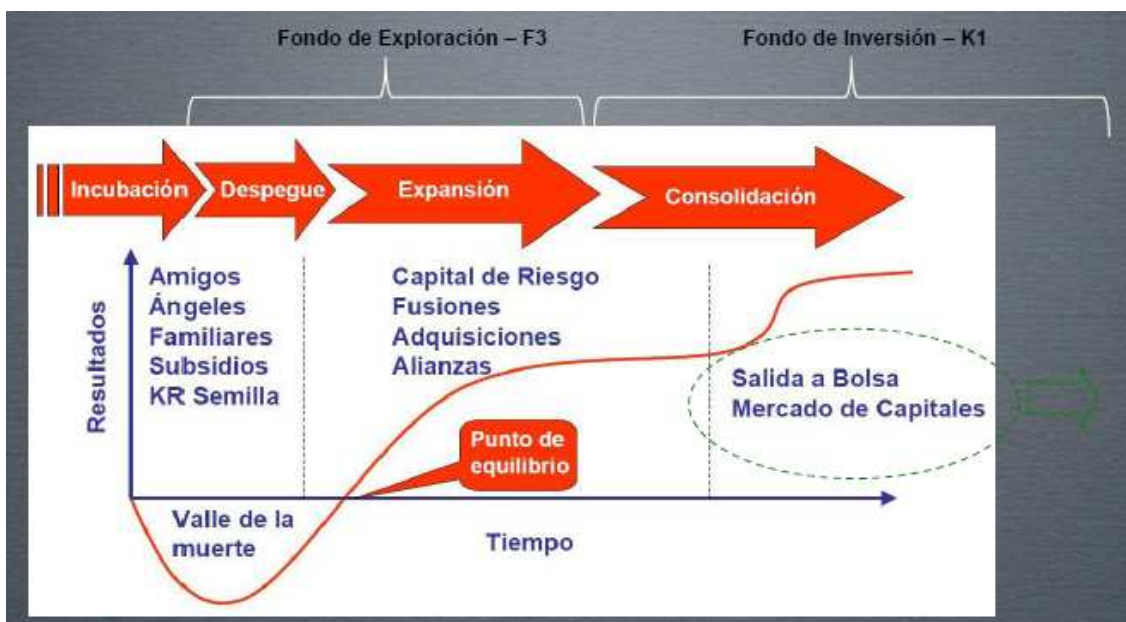
⁶³ Undurraga, C. CORFO. Fénix Mining Fund Fostering Exploration in Chile.

<<http://www.corfo.cl/fondominero>>

⁶⁴ CORFO. 2011. Normas del Programa de Financiamiento a Fondos de Inversión de Capital de Riesgos-Fondos de Exploración Minera (FENIX). Gerencia de Inversión y Financiamiento. Gobierno de Chile.

La empresa recibe financiamiento por parte del fondo de inversión, cuyo monto y estructura depende de las características y necesidades del proyecto, y según se haya definido en el proceso de negociación entre la empresa y el fondo de inversión.

Ilustración 29: Curva de Desarrollo del Valor para Fondos de Riesgo Minero.



Fuente: Comisión Calificadora de Competencias y Reservas Mineras. 2011. Taller de Fondos de Inversión Minera en Chile.

Cinco reconocidas firmas asesoras: Larrain Vial, Asset Chile, IMTrust, Celfin y EPG Partners, levantaron capitales chilenos para invertir en el arriesgado negocio de la exploración⁶⁵. Dentro de la entrega de financiamiento, destaca el Fondo de Inversión Privado Lantánidos/Minería Activa de la Sociedad

⁶⁵ CORFO. 2012. Fondo Fenix <<http://www.corfo.cl/programas-y-concursos/intermediarios-y-consultores/fondo-fenix>>

Administradora de Inversiones Mineras Sociedad Anónima⁶⁶. Cuentan con un equipo de 14 Geólogos, 4 Ingenieros en Minas y más de 33 profesionales. Dicha empresa es una sociedad entre Activa, Capitales Privados de Larrain Vial y Socios colaboradores. Ellos se encuentran desarrollando un proyecto de exploración de Tierras Raras por 20 MUS\$ bajo la modalidad del Programa de Financiamiento a Fondos de Inversión de Capital de Riesgo – Fondos de Exploración Minera (FENIX).

2.6.2. Relación entre empresas de *Venture Capital* y Emprendedores

Como es sabido, los capitalistas de riesgo y emprendedores cuentan con información privada, lo que influye en el disentimiento de opinión al momento de llevar a cabo la negociación del proyecto riesgoso.

Los capitalistas de riesgo atacan tales problemas de varias formas. Primero, ellos estructuran sus negocios en campos donde puedan mantener el control de sus inversiones, cuyo mecanismo más importante es la introducción de capital en base al cumplimiento de metas. Segundo, se desarrollan esquemas de incentivos, donde los conductores de los proyectos cuenten con los estímulos adecuados que aseguren la buena gestión del capital invertido. Tercero, los capitalistas de riesgo se involucran activamente en la gestión de las compañías donde se haya aportado un fondo considerable. Finalmente, los capitalistas de riesgo conservan los mecanismos para mantener la liquidez de sus inversiones.

⁶⁶ Empresa Minería Activa <<http://www.mineriativa.com>>

Caso Compañía Junior – Emprendedor Chileno

En Chile, debido a la legislación actual y al bajo valor de las patentes de exploración (para conseguir la concesión de pertenencias mineras) se da un caso particular de negociación, donde aparecen los tenedores de pertenencias mineras como agentes en la negociación de exploraciones. En otros países como Australia o Perú, típicamente las empresas Junior negocian con el estado, pagando directamente el valor de la patente.

Actualmente en el país, la relación entre empresas Junior y emprendedores locales se materializa por medio de un contrato, siendo en la mayoría de los casos un contrato de arriendo con opción de compra, donde generalmente las Junior se reservan el derecho de seguir o no con el proyecto una vez terminado el plazo del documento. Según lo investigado, aparentemente no existe una razón de peso para utilizar solamente este tipo de contratos, además, es de consenso en el mercado que los tipos de contratos a ser utilizados dependen principalmente de la negociación entre las partes. Además, se transmite el concepto de que el mecanismo actual no requiere mayores modificaciones, ignorándose nociones de eficiencia económica y priorizándose implícitamente los beneficios personales de los involucrados.

Lo antes mencionado juega un rol clave en la identificación de asimetrías de información, ya que típicamente los contratos son diseñados por aquella parte que cuenta con más recursos, y por lo tanto, un equipo de abogados detrás de la negociación y diseño de contratos. Asimismo y resguardando los incentivos personales de los profesionales mencionados, estos diseñarían las herramientas legales favoreciendo a sus clientes, según las condiciones del momento y aprovechando el riesgo moral (en términos de información).

Desde el punto de vista del emprendedor, se puede decir que por lo general son personas naturales o sociedades contractuales mineras (SCM) en búsqueda de financiamiento para explorar las pertenencias que poseen, quienes en la mayoría de los casos no son especialistas en exploraciones y el negocio asociado. Algunos de estos agentes no conocen el negocio de las empresas Junior y tampoco dominan el inglés como para investigarlas vía Internet con el objetivo de reducir asimetrías, y así, contra restar el posible oportunismo ejercido por quienes diseñan los contratos y participan activamente en la negociación.

La idea fundamental es contribuir a la eficiencia económica, reduciendo las asimetrías de información, especialmente las vividas por parte de emprendedores, investigando y sintetizando información relevante al momento de llevar a cabo una negociación de financiamiento de exploraciones mineras, donde una de las partes cuenta con mucho menos información.

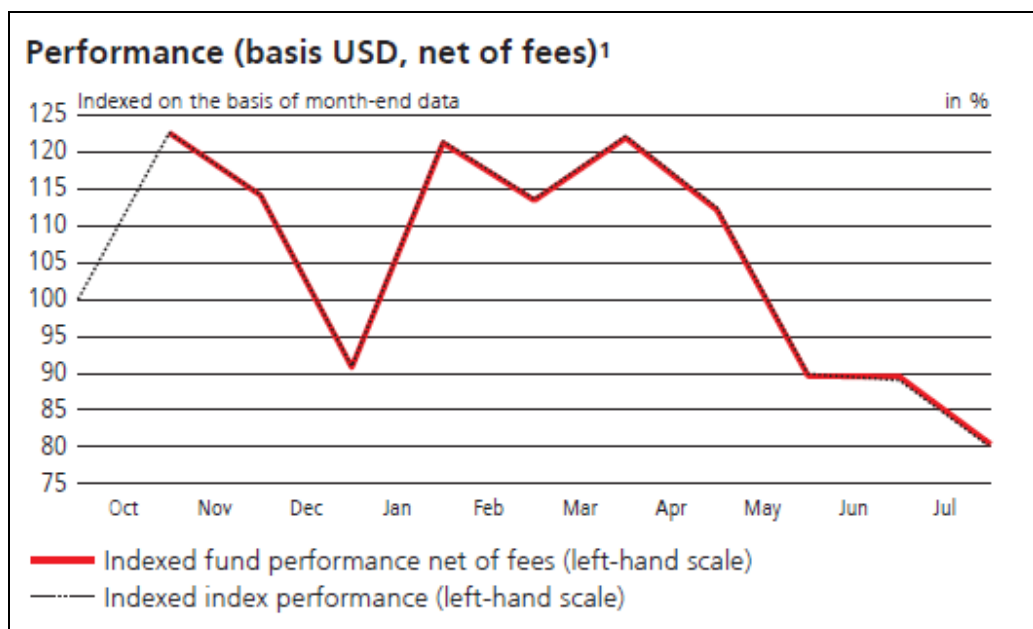
Por otra parte está la información que le puede ser ocultada a la empresa Junior. Esta información consiste principalmente en material histórico que se haya concebido durante la actual o anteriores tenencias del terreno; a modo de ejemplo, sería el caso en que el emprendedor redacte un prospecto considerando sólo la información que le sea favorable ante una negociación.

2.6.3. Fondos de Inversión de Tierras Raras (ETF)

Otra manera de participar en el negocio de Tierras Raras es invertir en un fondo de inversión en bolsa o *Exchange Traded Fund (ETF)*, aunque bien es cierto que no son abundantes, se espera que comiencen a aumentar en número en poco tiempo.

Según los expertos las compañías relacionadas con las Tierras Raras tendrán un aumento de ingresos si el progreso tecnológico continúa, algo que no parece que se vaya a detener. Por esto, algunas compañías pueden suponer una rentabilidad importante a la hora de invertir.

Ilustración 30: Instrumento de inversión USB STOXX ETF Global Rare Earth.



Fuente: Índice USB STOXX ETF Global Rare Earth. < <http://www.ubs.com/cl/es.html>>.

Tabla 5: Ponderador del Índice *USB STOXX ETF Global Rare Earth*.

Index 10 largest bond positions (%)	
	Index
LYNAS CORP. LTD	16,77
MOLYCOP INC. (DEL.)DL-001	16,39
ALKANE RESOURCES LTD.	11,77
CHINA RARE EARTH HD-10	11,33
RARE ELEMENT RES. INC	8,88
GREENLAND MINERALS + ENERGY	7,86
AVALON RARE METALS INC.	7,68
GR. WEST.MIN.	6,46
QUEST RARE MIN.	3,58
TASMAN METALS LTD	3,56

Fuente: Índice USB STOXX ETF Global Rare Earth.

<<http://www.ubs.com/cl/es.html>>.

2.6.4. Inversiones en compañías de Tierras Raras

La compañía china "*China Rare Earth Holdings*", que cotiza en Hong Kong y Estados Unidos. Produce la quinta parte de los metales de Tierras Raras y su valor en bolsa se ha multiplicado en los últimos meses. Algo similar le ha ocurrido a la canadiense "*Avalon Rare Metals*" que cotiza en Canadá y Estados Unidos. Otras empresas de minerales de Tierras Raras australianas, estadounidenses y chinas siguen el mismo camino que las dos anteriores, por lo que las inversiones en ellas cobran especial relevancia.

El imparable progreso tecnológico es el motor principal de esta materia prima. Las Tierras Raras, que ven como su precio aumenta con paso firme. Sin duda, la mejor razón para que una inversión en metales de Tierras Raras pueda ser rentable, con la convicción de que las compañías relacionadas con las Tierras Raras disfrutarán de unos niveles de crecimiento superiores a la media del producto interior bruto mundial.

CAPÍTULO III: ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE TIERRAS RARAS EN EL MUNDO.

En este capítulo se estudia de manera conceptual los procesos de recuperación de Tierras Raras, la sinergia con los procesos de beneficio de cobre para minerales tipo sulfuros. Además, se incorpora un análisis de las alternativas reciclaje de Tierras Raras a partir de elementos en desuso del último eslabón de la cadena de producción.

3.1. Procesamiento de Descartes Mineros

Para el caso de las Tierras Raras, no es común que se encuentren explotaciones dedicadas sólo a estos elementos, sino que son parte del beneficio de otros minerales de mayor volumen de producción.

En Chile se han descubierto minerales que pertenecen al modelo IOCG⁶⁷ (cobre/oro/hierro), recursos que son similares a los minerales explotados en Australia para el caso de las Tierras Raras (Mountain Weld).

El proceso del mineral de Bastnasita en Mountain Pass (EEUU), se puede dividir en las etapas de obtención de concentrado y de separación química de sus elementos⁶⁸.

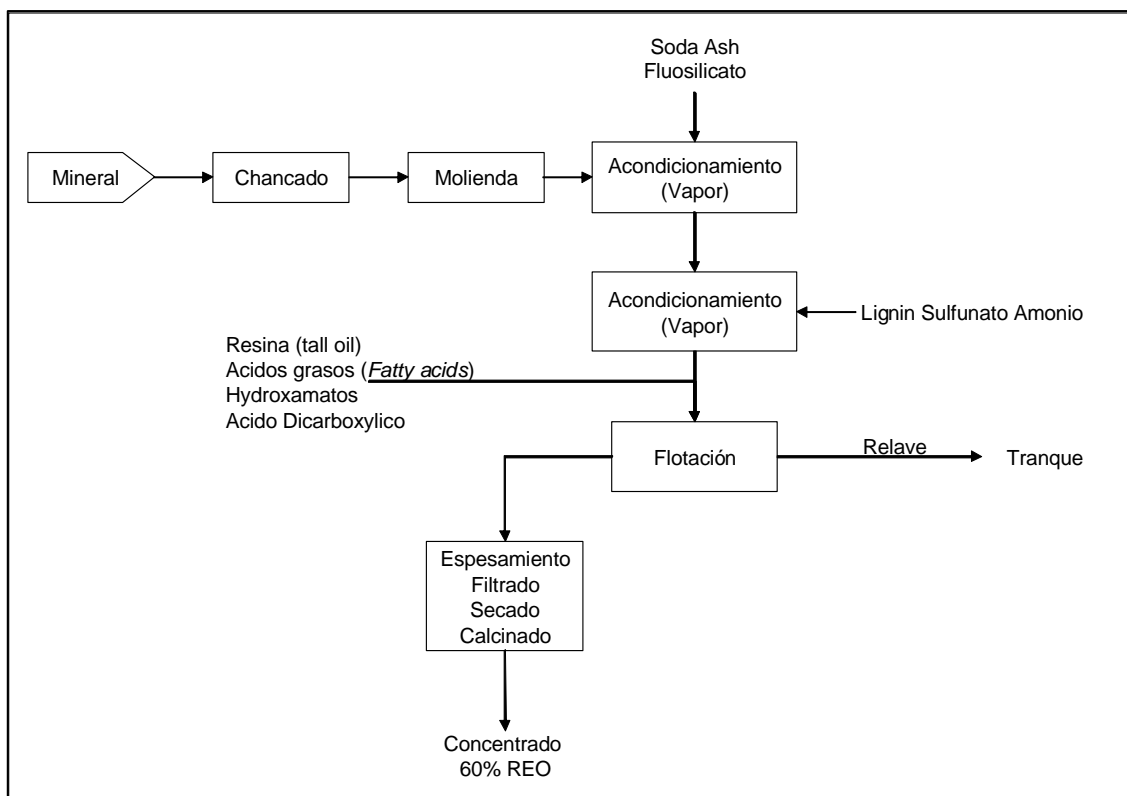
En la etapa de obtención del concentrado de Tierras Raras, como se puede observar en las ilustraciones 31 y 32, tanto la minería, el chancado y la molienda, son similares al proceso del cobre. Posteriormente, se efectúa un

⁶⁷ British Geological Survey. 2011. Rare Earth Elements.p4.

⁶⁸ US Geological Survey. 2010. The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States. Scientific Investigations Report.. p8.

tratamiento en ambiente alcalino, en caliente, con agentes reactivos al mineral para convertir a óxidos los minerales de Tierras Raras. Finalmente, se efectúa el proceso de flotación para obtener un concentrado de 60% de óxidos de Tierras Raras (REO).

Ilustración 31: Proceso para la obtención de concentrado de óxidos de Tierras Raras a partir de mineral de Bastnasita de Mountain Pass, Molycorp.

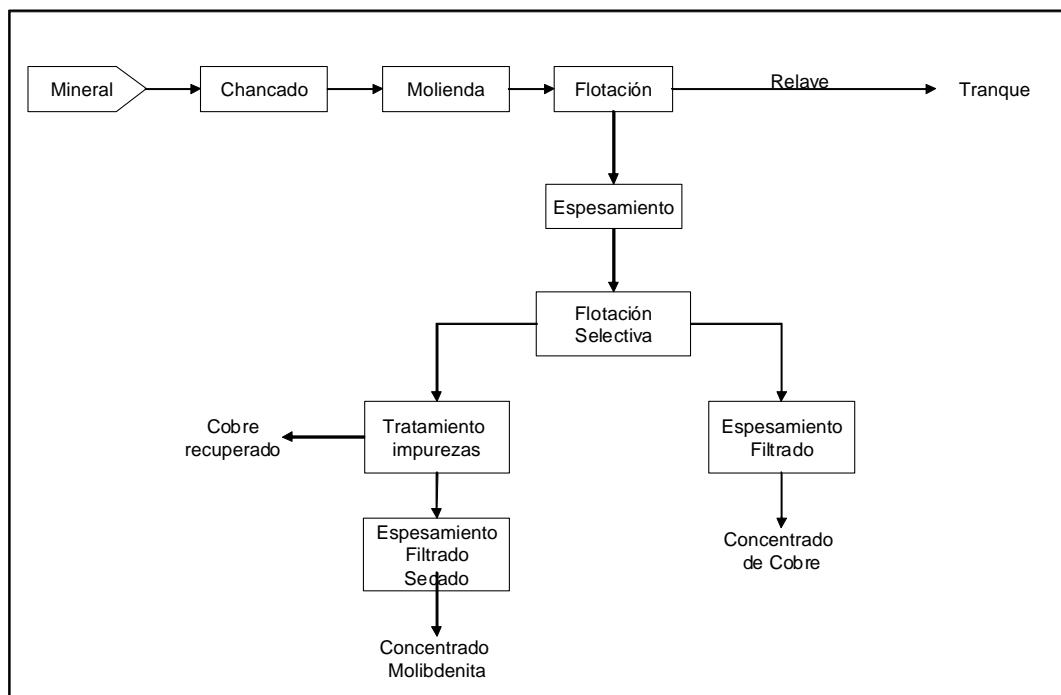


Fuente: US GEOLOGICAL SURVEY. 2010. Scientific Investigations Report. The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States.

El proceso de obtención de concentrado de cobre (ver ilustración 32), utiliza como activador de la flotación el medio alcalino. Los relaves son enviados al tranque de disposición final. Lo anterior, haría compatible ambos procesos en

caso de que en el relave se encuentre una cantidad interesante de Tierras Raras. En la Tercera Región de Nuestro País, la Universidad de Atacama y la Empresa Nacional de Minería (ENAMI), han efectuado de manera conjunta, muestras de los relaves de las plantas concentradoras⁶⁹, donde han encontrado presencia de Tierras Raras. También, dicha Universidad, ha realizado pruebas a nivel de laboratorio, para la recuperación de Tierras Raras.

Ilustración 32: Proceso para la obtención de concentrado de cobre y concentrado de molibdenita.



Fuente: COCHILCO. 2011. Consumo de Agua en La Minería del Cobre.

⁶⁹ GOMEZ R. 2007. Flotación de Minerales que contienen elementos de Tierras Raras. Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama.

3.2. Enriquecimiento del Concentrado de Tierras Raras

A partir del concentrado de Tierras Raras, es posible obtener sus elementos por separado.

En Mountain Pass, el concentrado (60% de Óxidos de Tierras Raras), obtenido a partir de los minerales de Bastnasita, se lixivia con ácido clorhídrico para remover el Estroncio y los carbonatos de Calcio⁷⁰. Posteriormente, mediante la calcinación de los sólidos, se obtiene un concentrado de 85% de Óxidos de Tierras Raras. En cambio, en Bayan Obo, el concentrado obtenido a partir de los minerales de Bastnasita, se agita con ácido sulfúrico en caliente al menos a 300°C. Luego, se lixivia con agua, en donde se precipitan los Tierras Raras como sulfatos dobles. A continuación, dichos sulfatos son convertidos a hidróxidos y lixiviados nuevamente en ácido clorhídrico y recristalizados⁷¹.

Para concentrados de Monacita o Xenotimo, se pueden seguir dos caminos alternativos, La ruta ácida y la ruta alcalina. La primera considera una digestión ácida en caliente del concentrado, luego, se lixivia con agua y, finalmente, se separa la fracción líquida de la sólida. El descarte sólido, comúnmente contiene Torio, el cual por sus características radioactivas, se deben considerar medidas para su manejo. La fase líquida se procesa por cristalización para obtener los sulfatos dobles de Tierras Raras para, posteriormente, realizar una conversión a hidróxidos, y finalizar en una lixiviación en ácido clorhídrico y recristalización. En cambio, en la ruta alcalina, los compuestos se convierten a hidróxidos, se separa

⁷⁰ British Geological Survey. 2004. The Economics Importance of Minerals to the United Kingdom.

⁷¹ British Geological Survey. 2011. Rare Earth Elements.p14.

la fracción sólido-líquido. La fase sólida, se lixivia con ácido clorhídrico y los sólidos se descartan. La fase líquida se recristaliza⁷².

En ambos procesos (Bastnacita y Monacita), se finaliza con un secado y posterior tostación de los cristales para generar los óxidos concentrados de Tierras Raras al 85%⁷³.

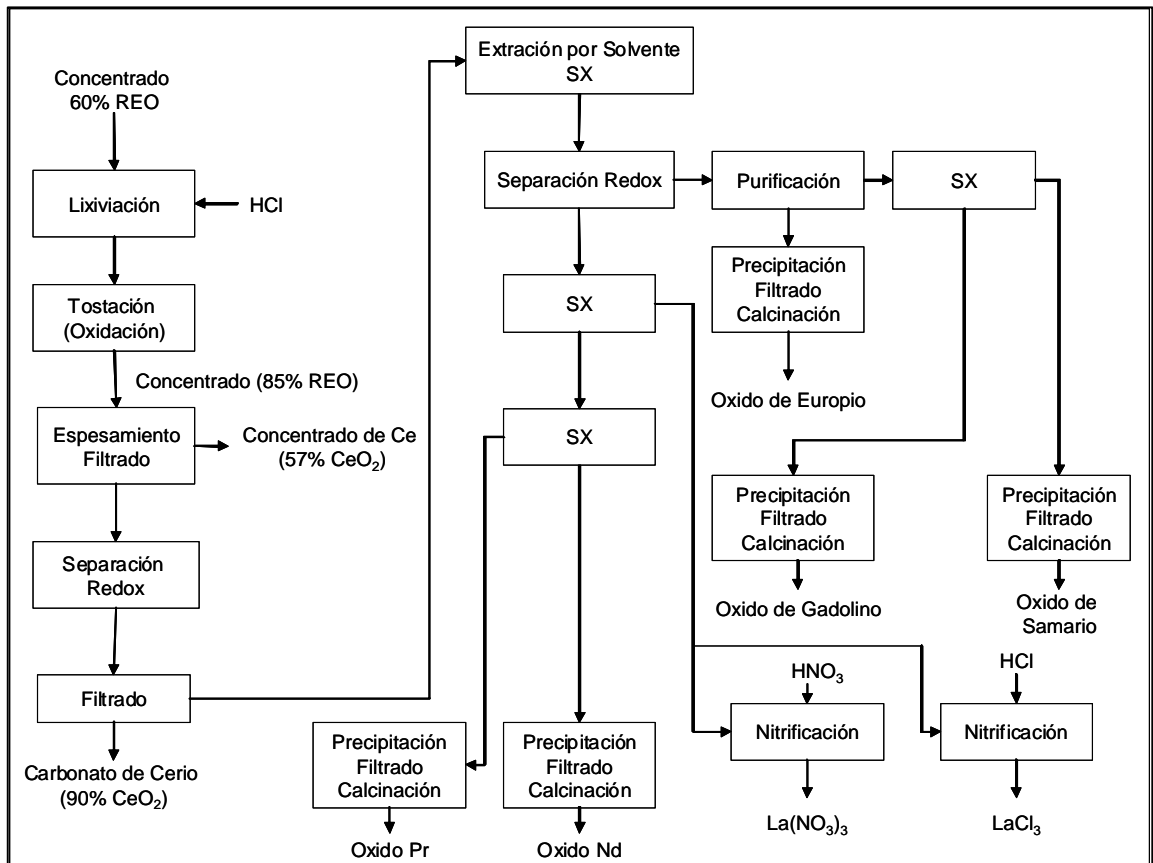
3.3. Obtención de Elementos de Tierras Raras

El concentrado enriquecido al 85% de Óxidos de Tierras Raras, a través de un espesamiento y filtrado, se separa en un concentrado al 57% de Óxido Cerio (insoluble). La solución es sometida a un proceso de separación Redox y, posteriormente, se cristaliza el Cerio soluble del concentrado inicial y se separa los sólidos por filtración. La fase líquida se procesa por una serie de etapas de extracción por solventes. Finalmente, se precipitan, filtran y calcinan para obtener: Óxidos Praseodimio, Óxidos de Europio, Óxidos de Gadolinio, Óxidos de Samario, nitrato y cloruro de Lantano (ver ilustración 33).

⁷² US Geological Survey. 2010. Scientific Investigations Report. The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States.

⁷³ Ibid.

Ilustración 33: Proceso de separación de elementos a partir de concentrados Tierras Raras.



Fuente: US GEOLOGICAL SURVEY. 2010. The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States. Scientific Investigations Report.

Reciclaje de Elementos de Tierras Raras

Se define como reciclaje, la obtención de materias primas a partir de desechos, introduciéndolos de nuevo en el ciclo de vida. Normalmente, son económicamente recuperables los metales que vuelven a ser utilizados como tales. En el transcurso de la investigación de esta tesis, las alternativas de recuperación de elementos a partir de trazas, debido que la mayor ley está en la mina, no son alternativas rentables y se encuentran sólo en etapa de experimentación⁷⁴.

Caso de Acero: En Chile el 34% es reciclado⁷⁵.

Caso del Cobre: 45% es reciclado en Europa, 33% en Estados Unidos⁷⁶.

3.4.1. Catalizadores

Los catalizadores, generalmente, son considerados como desechos peligrosos y, como tales, incurren en mayores costos de eliminación. Sin embargo, los óxidos de Tierras Raras no se recuperan. Dependiendo de las circunstancias, se disponen en rellenos sanitarios revestidos combinados con otros materiales para fabricar elementos para la construcción o procesados en hornos cementeros para sustituir el uso de minerales.

⁷⁴ HENSTOCK, M. 1996. Recyclin non ferrous metals. International Council on Metals and the Enviroment.

⁷⁵ GERDAU AZA. 2004. Guía educativa del Reciclaje de Acero

⁷⁶ COCHILCO. 2012. Factores Clave para un Análisis Estratégico de la Minería
Recopilación de estudios

En los convertidores catalíticos de automóviles, los óxidos de Tierras Raras no son el catalizador, sino más bien, funcionan como revestimiento protector para los principales elementos catalíticos: Paladio y Platino. Estos últimos, generalmente son más valiosos y se utilizan en mayores cantidades. Una fracción muy pequeña de óxidos de tierras raras son recicladas en los procesos donde son recuperados los elementos más importantes. Los Óxidos de Tierras Raras separados, normalmente, son consumidos en la industria del cemento o va a vertederos⁷⁷.

3.4.2. Vidrio

Es muy poco probable que el vidrio transparente contenga Tierras Raras. Este vidrio es reciclado con facilidad, dispuesto en contenedores y, posteriormente, molido. Es muy apreciado para la producción de nuevo vidrio transparente.

En los vidrios de colores, algunos pueden contener Tierras Raras, los cuales deben ser separados a mano antes de convertirse en chatarra de vidrio. Se puede reciclar en el vidrio coloreado bajo altas condiciones de control de calidad, pero es más probable que se utilice para la fabricación de baldosas de color y fibras de vidrio, como agregado de la construcción, o para ser eliminados en un vertedero.⁷⁸

Para el caso del láser YAG (*neodymium-doped yttrium aluminum garnet*, Nd:Y₃Al₅O₁₂), el material de desecho de Neodimio es reciclado para apoyar el proceso de crecimiento de cristales. Durante la producción, el 80% de la entrada

⁷⁷ OKO INSTITUTE. 2011. Study on Rare Earths and Their Recycling. Final Report for the European Parliament.

⁷⁸ Ibid

de Neodimio se pierde como desecho con un contenido de 5 por ciento de óxido de Neodimio. Este material es enviado a rellenos sanitarios por falta de compradores.⁷⁹

Los polvos de pulido de vidrio pueden ser regenerados, pero el procesamiento químico es costoso.⁸⁰

3.4.3. Metalurgia

El uso de Tierras Raras en aleaciones metalúrgicas es, generalmente, disipativo porque se agregan en bajas concentraciones. Así también, en la escoria de fusión. La escoria se utiliza como agregado para la construcción o está dispuesta en vertederos.⁸¹

3.4.4. Fosforescencia

Los productores están desarrollando técnicas económicamente rentables para la recuperación de Óxidos de Tierras Raras constituyentes del polvo de Fósforo contenido en sistemas fluorescentes. Se estima que para el año 2015, unas 250 toneladas de este material estarían dispuestas en vertederos.⁸²

⁷⁹ OKO INSTITUTE. 2011. Study on Rare Earths and Their Recycling. Final Report for the European Parliament.

⁸⁰ Ibid

⁸¹ Ibid

⁸² Ibid

3.4.5. Cerámica

La tecnología está disponible para reciclar estos materiales, pero en la realidad se realiza poco porque el costo de separación de las Tierras Raras es mayor que el valor potencial de los materiales.⁸³

3.4.6. Imanes de alta potencia

Los imanes de Neodimio-Hierro-Boro tienen el potencial para ser reciclados, remanufacturados y reutilizarse, debido a que pueden ser selectivamente separados. Las dificultades de este reciclaje es porque los imanes de Neodimio-Hierro-Boro se corroen con el uso y, en parte, porque los imanes que usan moldes de Níquel, son más difíciles de reciclar. Sin embargo, Hitachi ha desarrollado tecnologías para reciclar imanes de Tierras Raras de las unidades de disco duro y se ha extraído con éxito.⁸⁴

El Neodimio puede ser recuperado desde los imanes de Nd-Fe-B por disolución en ácido sulfúrico, seguida de una precipitación de una sal doble de Neodimio Sodio. Esta sal puede ser, finalmente, convertida a varias aplicaciones distintas. La recuperación de imanes de Sm-Co y Nd-Fe-B desde sus virutas contaminadas, es posible efectuarla por flotación y dos etapas de lixiviación.⁸⁵

⁸³ OKO INSTITUTE. 2011. Study on Rare Earths and Their Recycling. Final Report for the European Parliament.

⁸⁴ Ibid

⁸⁵ HENSTOCK, M. 1996. Recyclin of Non Ferrous Metals. International Council on Metals and the Environment

3.4.7. Baterías

Las baterías de Níquel-Metales Híbridos recargables (NiMH) son pirometalúrgicamente reciclables para el contenido de Níquel y Cobalto. El resto se separa en la escoria la que es depositada en vertederos o vendidos como agregado de la construcción.⁸⁶

⁸⁶ OKO INSTITUTE. 2011. Study on Rare Earths and Their Recycling. Final Report for the European Parliament.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DEL MERCADO DE LAS TIERRAS RARAS

El análisis del mercado de las Tierras Raras se realizará por medio de cuatro metodologías: Un estudio de las tendencias históricas de los precios, una revisión de la cadena del valor y la revisión de la estrategia implementada por las empresas de occidente, un análisis externo de la industria en el contexto internacional a través del modelo de las cinco fuerzas de Porter y un análisis interno de la minería en Chile, orientado detectar las fortalezas y debilidades para participar del negocio de las Tierras Raras.

4.1. Estudio de Tendencias de los Precios de las Tierras Raras

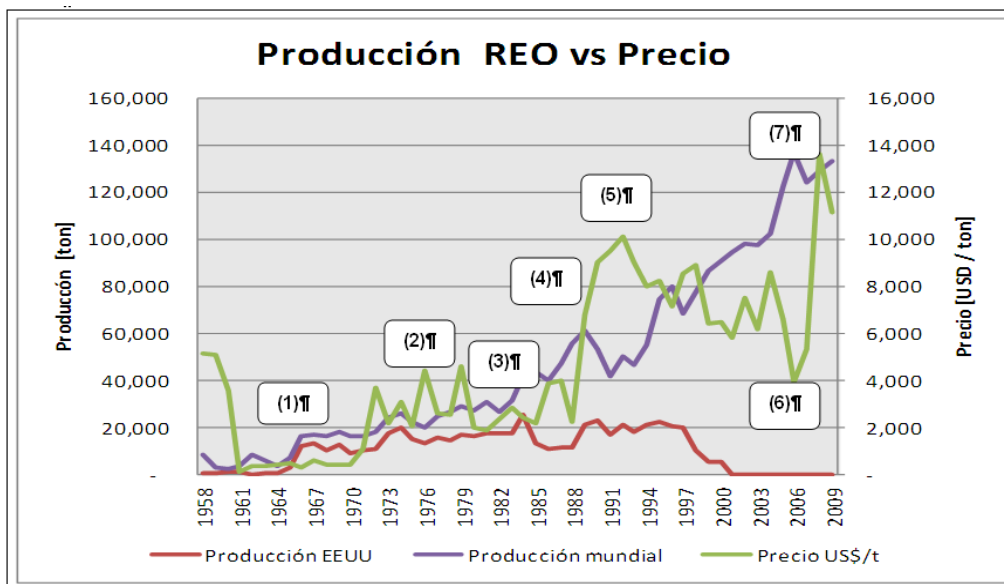
4.1.1. Evolución Histórica de los Precios

La Ilustración 34, presenta la serie histórica de precios relacionados con la evolución de la producción:

Los precios de las Tierras Raras tienen fluctuaciones significativas desde la década de 1950, como resultado del balance oferta/demanda, relacionados con la legislación medioambiental y factores económicos, tales como, la inflación y los costos de la energía.⁸⁷

⁸⁷ Hedrick. 1997. Rare Earth Metals. US Geological Survey.

Ilustración 34: Series de precios de Óxidos de Tierras Raras (REO).



Fuente: Elaboración Propia, Datos: US Geological Survey, Rare Earth Metals

En referencia a la ilustración 34:

(1) Entre 1958 y 1971, los precios decrecieron como resultado del aumento de la oferta, asociado a la apertura de la mina Mountain Pass en California. El período fue caracterizado por la comercialización generalizada de Tierras Raras individuales, incluidos los compuestos y metales.⁸⁸

(2) La oferta continuó incrementándose en la década de 1970 y la demanda al mismo ritmo. A partir de 1978, los precios de las Tierras Raras estaban atados, principalmente, a la economía de EEUU. Para finales de la década de 1970, los costos de operación de toda la industria minera se incrementaron, debido a la inflación de dos dígitos y los crecientes costos de

⁸⁸ Hedrick. 1997. Rare Earth Metals. US Geological Survey

energía, ocasionando a un aumento de los precios de las Tierras Raras, que compensó a los mayores costos de producción.⁸⁹

(3) Los precios no fueron indiferentes a la recesión económica que afectó sus valores a la baja. Después de la recesión de los años 1981 y 1982, cuando la economía mejoró y la inflación se redujo, el precio de las Tierras Raras se estabilizó. La excepción, en este período, fue el Escandio, cuyo precio se elevó a un valor astronómico de 75.000 US\$/Kg. En ese momento, el principal productor de este elemento fue la Unión Soviética, cesando las exportaciones en 1984, aparentemente para satisfacer su demanda interna para la investigación del láser. Este precio disminuyó marcadamente al año siguiente, cuando la producción de Estados Unidos entró en línea.⁹⁰

(4) Los precios se mantuvieron estables hasta principios de la década de 1980. Sin embargo, hacia 1985, la promulgación de normas medioambientales en EEUU, limitó el contenido de Plomo en la gasolina, reduciendo la demanda de catalizadores que contienen Tierras Raras. En respuesta, la producción minera de EEUU disminuyó en casi un 50%, generando escasez y provocando a un aumento de precios el siguiente año.⁹¹

(5) Durante las décadas de 1980/90 se generó un crecimiento sostenido de la producción de China y un aumento significativo de la demanda de imanes permanentes, convertidores catalíticos de automóviles y baterías recargables.⁹²

⁸⁹ Hedrick. 1997. Rare Earth Metals. US Geological Survey

⁹⁰ Ibid

⁹¹ Ibid

⁹² Ibid

(6) Esta creciente demanda de Tierras Raras provocó incertidumbre sobre la oferta y ejerció presión en los precios, llevándolos al alza. Hacia 1995, China reaccionó aumentando la producción, lo que implicó que bajaran los precios en 1996.⁹³

(7) El precio de las Tierras Raras se incremento considerablemente desde el año 2007, como resultado del aumento del consumo chino y la promulgación de leyes de ese país, relativas a restricciones ambientales y controles de las cuotas de exportación. En respuesta a la subida del precio, la mina Mountain Pass reinició la producción de Tierras Raras a menor ritmo.⁹⁴

4.1.2. Generalidades de los Precios

Los precios de los metales de Tierras Raras varían considerablemente, dependiendo de su pureza y cantidad. El crecimiento de la industria de Tierras Raras entre 1986 y 1998, obedeció esencialmente al requerimiento de productos individuales de alta pureza en los mercados. La mayor demanda, en este período, fue para el metal Neodimio, utilizado en aleaciones de imanes permanentes de alta resistencia de Neodimio-Hierro-Boro (NIB)⁹⁵.

Las diferencias entre el precio de un metal individual de Tierras Raras y el precio de un óxido del mismo elemento, se muestra en la tabla 6, la cual incluye los valores de Agosto de 2011, para una pureza mínima de 99% (base FOB China)⁹⁶.

⁹³ Hedrick. 1997. Rare Earth Metals.US Geological Survey

⁹⁴ Ibid

⁹⁵ Ibid

⁹⁶ Ibid

Tabla 6: Comparación de precios entre Óxidos y Metal de Tierras Raras (REE).

	Precio (US\$/Kg)	
	Metal de Tierras Raras	Óxidos de Tierras Raras
Cerio	168 - 170	149 - 151
Disproσιο	3.400 - 3.420	2.580 - 2600
Europio	6.600 - 6.620	5860 - 5880
Gadolinio	223 - 228	200 - 210
Lantano	165 - 167	149 - 151
Neodimio	465 - 470	335 - 340
Praseodimio	280 - 282	247 - 250
Samarario	189 - 192	127 - 130
Terbio	5.100 - 5.120	4.500 - 4.520
Itrio	205 - 215	180 - 185

Fuente: Hedrick. 1997. Rare Earth Metals.US Geological Survey

El Óxido de Cerio se comercializa alrededor de 150 US\$/kg, mientras que el Cerio metálico, se vende en 169 US\$/kg con una diferencia del 12%. En cambio para el Neodimio la diferencia se incrementa al 27%.

También, es relevante destacar que los precios de las Tierras Raras Pesadas (*HREE*) son mayores que las Livianas (*LREE*), debido a su menor abundancia. La relativa dificultad y los gastos asociados a la extracción de cada elemento, es otro factor que influencia los precios, además de la oferta y la demanda. Como consecuencia, existe una clara ventaja económica para futuros proyectos de *HREE* versus *LREE*.

A diferencia de otras materias primas, estos metales no se cotizan en la bolsa de valores y, por lo tanto, no existe un estándar (*commodities*). Por consiguiente, no están físicamente almacenados y, desde el año 2010, recién están comenzando a aparecer productos financieros para los inversionistas⁹⁷.

El único elemento del grupo de Tierras Raras que se negocia en un mercado, y por consiguiente, tiene un precio diario, es el Neodimio, que fue grabado en la Bolsa de Shanghai⁹⁸.

En la actualidad, algunas instituciones (principalmente el Instituto de Tierras Raras con sede en Dusseldorf), se encuentran realizando la creación de un estándar unificado del sector para Europa, asociado a la calidad del producto. Se estima que cuando se establezca este estándar, será posible hacer los productos transables. De lograrse, se tendría una gran ventaja para la industria, ya que se estaría en condiciones de efectuar compras en mercados de futuro.

Aún no está disponible una Bolsa de Metales en la cual las Tierras Raras sean transadas. Tanto los metales como sus óxidos son vendidos por empresas comercializadoras especialistas y los productos son normalmente negociados en contratos confidenciales de largo plazo. Los precios definitivos son determinados por los productores, de acuerdo a los requerimientos específicos de los usuarios finales (porcentaje de pureza y otras propiedades de valor agregado)⁹⁹.

⁹⁷ INSTITUT FÜR SELTENE ERDEN UND METALLE. 2012. De Tierras Raras: La nueva estrella en el cielo de la mercancía. Lo que debe saber acerca de sus Clientes y Consultores.

⁹⁸ Ibid.

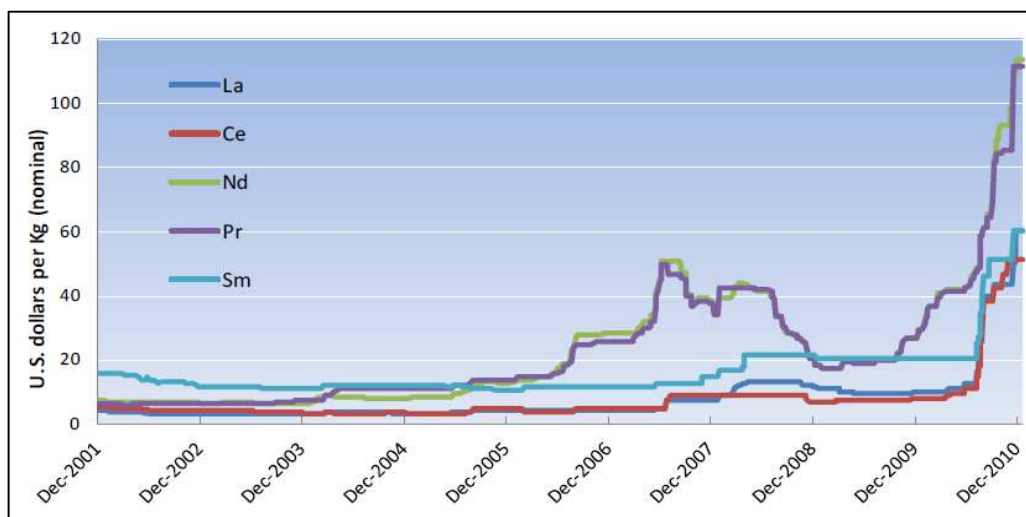
⁹⁹ Ibid

4.1.3. Tendencia de Precios

Las ilustraciones 35 y 36 muestran los precios medios de los distintos metales de Tierras Raras, entre abril del año 2001 y principios de noviembre del 2011.¹⁰⁰

En general, los precios subieron modestamente entre los años 2003 al 2008. Entre los años 2009 al 2010, los precios se incrementaron debido a la creciente demanda mundial. Durante los años 2010 al 2012, los precios volvieron a subir fuertemente, impulsados por la caída de las exportaciones Chinas. Durante el último periodo citado, las Tierras Raras Pesadas experimentaron un menor impacto en la alza de precios.¹⁰¹

Ilustración 35: Resumen histórico de precios de la última década para óxidos de Tierras Raras Livianas (*LREE*) con un mínimo de 99% de pureza, base FOB China.

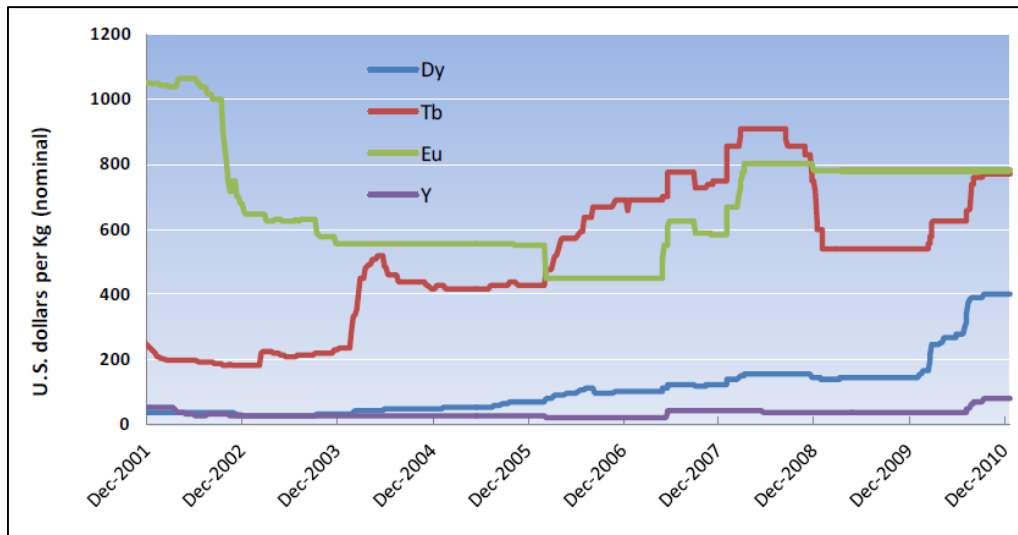


Fuente: Elaboración Propia, Datos: US Geological Survey. 2011. Rare Earth Metals

¹⁰⁰ US GEOLOGICAL SURVEY. 2011. Rare Earth Metals

¹⁰¹ TECHNOLOGY METALS RESEARH. 2011. Critical Rare Earths.

Ilustración 36: Resumen histórico de precios de la última década para óxidos de Tierras Raras Pesadas (*HREE*) con un mínimo de 99% de pureza, base FOB China.

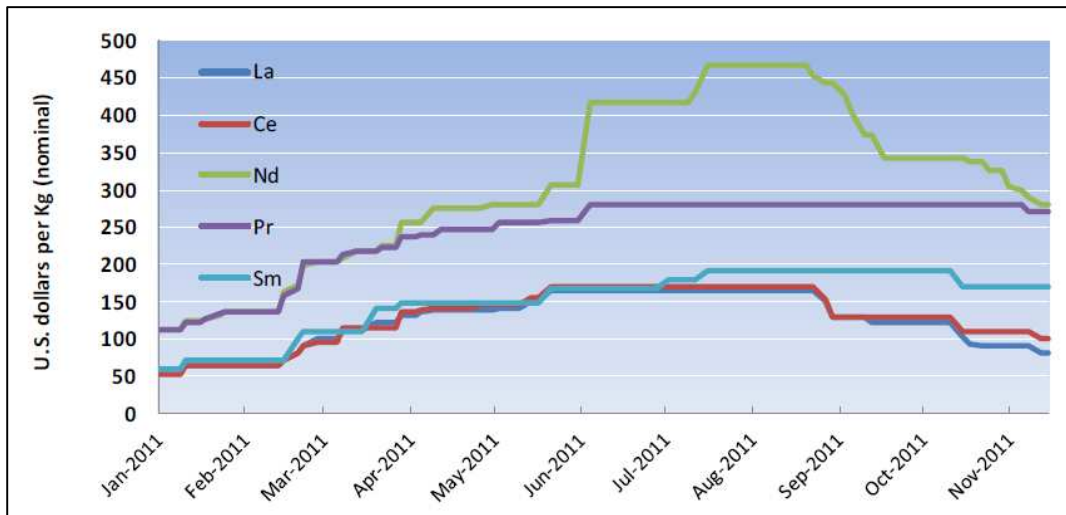


Fuente: Elaboración Propia, Datos: US Geological Survey, Rare Earth Metals

Al comparar las series de precios, desde el año 2001 hasta su máximo en el año 2011, los precios de los Metales de Tierras Raras han experimentado un aumento entre 4 a 49 veces su valor, según el elemento. Los precios del Disproso, Samario, Terbio e Itrio parecen haber llegado a una meseta, mientras que los precios de los otros elementos, siguieron cayendo.

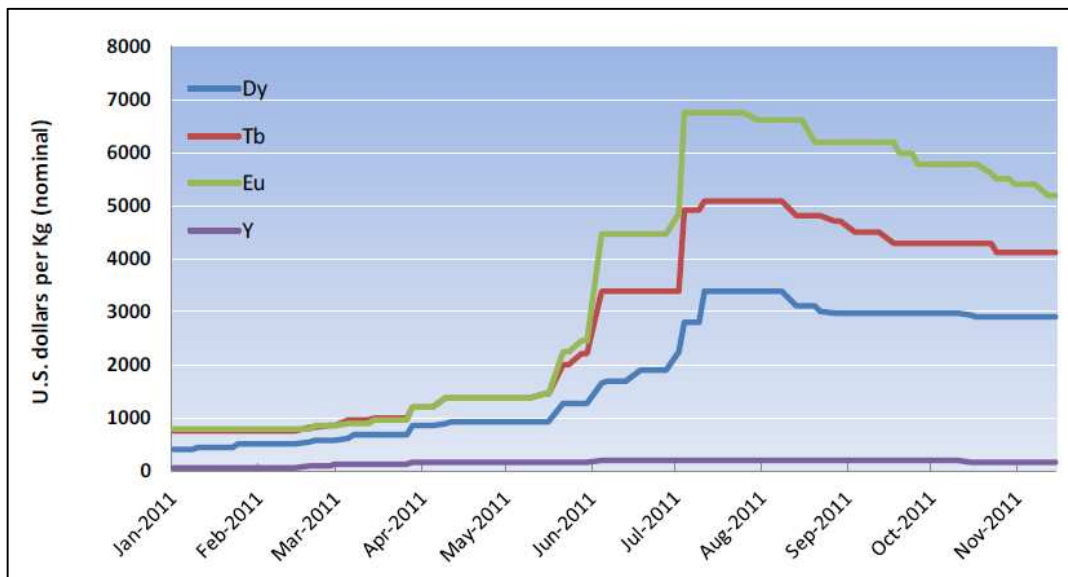
Entre los años 2001 y 2011, el aumento de precios de algunos Metales de Tierras Raras son las siguientes: Lantano 3.200%, Cerio 2.600%, Neodimio 2.900%, Praseodimio 3.100%, Samario 900%, Disproso 4.900%, Terbio 1.600%, Europio 600% e Itrio 400%.

Ilustración 37: Tendencia de precios del año 2011, para óxidos de Tierras Raras Livianas (*LREE*) con un mínimo de 99% de pureza, base FOB China.



Fuente: Elaboración Propia, Datos: US Geological Survey, Rare Earth Metals

Ilustración 38: Tendencia de precios del año 2011, para óxidos de Tierras Raras Pesadas (*HREE*) con un mínimo de 99% de pureza, base FOB China.



Fuente: Elaboración Propia, Datos: US Geological Survey, Rare Earth Metals

Como se mencionó, anteriormente, dentro de este mismo capítulo, el catalizador principal para el aumento de precios fue el anuncio del gobierno de China de restringir las cuotas de exportación, a mediados del 2010. De cara al futuro, existen variados factores que impactarán las expectativas sobre los precios:

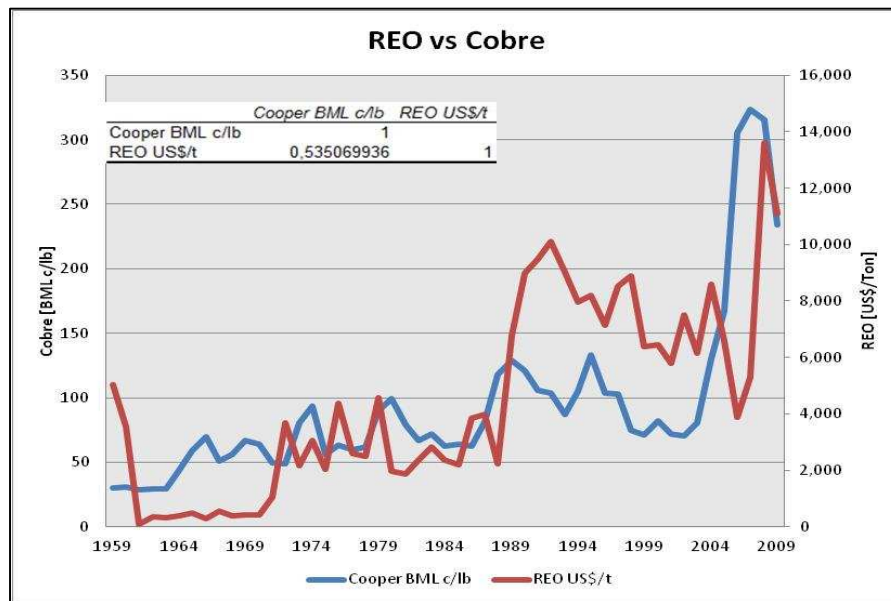
- En el mediano plazo, el nuevo volumen de Óxidos de Tierras Raras que ingresará al mercado y considerando que Molycorp, tanto como Lynas, tienen proyectos que se encuentran en sus fases iniciales; además del tiempo necesario para que estas empresas lleguen a plena producción, se espera que, finalmente, representen alrededor del 25% y 15% respectivamente, de la oferta mundial. Por consiguiente, es probable que este nuevo suministro tendrá efectos sobre los precios de las Tierras Raras Livianas a la baja.
- En el largo plazo, el avance tecnológico conduciría a una reducción en la cantidad de minerales necesarios por aplicación. Esta situación debería ser igualmente contrarrestada por la posible nueva demanda para aplicaciones emergentes.
- A nivel mundial sólo existe un puñado de expertos que son capaces de producir Tierras Raras a escala industrial, con una gama de alta pureza y a los más altos estándares. La exploración y la minería representan sólo el 10% al 15% de la cadena de valor. El negocio de las Tierras Raras ha sido siempre más complejo en el área de productos químicos de especialidad. Los ganadores de esta carrera serán las empresas que tienen acceso al know-how de la transformación, y por lo tanto, son capaces de desarrollar la cadena de valor hacia productos de una gama de alta pureza.

4.1.4. Relación de Precios Respecto a Otros Elementos

El comportamiento del precio de las Tierras Raras está condicionado por las leyes de la oferta y la demanda. Como es de esperar, los precios han visto afectados por las crisis económicas mundiales; sin embargo, presentaron comportamientos muy distintos al de aquellos productos más familiares, tales como Cobre, Oro o Molibdeno.

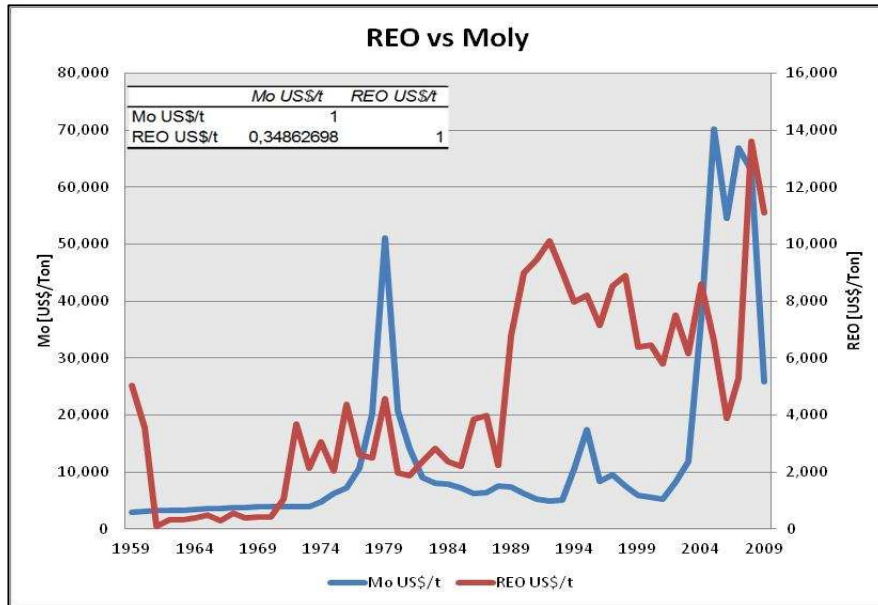
La Ilustración 39 presenta un comparativo de serie de precios de distintos elementos y su correlación relativa.

Ilustración 39: Comparación de la tendencia de precios entre el Cobre versus óxidos de Tierras Raras (REO).



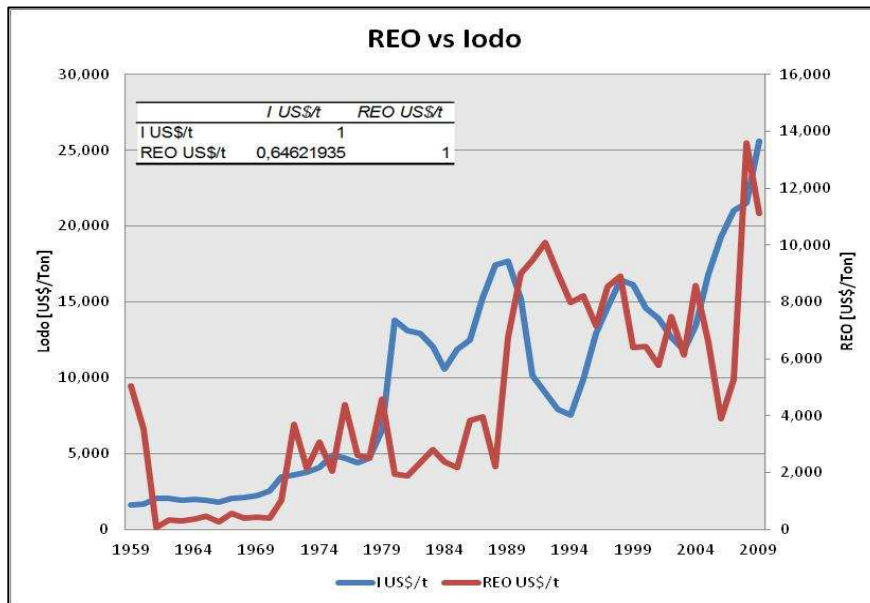
Fuente: Elaboración Propia, Datos: US Geological Survey, Rare Earth Metals y COCHILCO.

Ilustración 40: Comparación de la tendencia de precios entre el Molibdeno versus óxidos de Tierras Raras.



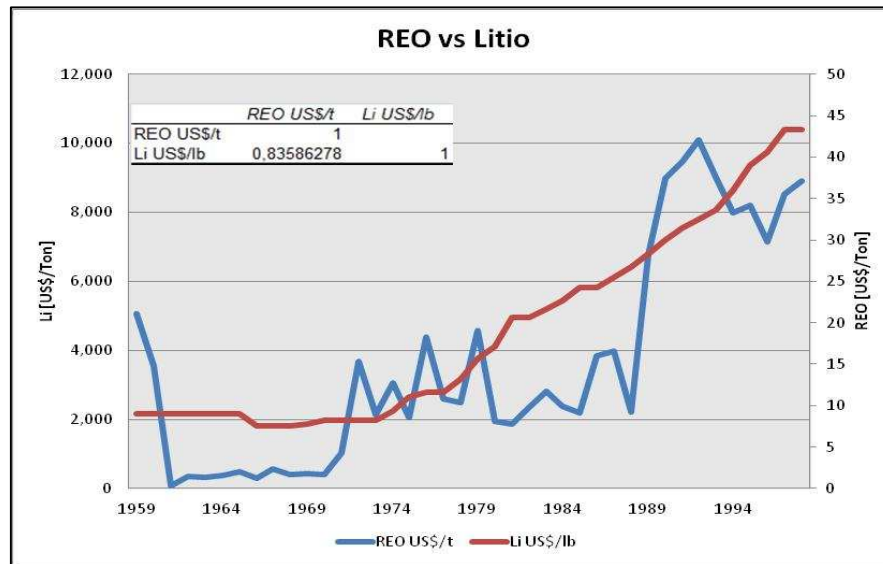
Fuente: Elaboración Propia, Datos: US Geological Survey, Rare Earth Metals y COCHILCO.

Ilustración 41: Comparación de la tendencia de precios entre el Yodo versus óxidos de Tierras Raras (REO).



Fuente: Elaboración Propia, Datos: US Geological Survey, Rare Earth Metals.

Ilustración 42: Comparación de la tendencia de precios entre el Litio versus óxidos de Tierras Raras (REO).



Fuente: Elaboración Propia, Datos: US Geological Survey, Rare Earth Metals

Es posible apreciar en la tabla 7, que los elementos que presentan una mayor correlación relativa con los Óxidos de Tierras Raras es el Litio (Li) y, en menor proporción, el Yodo (I) y el Oro (Au), pero no son valores determinantes ni concluyentes, sobre todo, considerando que la comparación respecto al Litio considera datos hasta el año 1998. Por otro lado, es posible observar la correlación entre el Cobre y el Molibdeno, asociada principalmente a la oferta.

Tabla 7: Correlación relativa para precios óxidos de Tierras Raras versus elementos minerales comerciados en Chile.

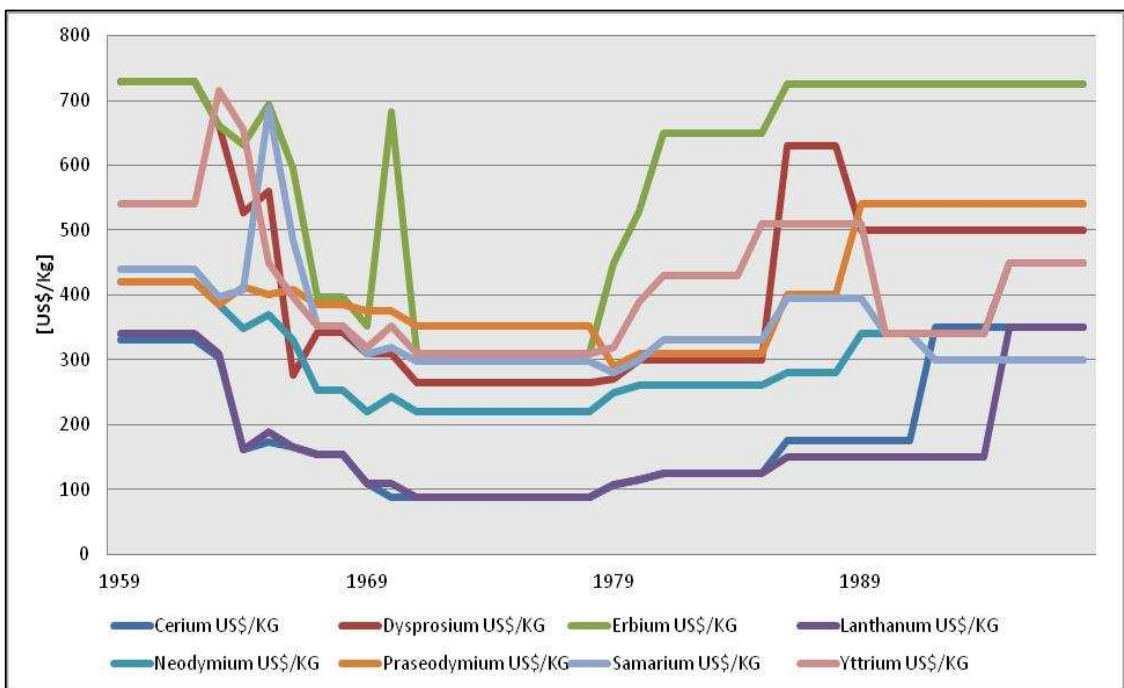
	Cu BMLc/lb	Mo US\$/t	I US\$/t	REO US\$/t	Au US\$/oz	Ag US\$/oz	Li US\$/lb
Cu BML c/lb	1,000						
Mo US\$/t	0,807	1,000					
I US\$/t	0,726	0,529	1,000				
REO US\$/t	0,535	0,349	0,646	1,000			
Au US\$/oz	0,804	0,626	0,909	0,650	1,000		
Ag US\$/oz	0,663	0,641	0,727	0,344	0,870	1,000	
Li US\$/lb	0,723	0,159	0,795	0,836	0,758	0,338	1,000

Fuente: Elaboración Propia

4.1.5. Comportamiento de Largo Plazo Pre-Irrupción de China

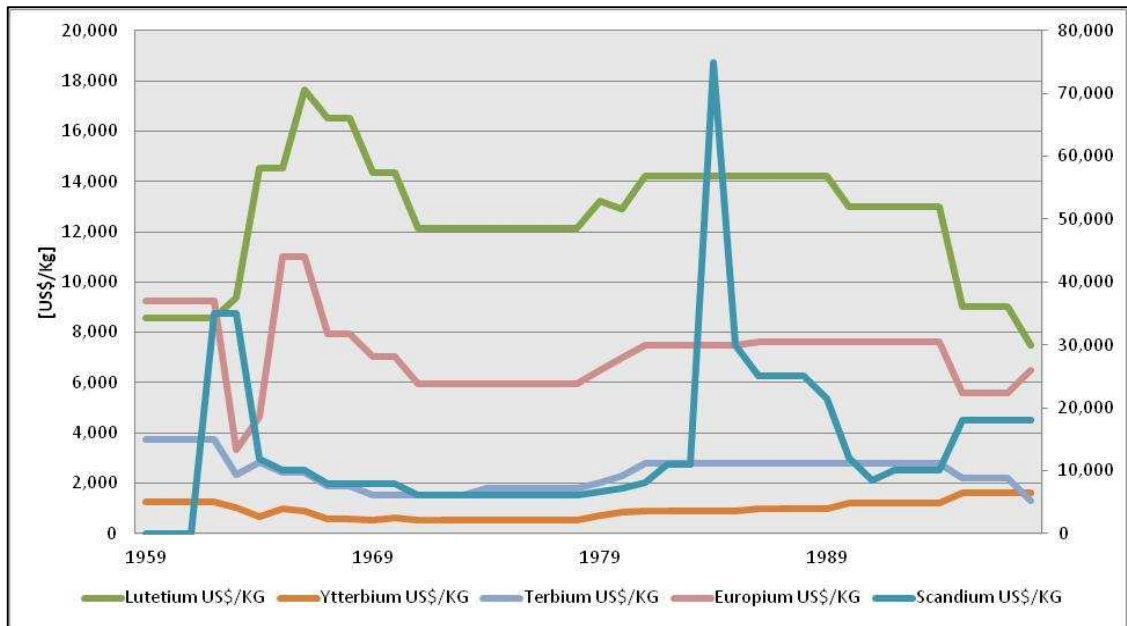
Es relevante indicar que los elementos de Tierras Raras, al no transarse en la bolsa, presentan precios permanentes de mediano plazo, los cuales son determinados directamente entre los productores y los compradores. En estos acuerdos, se determinan las cuotas anuales de suministro y se establece un precio que rige para todo el periodo de tiempo que dura el acuerdo. Una vez cumplido el plazo acordado, se vuelven a negociar las condiciones asociadas a esta nueva temporalidad. No es extraño que un precio se mantenga inalterable por ocho años (ver ilustraciones 43 y 44).

Ilustración 43: Tendencia de Precios de óxidos de elementos de Tierras Raras livianas.



Fuente: Elaboración Propia, Datos: US Geological Survey, Rare Earth Metals.

Ilustración 44: Tendencia de Precios de óxidos de elementos de Tierras Raras Pesadas.

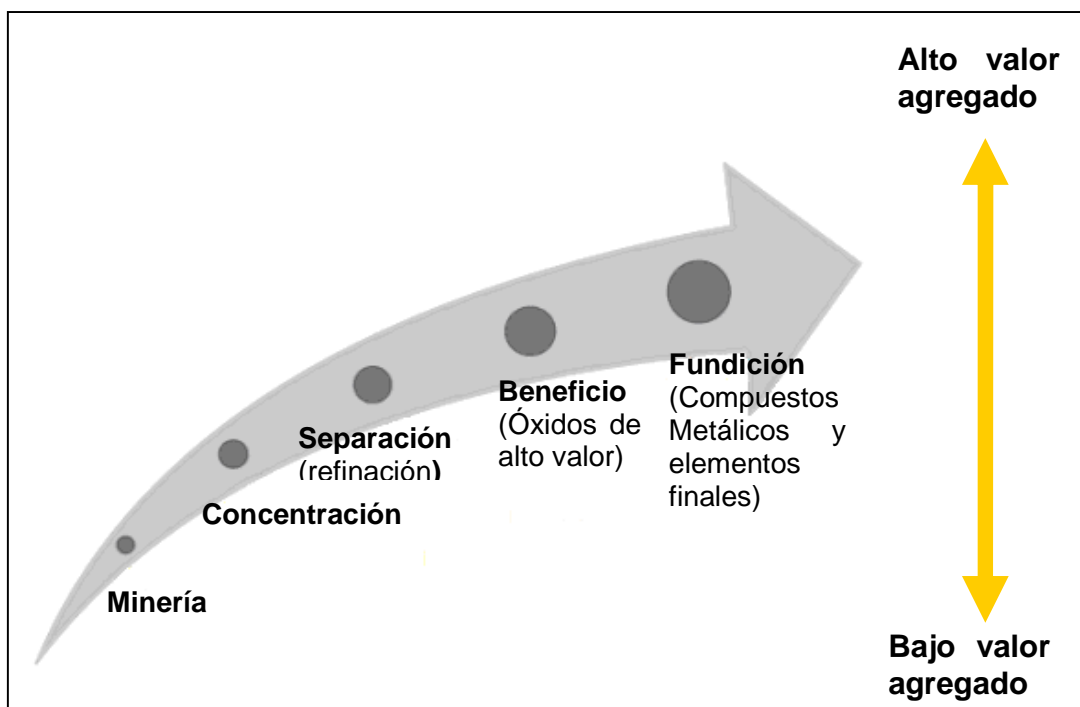


Fuente: Elaboración Propia, Datos: US Geological Survey, Rare Earth Metals.

4.2. Cadena del Valor y Asociatividad en la Producción de Tierras Raras

La empresa consultora estadounidense de clase mundial, Ernst and Young define, de manera general, la Cadena del Valor Agregado para la producción de Tierras Raras a los cinco pasos mostrados en la ilustración 45.

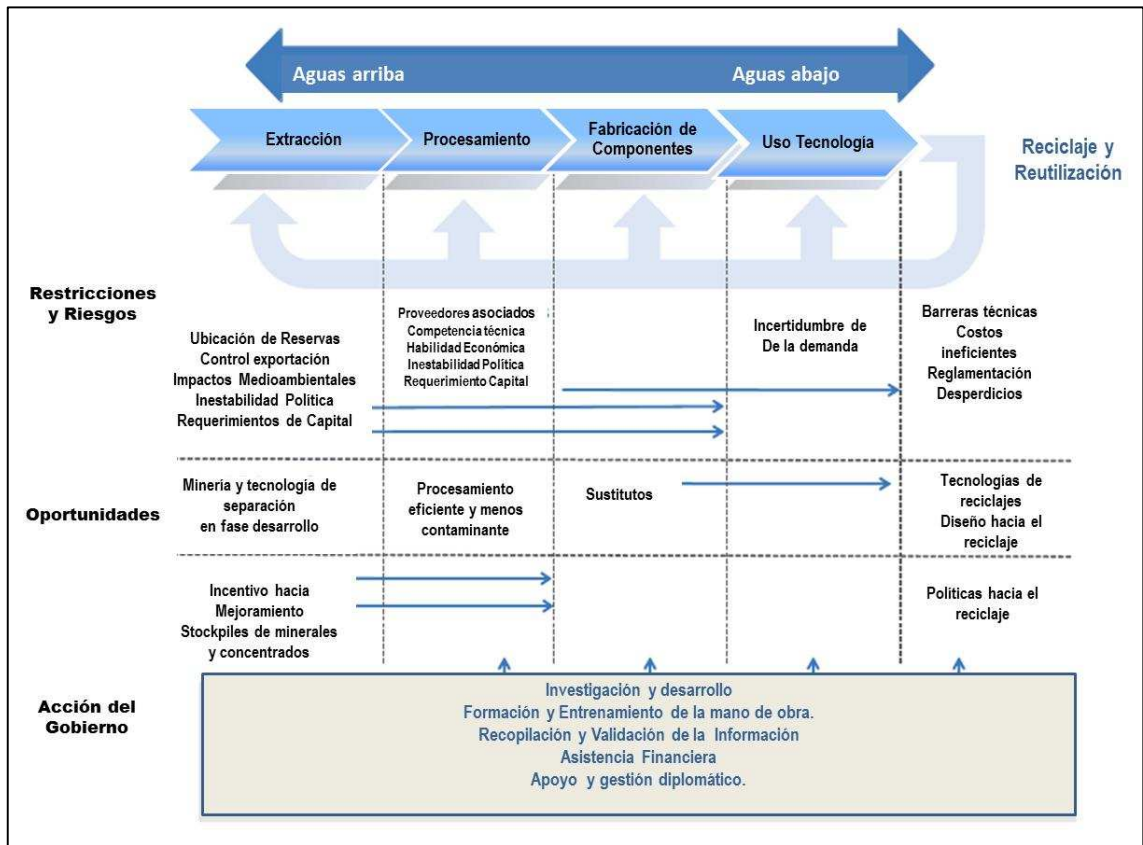
Ilustración 45: Cadena del Valor para el negocio de las Tierras Raras.



Fuente: Ernst&Young. 2011. Technology minerals: the rare earths race on!.

De similar manera, pero con una visión más global e integrada el Departamento de Energía del Gobierno de Estados Unidos, propone la Cadena de Valor para la industria de las Tierras Raras como se muestra en la ilustración 46, donde se incluyen las interacciones, el reciclaje, oportunidades, restricciones, riesgos y los incentivos o aportes del estado.

Ilustración 46: Cadena del Valor según el gobierno de Estados Unidos para el negocio de las Tierras Raras.



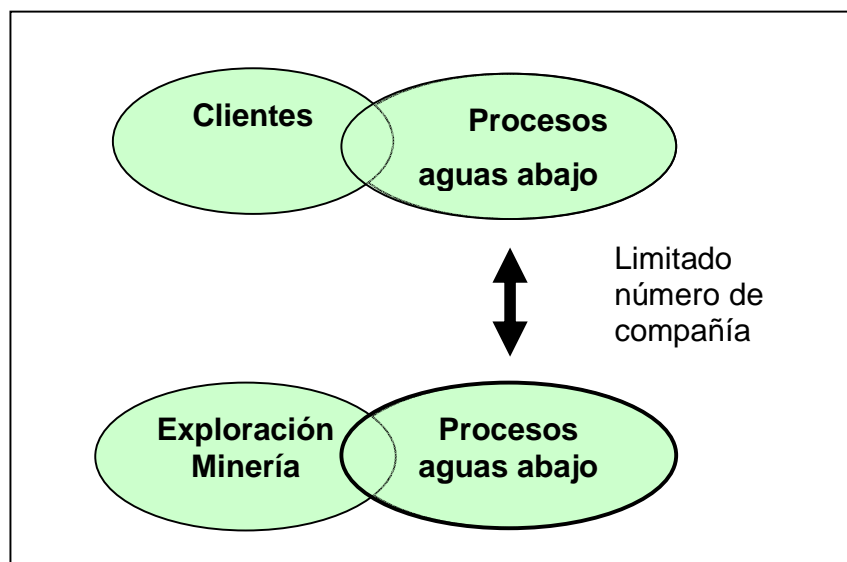
Fuente: United States Department of Energy. 2010. Critical Materials Strategy.

El desarrollo de un proyecto para producción de Tierras Raras está sujeto a una serie de restricciones, entre ellas; el tamaño de la inversión de capital, al riesgo asociado aguas abajo de la cadena del valor, la incertidumbre en torno a la demanda y el estado de avance de los proyectos de la competencia.

Los emprendedores que desarrollen proyectos de pequeña escala necesitarán ajustar su estrategia para sobrevivir y adaptarse a la cadena del valor del negocio, de acuerdo a los volúmenes de crecimiento del mercado.

Nuevamente, la consultora Ernst and Young indica que el acceso y control del negocio pasa por la limitada cantidad de participantes en las etapas, aguas abajo, en los procesos de separación de cada uno de los elementos, etapa en la cual se requiere un alto *Know How* (ver ilustración 47).

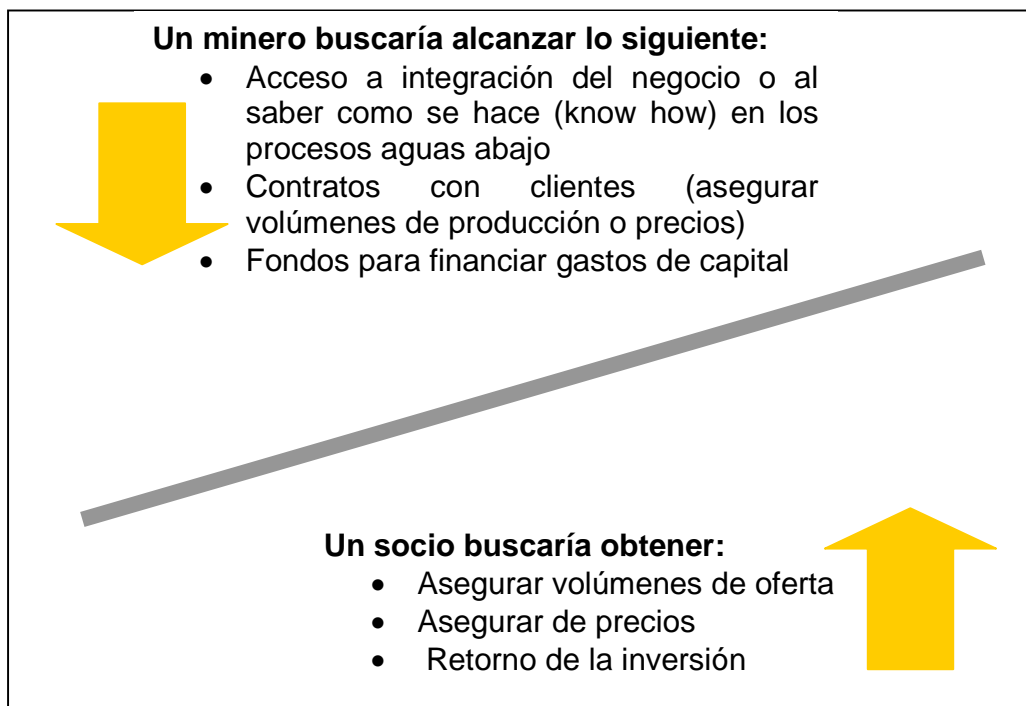
Ilustración 47: Modelo de asociación de la industria de las Tierras Raras.



Fuente: Ernst&Young. 2011. Technology minerals: the rare earths race on!.

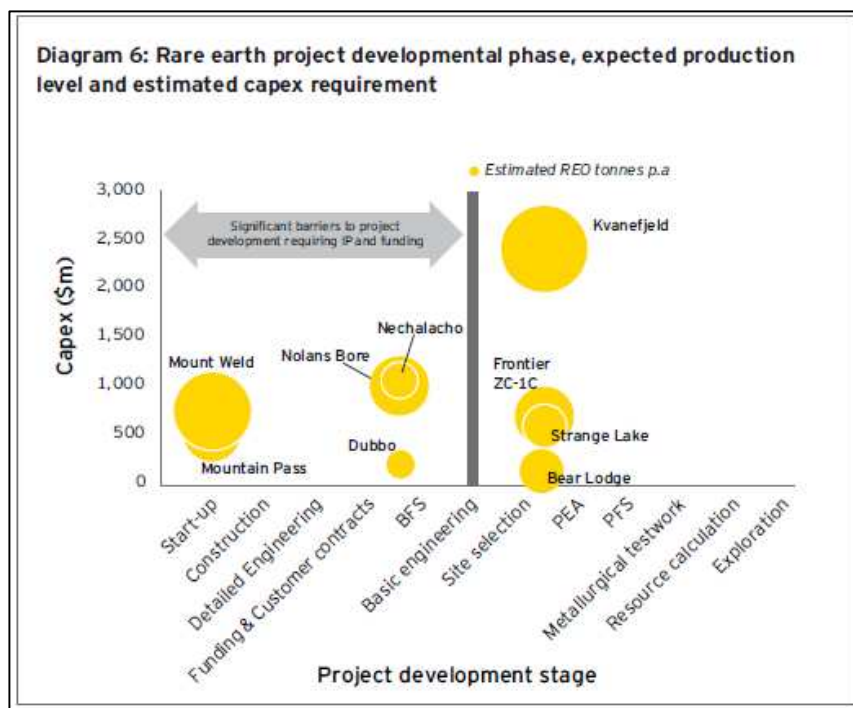
Las empresas mineras pequeñas, sólo producen concentrados de Óxidos de Tierras Raras. Luego este es vendido a un tercero, que cuenta con las instalaciones de separación. Por otro lado, tanto los proyectos de exploración y proyectos mineros, a lo más llegan a construir su planta piloto, pero deben vender el proyecto a actores del mercado con mayores recursos y que cuenten con plantas de separación.

Ilustración 48: Modelo de visión para los actores del negocio de las Tierras Raras.



Fuente: Ernst&Young. 2011. Technology minerals: the rare earths race on!.

Ilustración 49: Gastos de Capital (Capex) para los proyectos mineros de Tierras Raras.



Fuente: Ernst&Young, 2011. Technology minerals: the rare earths race on!.

Al respecto de las industrias Chinas, como no participan en bolsas de valores, sus movimientos son difíciles de ser monitoreados. Sin embargo, para comprender cómo el mercado busca integrarse verticalmente, podemos revisar los negocios que realizan las empresas de mayor participación en el mercado fuera de China, como Mollicorp Inc y Lynas Corporation (ver tablas 8, 9, 10).

Tabla 8: Asociación entre actores del mercado de las Tierras Raras por asociaciones de capital.

Ítem	Comprador/país	Fecha	Comentarios
Santoku América	Molycorp/US	Abr-11	La adquisición de Santoku America Inc. ofrece a Molycorp Inc. con la capacidad para iniciar la fabricación y venta de aleaciones de Tierras Raras para la producción de imanes de Boro/Neodimio/Hierro (NdFeB) y Cobalto/Samarium (SmCo)
AS SILMET	Molycorp/US	Abr-11	La adquisición de AS Silmet ofrece a Molycorp Inc. sus primeras instalaciones de elaboración europeas de Tierras Raras, duplicando su capacidad anual de producción de óxidos.
Molycorp	Hitachi Metals Ltda/Japón	Dic-10	Join Venture JV para la fabricación de aleaciones de Tierras Raras e imanes
Molycorp	Sumitomo Corporation/Japón	Dic-10	Sumitomo para la compra de cien millones de acciones y proporcionar financiamiento de treinta millones de dólares de deuda, a cambio de un contrato de suministro por siete años.
Lynas	China Nonferrous Metal Mining (group) Co. Ltda (CNMC)/China	May-09	CNMC adquiere 51,7% de participación en la Lynas (MUS\$ 184).

Fuente: Ernst&Young. 2011. Technology minerals: the rare earths race on !.

Tabla 9: Contratos de suministros en el mercado de las Tierras Raras

Ítem	Comprador/país	Fecha	Comentarios
Lynas	Sojitz Corp (JOGMEC)/Japón	Mar-11	Contrato por diez años de distribución conjunta y mercadeo por 8500 ton y recaudación de fondos por MUS\$250.
Lynas	Siete partes sin revelar	desde el 2007	Contratos de largo aliento o cartas de intención
Molycorp	W.R. Grace & Co./US	Nov-10	Contrato de suministro por cinco años de Lantano más opción para Grace de extender hasta el 2018.
Molycorp	Varios acuerdos con compañías químicas y energéticas de la Unión Europea , compañías industriales, electrónicas y químicas de Japón y europeas		Diecinueve cartas de intento de acuerdo que representan el 138% del volumen de producción del 2013.

Fuente: Ernst&Young. 2011. Technology minerals: the rare earths race on!.

Tabla 10: Cooperación entre actores del mercado de las Tierras Raras.

Ítem	Comprador/país	Fecha	Comentarios
Lynas	Rhodia S.A./France	Ene-09	Acuerdo de cooperación técnica y contrato de suministro por 10 años
Molycorp	Neo Materials Technologies inc/USA	Ago-10	Carta de intento de cooperación en la cadena de suministro "Mine to Magnets" incluyendo acuerdo de transferencia tecnológica y asistencia técnica, y también, potencial acuerdo de suministro, cooperación de mercadeo y acuerdos de distribución.

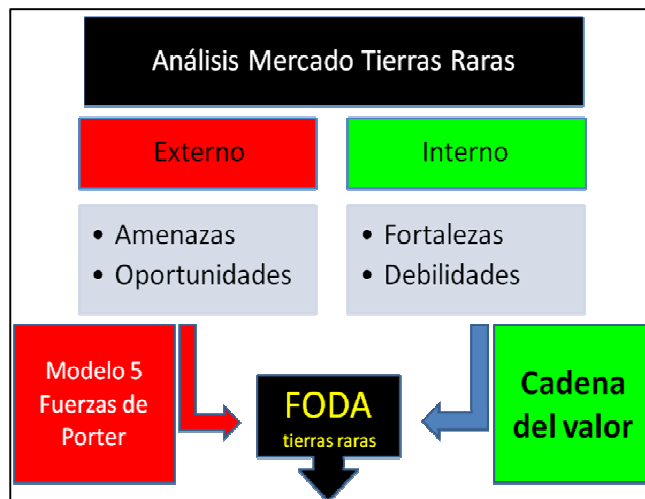
Fuente: Ernst&Young. 2011. Technology minerals: the rare earths race on!.

Western Minerals anunció el 31 de enero de 2011 una carta de intención para suministrar aleaciones de Tierras Raras a Estados Unidos. Asimismo, Electron Energy Corporation, en el 2009, anunció una carta de intención con Toyota Tsusho Corporation, que expiró el 1° de abril de 2010¹⁰².

4.3. Análisis del Mercado de las Tierras Raras, mediante el Modelo de las Cinco Fuerzas de Porter

Porter planteó un modelo para analizar la competencia¹⁰³, basado en el supuesto de que los participantes compiten entre sí para apropiarse de la mayor porción que sea posible de los beneficios extraordinarios de un sector. El análisis se efectúa desde el punto de vista de las oportunidades de negocios para Chile (ver ilustración 50).

Ilustración 50: Modelo de Análisis del Mercado de las Tierras Raras.

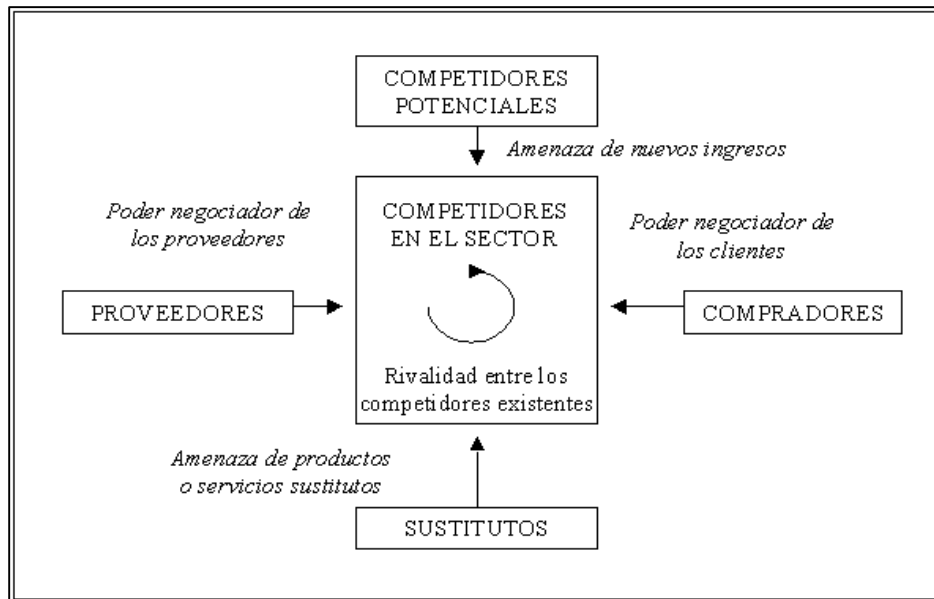


Fuente: Frances, A. 2006. Estrategia y Planes para la Empresa con el Cuadro de Mando Integral

¹⁰² Ernst&Young. 2011. Technology minerals: the rare earths race on!.

¹⁰³ Porter, Michael. 1980. Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors. Nueva York, The Free Press.

Ilustración 51: Diagrama Representativo del Modelo de Análisis para las Cinco Fuerzas de Porter.



Fuente: Frances, A. 2006. Estrategia y Planes para la Empresa con el Cuadro de Mando Integral

4.3.1. Análisis de Porter: Nuevos Participantes

Tabla 11: Análisis de las Cinco Fuerzas de Porter: Nuevos Participantes.

Amenazas	Oportunidades
<p>Existencia Probada de minerales de Tierras Raras en distintos países del mundo.</p> <p>Desconocimiento del negocio.</p> <p>Políticas gubernamentales de incentivos tradicionalistas (Cobre, Oro, Plata).</p> <p>La implementación minera es de uso intensivo de capital.</p> <p>El desarrollo de un proyecto minero toma al menos diez años hasta su implementación.</p> <p>Los procesos de separación química y metalúrgica de las Tierras Raras no son de libre disponibilidad.</p> <p>La legislación ambiental obliga a tomar medidas que impactan en la inversión.</p> <p>En muchos casos, las Tierras Raras están asociadas a minerales radioactivos, lo cual genera la reticencia de las comunidades (ejemplo: La planta de Lynas en Malasia).</p>	<p>Organismos de investigación del Estado han medido concentración de Tierras Raras en sectores de la Tercera y Cuarta Región de Chile.</p> <p>En la Tercera y Cuarta Región, se presentan mineralizaciones que corresponden a modelos geológicos denominados IOCG¹⁰⁴. Estos yacimientos de Cobre y Hierro, contienen Tierras Raras.</p> <p>La existencia de mecanismos financieros, recientemente creados, ligados a las Tierras Raras, tales como, los Fondos de Transacción Bursátil (<i>Exchange Traded Funds ETF</i>) y el Índice Global de Tierras Raras STOOXX, creado por USB (<i>Union Bank Switzerland</i>).</p> <p>Realización de Joint Venture para integración vertical del negocio.</p>

Fuente: Elaboración Propia

¹⁰⁴ Haynes, D. 2006. The Olympic Dam ore deposit discovery – A personal view. SEG Newsletter N° 66.

4.3.2. Análisis de Porter: Intensidad de la Rivalidad en la Industria

Tabla 12: Análisis de las Cinco Fuerzas de Porter: Rivalidad de la Industria.

Amenazas	Oportunidades
<p>A partir de 1985, China es el mayor productor de Tierras Raras del mundo. Ya desde el año 2002, China concentra el 95% del mercado. El año 2009 China alcanzó el 97% del mercado.</p> <p>Existen compañías privadas en Estados Unidos, Australia, Canadá y Sudáfrica, que participan del mercado de las Tierras Raras. En el caso de Brasil, las empresas pertenecen al estado.</p> <p>China posee el saber hacer (<i>know-how</i>) de la industria, que opaca a los países competidores. En especial, en lo que respecta a la separación de Tierras Raras Pesadas.</p> <p>China está buscando el control del mercado comprando participación en las empresas mineras de Tierras Raras que están fuera de su territorio (52% de Lynas, 25% de Arufa Resources).</p>	<p>A partir del año 2010, China controla las cuotas de exportación de Tierras Raras, invocando regulaciones de carácter ambiental y de vigilancia del mercado interno informal.</p> <p>El creciente mercado de las tecnologías limpias, utiliza Tierras Raras. Frente a esto, el gobierno de Estados Unidos y la Comunidad Económica Europea han declarado que las Tierras Raras se encuentran entre los minerales de alto riesgo de suministro.</p> <p>Un rango de aplicaciones del área de Defensa son dependientes de la producción de Tierras Raras¹⁰⁵.</p>

Fuente: Elaboración Propia

¹⁰⁵ United States Government Accountability Office. 2010. Rare Earth Materials in the Defense Supply Chain.

4.3.3. Análisis de Porter: Amenaza de Productos Sustitutos

Tabla 13: Análisis de las Cinco Fuerzas de Porter: Productos Sustitutos.

Amenazas	Oportunidades
<p>Comparado con otros minerales, las Tierras Raras tienen un alto precio.</p> <p>La Disponibilidad del suministro es limitada¹⁰⁶.</p> <p>Desarrollos científicos y tecnológicos para reducir o eliminar el uso de Tierras Raras, han sido anunciados al mercado, Por ejemplo, Hitachi anunció que pondrá en el mercado motores sin Tierras Raras en el año 2014¹⁰⁷).</p> <p>Existen incentivos de gobiernos, como el alemán, para producir componentes con menor contenido de Tierras Raras¹⁰⁸.</p>	<p>Las alternativas de sustitución son escasas¹⁰⁹.</p> <p>Los sistemas que han reemplazado sus componentes de Tierras Raras no logran los mismos resultados, son menos eficientes, tienen mayor tamaño y utilizan una masa mayor del elemento sustituto¹¹⁰.</p> <p>En sistemas de Defensa, las Tierras Raras carecen de sustitutos eficaces^{111 112}.</p>

Fuente: Elaboración Propia

¹⁰⁶ European Commission Enterprise and Industry, 2010. Critical Raw Materials for the European Union. p6.

¹⁰⁷ Agence France-Presse. 11 abril 2012. Hitachi Unveils Motor without Rare Earths.

¹⁰⁸ European Commission Enterprise and Industry, 2010. Critical Raw Materials for the European Union. p6.

¹⁰⁹ Öko-Institut. 2011. Study on Rare Earths and Their Recycling. p104.

¹¹⁰ IBID.

¹¹¹ US Magnetic Materials Association. 2011. Rare Earth myh-fact paper. p7.

¹¹² US Congressional Research Service. 2012. Rare Earth Elements in National Defense. p15.

4.3.4. Análisis de Porter: Poder de Negociación de los Proveedores

Tabla 14: Análisis de las Cinco Fuerzas de Porter: Negociación de Proveedores.

Amenazas	Oportunidades
<p>Los proveedores de insumos metalúrgicos especializados para Tierras Raras, están concentrados en China.</p> <p>Desconocimiento de insumos sustitutos.</p> <p>Los equipos y repuestos requieren elementos de alto valor, tales como, revestimientos vidriados y metales de alta nobleza como el Tantalio.</p> <p>La ingeniería del proceso es confidencial.</p> <p>El abastecimiento de agua y energía no está asegurado.</p>	<p>Fronteras abiertas para la importación de todo tipo de elementos.</p> <p>La tendencia de la industria de las Tierras Raras ha sido integrarse verticalmente.¹¹³</p>

Fuente: Elaboración Propia

¹¹³ Ernst&Young. 2011. Technology Minerals: The Rare Earths Race On!. p19.

4.3.5. Análisis de Porter: Poder de Negociación de los Compradores

Tabla 15: Análisis de las Cinco Fuerzas de Porter: Negociación de Compradores.

Amenazas	Oportunidades
<p>El monopolio Chino ha demostrado su fuerza al imponer cuotas de exportación y aplicar un alza en aranceles para las Tierras Raras.</p> <p>Para los niveles de la cadena de valor: Mineral, Concentrado y Óxidos de Tierras Raras, los compradores se encuentran agrupados en unos pocos, debido a la alta especialización del rubro.</p> <p>Los acuerdos de compra y venta se fijan entre el productor y el comprador con acuerdos a años plazo.</p> <p>La mayoría de los elementos de las Tierras Raras, no se transan en el mercado (no son <i>commodities</i>).</p> <p>Para desarrollar proyectos de Tierras Raras, es necesario contar con los acuerdos de compra para hacer el proyecto viable.</p>	<p>Aumento de la disponibilidad de productos de Tierras Raras.</p> <p>Los productos finales de Tierras Raras, están ampliamente distribuidos.</p> <p>Ya en el año 2011, dado los volúmenes de ventas, el Neodimio ha comenzado a ser transado en la bolsa de Shanghai.</p>

Fuente: Elaboración Propia

4.4. Análisis Interno

Tabla 16: Análisis del mercado respecto de Compañías Chilenas que quieran entrar en el negocio de Tierras Raras.

Fortalezas	Debilidades
<p>Desde el punto de vista de producción, se cuenta con la experiencia de la minería del Cobre, Oro, Plata, No Metálicos y explosivos.</p> <p>Se cuenta con legislación y organismos técnicos de control.</p> <p>Se cuenta con una estructura financiera sólida y experimentada en el tema minero.</p> <p>Desde el punto de vista tecnológico, se cuenta con soporte técnico, recurso humano especializado, empresas de ingeniería de nivel mundial.</p> <p>Fronteras abiertas para la importación de equipos, insumos mineros y reactivos.</p> <p>Existe calidad en el recurso humano especializado en geología, minería, metalurgia, plantas químicas y servicios.</p> <p>Desde el punto de vista de innovación, se cuenta con universidades, institutos y servicios locales e internacionales.</p> <p>Se cuenta con redes viales, ferrocarriles, aéreas y portuarias que dan abastecimiento a la industria minera.</p> <p>Se cuenta con experiencia de mercadeo a nivel internacional, como país exportador.</p> <p>Se cuenta con la experiencia de servicios de postventa en minería</p>	<p>Judicialización de los temas ambientales.</p> <p>Reticencia de las comunidades a aceptar riesgos ambientales.</p> <p>Desconocimiento de la existencia de Tierras Raras en el país.</p> <p>No se cuenta con el saber hacer (<i>know-how</i>) especializado en Tierras Raras, desde los análisis químicos hasta la concentración y separación de los Óxidos.</p> <p>Debido a la cantidad de proyectos mineros, la cantidad de profesionales y técnicos especializados se ha tornado escasa.</p> <p>Desde el punto de vista del mercadeo, no se tiene la experiencia de comercialización de Tierras Raras.</p>

Fuente: Elaboración Propia

4.4. Propuesta de Estrategia para la Incorporación de Chile al Mercado Mundial de Tierras Raras.

Para orientarse en la estrategia a seguir, se cruza la información generada en el análisis de las cinco fuerzas de Porter y el análisis interno, generando cuadrantes con cuatro distintas respuestas estratégicas (ver tabla 17).

Tabla 17: Respuestas estratégicas

	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
	Estrategia Ofensiva	Estrategia Reactivas
FORTALEZAS	<ul style="list-style-type: none"> • Ofrecer productos similares. • Buscar mercados no atendidos. • Poner plantas cerca de los mercados. • Adquirir control accionario. • Control sobre canales de distribución. • Robos de talentos. • Registros de marca. • Diseminación de rumores negativos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuertes campañas publicitarias. • Incrementar el volumen de operaciones. • Fortalecimiento de la estructura financiera. • Patentes, investigación. • Fusiones o adquisiciones.
	Estrategia Adaptivas-Cooperativas	Estrategia Defensivas
DEBILIDADES	<ul style="list-style-type: none"> • Arrendar marcas • Aprovechar redes de distribución • Fabricar por encargo • Convenios de largo plazo para los insumos • Complementación de capacidades con otras empresas • Fijación de estándares de fabricación • Cooperación en investigación • Convenios de cooperación • Otorgar marcas o convenios de explotación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de precios • Gasto en publicidad • Mejora de calidad • Innovación continua de productos • Cambio de segmento • Devolución del golpe • Control de los canales de distribución. • Relaciones tecnológicas y/o financieras • Diversificación de la oferta • Abandonar el negocio

Fuente: Elaboración Propia, en base a lo propuesto por FRANCES, A. 2006.

Estrategia y Planes para la Empresa con el Cuadro de Mando Integral.

Tabla 18: Respuestas estratégicas: Análisis de Desafíos y Brechas para la entrada de Chile al mercado de las Tierras Raras

	Oportunidades	Amenazas
F O R T A L E Z A S	<ul style="list-style-type: none"> • En Chile se presentan zonas de mineralización de Tierras Raras asociados al modelo geológico IOCG y Hierro. • Chile cuenta con experiencia en comercio internacional de metales. • El País es una economía abierta a la importación de elementos, con proveedores de clase mundial. • Recursos humanos especializados en Minería. Chile cuenta con instituciones y universidades que permiten innovación y transferencia tecnológica. • La demanda de Tierras Raras está creciendo en el mundo. • Chile cuenta con infraestructura: puertos, caminos, accesos, aeropuertos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Chile cuenta con buenas relaciones comerciales con China donde se encuentran los principales proveedores de reactivos para el beneficio de Tierras Raras. • Empresas nacionales han adquirido participación accionaria de empresas de Tierras Raras en Estados Unidos • Existencia de muy buenas relaciones con Brasil a nivel universitario, para promoción de investigación y cooperación comercial.
	Oportunidades	Amenazas
D E B I L I D A D E S	<ul style="list-style-type: none"> • Transferencia tecnológica • Importación de conocimiento. • El mercado busca integrarse verticalmente mediante <i>Join Venture</i> y acuerdos comerciales. • El conocimiento de proceso de separación es confidencial. 	<ul style="list-style-type: none"> • China controla el mercado. • Legislación de Medio Ambiente y percepción de las comunidades. • El conocimiento de proceso de separación es confidencial. • Chile no participa de la comercialización de Tierras Raras

Fuente: Elaboración Propia.

Las categorías mostradas en la tabla 18, determinan que Chile, en el mediano plazo (0-5 años), debe abordar una estrategia adaptativa, donde el aprender del mercadeo y de las operaciones son los objetivos a cumplir para superar debilidades. Esta consideración está de acuerdo al análisis presentado por Ernst&Young, donde aparece el monopolio de China en el mercado de las Tierras Raras versus el control que las superpotencias quieren lograr por los suministros de la tecnología de defensa, donde los actores del mercado son relativamente pocos y se conocen. Tal como lo ha mostrado esta tesis, en el mundo existe una serie de fuentes de Tierras Raras que están esperando la oportunidad para ser explotadas. Sin embargo, la barrera de entrada más fuerte es la tecnología de separación, la cual, desde un punto de vista didáctico es comparable con el negocio de la Coca Cola y su fórmula secreta. Como ejemplo concreto de este tipo de estrategia, es la inversión que Molymet Ltda. (empresa de nivel mundial, de capitales chilenos, dedicada al negocio de refinación de Molibdeno y Renio), hace al adquirir en febrero del 2012, el 13% del valor accionario de Molycorp Inc.

Luego de aprender del negocio y comprender como navegar, se puede optar por un cambio de actitud hacia una estrategia defensiva.

Se considera fuera de alcance establecer una estrategia Ofensiva, debido a que las fortalezas son menores frente al fuerte monopolio del mercado. Aunque esto último depende del nivel de riesgo que el inversionista esté dispuesto a asumir.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

De acuerdo a lo indicado en el capítulo III, se encuentran minerales de Cobre y de Hierro que contienen Tierras Raras en Chile.

a) Desde el punto de vista del inversionista

Para un productor nacional de Tierras Raras, se presenta la oportunidad de negocios, de ocupar los descartes mineros como fuentes primarias para la producción y posterior comercialización de concentrados o producción de elementos a partir de plantas separadoras.

Los incentivos que detectamos por medio de nuestro estudio son:

- La escasez de ciertos elementos de Tierras Raras, nombrados en el capítulo II.
- La dependencia de Estados Unidos, Japón y La Unión Europea del suministro Chino de Tierras Raras, los obliga a buscar otras alternativas para asegurar su abastecimiento a partir de minerales provenientes del occidente, esto ha incentivado la exploración de nuevos recursos por medio de *Mining Junior*.
- Para el caso chileno, los descartes mineros, con opción de ser investigados, están ligados a la minería del Cobre, en especial, los minerales que presentan una clara semejanza con el modelo *IOCG*. Los relaves, generados en el proceso de concentración de sulfuros de Cobre, son una eventual fuente para la producción de Tierras Raras siempre y cuando los Elementos de Tierras Raras contenidos sean económicamente factibles (alta ley respecto a otras minas de Tierras Raras).

Los desincentivos que constatamos a través de nuestro estudio son:

- La concentración de la oferta por parte de China cubre el mercado casi en su totalidad (95%), aumentando la incertidumbre para la entrada de nuevos productores de concentrados de Óxidos de Tierras Raras.
- Ya existe un serie de proyectos en desarrollo (riesgo de sobre oferta).
- La partida de un negocio minero toma al menos diez años.
- El precio de las Tierras Raras hace parecer muy atractivo el negocio comparado con el precio del Cobre. Sin embargo, el negocio del Cobre es ciento veinte veces superior a lo generado por las Tierras Raras.
- Los minerales de Tierras Raras pueden contener elementos radioactivos tales como el Torio (controles ambientales, regulaciones estatales, comunidades reticentes).
- La mezcla de minerales de distintas fuentes segrega la ley de Tierras Raras (caso de ENAMI, Tercera Región, Chile).
- Según lo indicado en los capítulos I y III, el comportamiento de los valores de los elementos de las Tierras Raras son menos predecibles que los metales *commodities*.

b) Desde el punto de vista minero

- Al utilizar los relaves, las etapas de extracción y conminución ya están ejecutadas e impactan en un menor costo para la operación.
- Los procesos de Tierras Raras son compatibles con el tratamiento de los relaves del Cobre.

- El proceso para la obtención del concentrado utiliza tecnología abordable por el conocimiento minero metalúrgico de la industria nacional. Sin embargo, tanto el conocimiento mineralógico, la cuantificación y determinación química no son de uso habitual, lo que obliga a importar estos conocimientos.

c) Desde el punto de vista de una planta de separación.

- El control del mercado lo poseen los productores que cuentan con la capacidad tecnológica para separar los elementos de Tierras Raras a partir de concentrados. Esto se explica debido a que las plantas de separación de elementos de Tierras Raras son escasas y la tecnología no es de dominio común.
- El desarrollo tecnológico apunta hacia la generación de energías limpias, las cuales consumen elementos de Tierras Raras Pesadas. Dada la complejidad de su proceso de separación y mayor escasez, incrementan su precio respecto de los elementos livianos de Tierras Raras. China cuenta con un conocimiento más eficiente para la producción de Tierras Raras pesadas respecto de otros países.

d) Desde el punto de vista del reciclaje de Tierras Raras

- El Reciclaje de imanes permanentes parece ser la más prometedora actividad desde un punto de vista técnico, la que podría beneficiarse de la alta tasa de crecimiento del sector y el recambio de la tecnología que los utiliza, en especial discos duros, teléfonos inteligentes y sistemas de audio.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

En el presente estudio se identifican las principales fuentes de Tierras Raras y también sus aplicaciones.

En el caso de Chile, los estudios de Tierras Raras, realizados a través de CORFO, dieron como resultado que en El Laco (II Región) y en las minas Yungay y El Arrayan (III Región), se obtuvieron contenidos de Tierras Raras, que fueron considerados de interés económico. Además, existen estudios de Tierras Raras realizados a los tranques de relaves y depósitos de ripios de las Plantas José Antonio Moreno (Taltal), Osvaldo Martínez (El Salado), Manuel Antonio Matta (Copiapó, Vallenar y Ovalle), donde se determina que el elemento de Tierras Raras más abundante es el Cerio (Ce) seguidos del Lantano (La), Neodimio (Nd) e Itrio (Y), siendo las plantas de El Salado, la que presenta mayor concentración de Tierras Raras.

Chile posee considerable fortaleza para la exploración y explotación de Tierras Raras, sin embargo su gran debilidad consiste en no poseer el know-how respecto a la concentración de minerales con contenido de Tierras Raras. Tampoco el país cuenta con tecnología adecuada para análisis químico de todos estos elementos, por lo que resulta imperioso focalizar el requerimiento para adquirir el conocimiento y desarrollar esta industria que puede ser sustentada a través de las siguientes entidades claves: Estado – Universidad – Empresa – Inversionista.

En cuanto a las principales aplicaciones se tiene: iluminación, computadoras y comunicaciones, catalizadores de fraccionamiento de petróleo (cracking), energía eólica, industria automotriz, imanes de alta potencia, telecomunicaciones, aditivos en vidrios, medios de pulido, almacenamiento de

energía, usos en medicina y usos en la industria de la defensa.

Se logra identificar potenciales mercados para las Tierras Raras a nivel mundial.

A través del análisis elaborado en el capítulo IV, se identifican oportunidades de mercados potenciales.

Se concluye que la preparación de Chile para un negocio a nivel de la concentración a partir de relaves es compatible con la minería del Cobre y con la minería del Hierro y tiene mayores fortalezas frente a la alternativa de reciclaje y concentrar a partir de una mina dedicada solamente a Tierras Raras. Es necesario aminorar las debilidades ligadas al conocimiento de los procesos de planta. El mercado se orientará aprovechando el fuerte desarrollo de Chile en las etapas de exploración y explotación, y a una fuerte alianza con otros países, para la concentración de óxidos de Tierras Raras.

Dado que la escasez de sustitutos del mercado de las Tierras Raras está presente, se establece que cada Óxido de Tierras Raras está directamente relacionado con la demanda de los productores de las aplicaciones y de sus múltiples usos, tales como: baterías, energía eólica, vidrio, cerámica, electrónica, computadores, iluminación, aleaciones metálicas, magnetos, industria automotriz, defensa, telefonía móvil, comunicaciones y medicina. Los mercados objetivos productores que responden a estas necesidades de usos, están concentradas en muy pocos países, EEUU, Japón, Sudeste Asiático y China.

Se revisan las diferentes alternativas de producción de Tierras Raras a partir de minerales con valor económicamente explotable.

A través de los principales productores de Tierras Raras en el mundo se logra determinar que los métodos de explotación de minerales con contenido de Tierras Raras son similares en gran parte a los métodos convencionales con que se explota el cobre en Chile, mediante métodos de explotación a cielo abierto y subterráneo. Sólo en el caso de los yacimientos de Tierras Raras ubicados en placeres marinos el método difiere al convencional del cobre.

Se propone un lineamiento estratégico a seguir para participar del negocio de Tierras Raras.

Esta se caracteriza por corresponder a una estrategia adaptativa en el corto plazo, que va de cero a cinco años y, por una estrategia defensiva en un horizonte mayor a cinco años. En ambos casos, el eje de la estrategia corresponde a la alianza y cooperación de instituciones asociadas en Chile (CCHEN, ENAMI, CORFO, SERNAGEOMIN, Universidades y Centros de Investigación), y en el exterior busca colaboración mediante alianzas estratégicas para la transferencia tecnológica. Se propone crear vínculos de investigación con países como Brasil, EEUU, Australia y Canadá, con el fin de desarrollar competencias técnicas en procesos minero-metalúrgicos para profesionales de la minería nacional.

Comentario Final.

Gracias a una estrategia de cooperación centrada en la investigación y la adquisición de conocimiento en investigación de Tierras Raras, ya sea a través de la explotación de yacimientos mineros, como de la explotación de rípios y relaves, con contenidos comerciales de Tierras Raras, permitirá sustentar la presencia de Chile en este nueva área, debido a que la minería del futuro permitirá extraer los contenidos de minerales presentes en relaves y rípios en nuestro país.

GLOSARIO

absorción de neutrones	Reacción nuclear en la que un neutrón libre colisiona con núcleo atómico sin producir fisión, de suerte que se combin para formar un núcleo más pesado.
absorción de protones o hidrógeno	El hidrógeno es muy soluble en muchos compuestos formados por metales de las tierras raras y metales de transición, en ellas la propiedad de adsorción del hidrógeno permite la formación de una película líquida o gaseosa en la superficie de un cuerpo sólido o líquido.
activos y pasivos ambientales	Los Pasivos Ambientales son los problemas ambientales que un proyecto o actividad existente, en su condición actual, genera frente a terceros por su construcción o por la presencia de los mismos. Su condición de pasivos está relacionada con la pérdida del estado ambiental previo. La valoración de los pasivos ambientales está directamente relacionada con la actividad de la economía y se usan principalmente en el derecho. Por el contrario, los activos son soluciones a los problemas ambientales.
base FOB	Incoterm (término de comercio internacional) donde el vendedor entrega la mercancía sobre el buque. El vendedor contrata el transporte a través de un transitario o un consignatario, pero el coste del transporte lo asume el comprador. <i>Free On Board (named loading port)</i> → 'franco a bordo (puerto de carga convenido)'
Bastnasita	La Bastnasita es un mineral perteneciente a la clase 05 (carbonatos), según la clasificación de Strunz. La Bastnasita forma un subgrupo compuesto por tres variedades de minerales. Predomina la Bastnasita-(Ce), siendo el Cerio la tierra rara más común en este grupo mineral. La Bastnasita fue descrita por vez primera por el químico sueco Wilhelm Hisinger en 1838. Su nombre proviene de la mina Bastnäs cerca de Riddarhyttan, Västermanland, Suecia.

Bauxita	La Bauxita es una roca sedimentaria de origen químico compuesta mayoritariamente por alúmina (Al_2O_3) y, en menor medida, óxido de Hierro y Sílice. Es la principal mena del aluminio utilizada por la industria. Se origina como residuo producido por la meteorización de las rocas ígneas en condiciones geomorfológicas y climáticas favorables.
c/lb	Unidad Monetaria centavo por Unidad de Libra
Capex	CAPital EXpenditures (CAPEX o capex o inversiones en bienes de capital) son inversiones de capital que crean beneficios. Un CAPEX se ejecuta cuando un negocio invierte en la compra de un activo fijo o para añadir valor a un activo existente con una vida útil que se extiende más allá del año imponible. Los CAPEX son utilizados por una compañía para adquirir o mejorar los activos fijos tales como equipamientos, propiedades o edificios industriales. En contabilidad, los CAPEX se incluyen en una cuenta de activos (capitalización) incrementando el valor base del activo (el coste o valor de un activo ajustado por motivos impositivos).
Capitalistas de riesgo	Las entidades de capital riesgo son entidades financieras cuyo objeto principal consiste en la toma de participaciones temporales en el capital de empresas no cotizadas, generalmente no financieras y de naturaleza no inmobiliaria. Las entidades de capital-riesgo pueden tomar participaciones en el capital de empresas cotizadas en las bolsas de valores siempre y cuando tales empresas sean excluidas de la cotización dentro de los doce meses siguientes a la toma de la participación.

Chevron	Chevron Corporation es una empresa petrolera estadounidense constituida en 1911 en California, tras la disolución del trust Standard Oil, bajo el nombre de Standard Oil of California. En un período de más de cuarenta años, John D. Rockefeller llevó la Standard Oil a ser la compañía más grande del mundo por mucho tiempo. Dispone de importantes yacimientos petrolíferos y de gas natural, refinerías de petróleo y buques petroleros. Por su volumen de ventas (27.342 millones de dólares) ocupó en 1983 el undécimo lugar entre las mayores empresas industriales del mundo de economía de mercado. En dicho año obtuvo unos beneficios de 1.590 millones de dólares y empleó a 40.000 trabajadores.
Ciclón	Un separador ciclónico es un equipo cuyo objetivo es retirar partículas del aire, gas o flujo de líquido, sin el uso de un filtro de aire, utilizando un vórtice para la separación. Los efectos de rotación y la gravedad son usados para separar mezclas de sólidos y fluidos. El método también puede separar pequeñas gotas de un líquido de un flujo gaseoso.
Cielo abierto	Se llaman minas a cielo abierto, y también minas a tajo (o rajo) abierto, a las explotaciones mineras que se desarrollan en la superficie del terreno, a diferencia de las subterráneas, que se desarrollan bajo ella. Para la explotación de una mina a cielo abierto, a veces, es necesario excavar, con medios mecánicos o con explosivos, los terrenos que recubren o rodean la formación geológica que forma el yacimiento.
Comisión Europea de Industria y Emprendimiento	Esta cartera se creó en 1967 durante la Comisión Rey con el nombre de «comisario europeo de Asuntos Industriales». En 1995, durante la Comisión Santer se le llamó «comisario europeo de Empresa». Ya en el año 2010, en la Comisión Barroso II adoptó el nombre actual.

- Commodities** El significado tradicional de bienes de consumo se refiere originalmente a materias primas a granel. Se trata de productos cuyo valor viene dado por el derecho del propietario a comerciar con ellos, no por el derecho a usarlos. Un ejemplo de bien de consumo es el trigo ya que, basándose en una calidad mínima estándar, no se hace diferencia entre el trigo producido en una granja o en otra. Otros ejemplos son la electricidad o el petróleo o la banda ancha en Internet; aunque este concepto incluye también productos semielaborados que sirven como base para procesos industriales más complejos.
- Concentración de la oferta** En microeconomía, un oligopolio (del griego oligo=pocos, polio=vendedor) es un mercado dominado por un pequeño número de vendedores o prestadores de servicio (oligopólicos-oligopolistas). Debido a que hay pocos participantes en este tipo de mercado, cada oligopólico está al tanto de las acciones de los otros. Las decisiones de una empresa afectan o causan influencias en las decisiones de las otras. Por medio de su posición ejercen un poder de mercado provocando que los precios sean más altos y la producción sea inferior. Estas empresas mantienen dicho poder colaborando entre ellas evitando así la competencia.
- Concesión** Otorgamiento del derecho de explotación, por un período determinado, de bienes y servicios por parte de una Administración pública o empresa a otra, generalmente privada.
- La concesión tiene por objeto la administración de los bienes públicos mediante el uso, aprovechamiento, explotación de las instalaciones o la construcción de obras y nuevas terminales de cualquier índole sea marítima, terrestre o aérea de los bienes del dominio público
- Conminución** Es una etapa en que mediante aplicación de fuerzas físicas se disminuye el tamaño de las rocas de mineral. Para esto se emplean distintos tipos de equipos, entre los que se encuentran principalmente los de dos tipos: chancadores y molinos.
- Cracking** Cracking o craqueo es la descomposición de una molécula compleja en otras más pequeñas.

Criticidad de los elementos	Término acuñado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, para definir el grado de importancia de los elementos considerados para la producción de tecnologías de energías limpias materiales tales como: turbinas eólicas, vehículos eléctricos, celdas solares y energía limpia. Este análisis se relaciona de acuerdo a la importancia del incremento de la demanda mundial futura de las tierras raras.
Cuerpo mineralizado	Zona del yacimiento que tiene relevancia económica para su explotación.
Cuotas de exportación	Volúmenes de exportación asignados por el Gobierno Chino para el control de la exportación.
Catalizadores de fraccionamiento de petróleo	Elementos que apoyan la catálisis en el refino del petróleo. Es fundamental en la producción de gasolina. Su objetivo es aumentar el número de octano de la nafta pesada obtenida en la destilación atmosférica del crudo. Esto se consigue mediante la transformación de hidrocarburos parafínicos y nafténicos en isoparafínicos y aromáticos. Estas reacciones producen también hidrógeno, un subproducto valioso que se aprovecha en otros procesos de refino.
Depósitos	Concentración estadísticamente anómala de minerales presentes en la corteza terrestre o litosfera.
Diversificada	Empresa que se encuentra en el proceso por el cual oferta nuevos productos y entra en nuevos mercados, por la vía de las adquisiciones corporativas o invirtiendo directamente en nuevos negocios. Existen dos tipos de diversificación dependiendo de si existe algún tipo de relación entre los negocios antiguos y nuevos de la compañía. El motivo por el que las compañías se diversifican es la búsqueda de sinergias o una reducción del riesgo global de la empresa

DOE	El Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) (acrónimo inglés United States Department of the Energy) es el gabinete del gobierno de los Estados Unidos responsable de la política energética y de la seguridad nuclear. En sus artículos se incluyen los programas nacionales de armas nucleares, la producción de reactores nucleares para la Armada de los Estados Unidos, la investigación relacionada con la energía, los intereses en la disposición de los residuos radioactivos y la producción de energía doméstica. El Departamento de Energía patrocina una investigación científica más básica y aplicada que cualquier otra agencia federal estadounidense, la mayoría de esto está financiado por los Laboratorios Nacionales del Departamento de Energía.
Electrólisis	La electrólisis es el proceso que separa los elementos de un compuesto por medio de la electricidad. En ella ocurre la captura de electrones por los cationes en el cátodo (una reducción) y la liberación de electrones por los aniones en el ánodo (una oxidación).
Fergusonita	Serie de tres minerales con el mismo nombre, que al ser niobiatos se encuadran en la clase de los minerales sulfatos.[Fue nombrado en honor de Robert Ferguson, colono escocés del siglo XVIII que además de político fue recolector de minerales. En un principio se les consideraba a todos el mismo mineral, pero al avanzar la tecnología se han visto diferencias profundas entre los ejemplares, por lo que se decidió separarlos.
Fluorita	La Fluorita es un mineral del grupo III (halogenuros) según la clasificación de Strunz, formado por la combinación de calcio y flúor, de fórmula CaF_2 . Cristaliza en el sistema cúbico. La fluorita se suele encontrar en España, Rusia, Inglaterra, China, EE. UU., México, Namibia, y Alemania. La mina más grande del mundo se encuentra en México en el estado de San Luis Potosí.

Gadolinita	Gadolinita es el término con el que se designa a dos minerales del grupo de los silicatos, subgrupo Nesosilicatos. De color oscuro, consiste principalmente en silicatos de Cerio, Lantano, Neodimio, Itrio, Hierro y Berilio. Este mineral recibió su nombre en 1800 en honor a Johan Gadolin, mineralogista y químico finés que aisló por primera vez un Óxido de Itrio a partir de este mineral en 1792. La Tierra Rara Gadolinio recibió el nombre de la misma fuente. Sin embargo, a pesar de la semejanza del nombre, la Gadolinita no contiene más que pequeñas trazas de Gadolinio.
Ganga	La ganga es el material que se descarta al extraer la mena de un yacimiento de mineral, por carecer de valor económico o ser demasiado costoso su aprovechamiento. Es posible que un mineral que se considere ganga en un yacimiento sea de interés en otro, o que la mejora en las técnicas extractivas o los usos industriales haga rentable el procesamiento de materiales anteriormente considerados ganga.
Híbrido	Vehículo de propulsión alternativa combinando un motor movido por energía eléctrica proveniente de baterías y un motor de combustión interna. Los modelos más recientes y usados se fundan en patentes del ingeniero Víctor Wouk, llamado el "Padre del coche híbrido". A nivel mundial los modelos híbridos fabricados por Toyota Motor Corporation sobrepasaron la marca histórica de 2 millones de vehículos.
IAMGOLD	Iamgold Corporation es un productor internacional de Oro con base en Toronto. Esta compañía se especializa en la exploración, explotación, desarrollo y producción de recursos del mineral a nivel mundial. Iamgold suma una producción anual de 1 millón de onzas de Oro para Norteamérica, Sudamérica y África.
Índice Global de Tierras Raras STOXX,	STOXX Índice Global se compone actualmente con una representación porcentual de rendimiento de 13 empresas productoras de tierras raras. La de mayor representación con un 19% es la empresa australiana Lynas Corporation Ltda.

Ilmenita	La Ilmenita (FeTiO_3) es un mineral débilmente magnético, de color negro o gris, que se encuentra en las rocas metamórficas y en las rocas básicas ígneas (gabro, diabasa, piroxenita). El nombre deriva de las montañas "Ilme" en Rusia, uno de sus principales yacimientos. La mayoría de la Ilmenita, sin embargo, está recubierta de sedimentos, como por ejemplo, de arena de playa. Contiene el 47,34% de FeO y el 52,66% de TiO_2 , aunque esta proporción es variable por la entrada del óxido férrico, reemplazable por magnesio y manganeso.
IUPAC	Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (International Union of Pure and Applied Chemistry), IUPAC, tiene como miembros a las sociedades nacionales de química. Es la autoridad reconocida en el desarrollo de estándares para denominación de compuestos químicos, mediante su Comité Interdivisional de Nomenclatura y Símbolos (Interdivisional Committee on Nomenclature and Symbols). Es un miembro del Consejo Internacional para la Ciencia (ICSU).
Matriz Si	Un molde de Silicio. Aplicación de uso de las Tierras Raras.
Mendeleev	Dmitri Ivánovich Mendeléyev (8 de febrero de 1834.al 2 de febrero de 1907, San Petersburgo) fue un químico ruso, creador de la Tabla periódica de los elementos.
Modelos geológicos IOCG	Iron-Óxido-Cooper-Gold Ore Deposit. Modelo geológico Hierro-Óxido-Cobre-Oro rico en concentraciones de Fe, U, CU, Au. Tienen trazas de Bi, U y Tierras Raras. Subordinados al Cu, Au en términos económicos. Ejemplos: Olympic Dan, en Australia; La Calendaria, Mantos Blancos, Manto Verde, Punta del Cobra, Chile; Marcona Mine, Pampa de Pongo; Perú.

Monacita	<p>Grupo de cuatro minerales distintos, de la clase 8 de los minerales fosfatos según la clasificación de Strunz. Es, junto a la bastnasita, la principal mena de tierras raras. Aparece normalmente en forma de pequeños cristales aislados de color pardo rojizo. El nombre Monacita proviene del griego μοναζειν (estar solitario), en alusión al aislamiento de sus cristales. Atendiendo a su composición, podemos encontrar hasta cuatro tipos diferentes de Monacita:</p> <p>Monacita-(Ce), de fórmula: $CePO_4$ Monacita-(La), de fórmula: $LaPO_4$ Monacita-(Nd), de fórmula: $NdPO_4$ Monacita-(Sm), de fórmula: $SmPO_4$</p>
MW	<p>El megavatio es una unidad de potencia en el Sistema Internacional equivalente a un millón de vatios, léase $1 \text{ MW} = 1.000.000 \text{ W}$ Se emplea para medir potencias muy grandes, donde las cifras del orden de los cientos de miles no resultan significativas. Como es múltiplo del vatio adquiere en forma lineal sus equivalencias.</p>
Batería Níquel-Hidruro	<p>Batería de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) es un tipo de batería recargable que utiliza un ánodo de Hidróxido de Níquel ($Ni(OH)_2$), como la batería de Níquel Cadmio, pero su cátodo es de una aleación de Hidruro Metálico. Esto permite eliminar el Cadmio, que es muy caro y, además, representa un peligro para el medio ambiente. Asimismo, posee una mayor capacidad de carga (entre dos y tres veces más que la de una pila de NiCd del mismo tamaño y peso) y un menor efecto memoria.</p>
Oferta inelástica	<p>La elasticidad precio de la oferta (EPO o Es) es una medida utilizada en economía para mostrar la respuesta, o elasticidad, de la cantidad ofrecida de un bien o servicio ante cambios en su precio o si no lo deja en 0. Cuando el coeficiente es menor que uno, la oferta del bien puede describirse como inelástica. Cuando el coeficiente es mayor que uno, la oferta puede describirse como elástica.</p>

OKO INSTITUTE	Instituto de Aplicaciones Ecológicas en una institución ambientalista, sin fines de lucro que realiza investigaciones. Su oficina central se encuentra en Bresgau, Alemania. Ha realizado anualmente alrededor de 100 proyectos relacionados con políticas, mercados e instituciones ambientales de carácter nacional e internacional.
PPM	Partes por millón (ppm) es la unidad de medida con la que se evalúa la concentración. Se refiere a la cantidad de unidades de la sustancia (agente, etc) que hay por cada millón de unidades del conjunto.
Procesos aguas abajo	Con relación a una sección de un curso de agua, se dice que un punto está aguas abajo, si se sitúa después de la sección considerada, avanzando en el sentido de la corriente. Otra expresión también usada es río abajo. En castellano se utiliza también el término Ayuso para referirse a aguas abajo
Procesos aguas arriba	Opuesto al sentido aguas abajo.
procesos hidrotermales	Proceso geológico en donde sedimentos o rocas sufren los efectos de la circulación de fluidos de agua a altas temperaturas que son químicamente activos.
procesos ígneos	Las rocas ígneas (latín ignis, "fuego") se forman cuando el magma (roca fundida) se enfría y se solidifica. Si el enfriamiento se produce lentamente bajo la superficie se forman rocas con cristales grandes denominadas rocas plutónicas o intrusivas, mientras que si el enfriamiento se produce rápidamente sobre la superficie, por ejemplo, tras una erupción volcánica, se forman rocas con cristales invisibles conocidas como rocas volcánicas o extrusivas. La mayor parte de los 700 tipos de rocas ígneas que se han descrito se han formado bajo la superficie de la corteza terrestre. Ejemplos de rocas ígneas son la Diorita, la Riolita.
profundización vertical	En minería, los pozos se utilizan como labores de acceso desde la superficie en las minas subterráneas situadas por debajo del nivel del fondo del valle. Los pozos pueden ser verticales o inclinados. En este último caso se conocen también como pozos planos, planos inclinados, o simplemente, planos.

prospección	Es la búsqueda de yacimientos mineralógicos en la superficie terrestre.
Quarry	Cantera en inglés. Las canteras son minas a cielo abierto, generalmente de pequeño tamaño, que explotan materiales que no requieren una concentración posterior, sino, como mucho, una trituración o clasificación por tamaños. Los materiales obtenidos en canteras son los áridos, las rocas industriales y las rocas ornamentales.
RE	(Rare Earths) Tierras raras. REO (Óxidos de Tierras raras; REE; Metales o Elementos de Tierras Raras)
Rotopalas	Palas excavadoras
Rutilo	El Rutilo es un mineral del grupo IV (óxidos), según la clasificación de Strunz. Es un óxido de titanio (IV) (TiO ₂), que cristaliza de forma tetragonal distorsionada. Puede ser desde incoloro hasta pardo según la concentración de hierro (III). Se le halla en los yacimientos de zafiro. Los países productores de este mineral son Rusia, India y algunos países de Sudamérica. Además, la Antártida contiene yacimientos.
sedimento	Material sólido acumulado sobre la superficie terrestre (litósfera) derivado de las acciones de fenómenos y procesos que actúan en la atmósfera, en la hidrosfera y en la biosfera (vientos, variaciones de temperatura, precipitaciones meteorológicas, circulación de aguas superficiales o subterráneas, desplazamiento de masas de agua en ambiente marino o lacustre, acciones de agentes químicos, acciones de organismos vivos).
TMR	Technology Metals Research, LLC . Centro de Investigación de Metales tecnológicos de Estados Unidos fundado y dirigido por su principal investifador PHD Gareth P Hatch. Centro especializado en el tema económico de las tierras raras y su difusión a nivel mundial.

USGS

Del inglés: United States Geological Survey, traducido como El Servicio Geológico de Estados Unidos), es una agencia científica del gobierno de los Estados Unidos de América. La agencia tiene 4 disciplinas científicas mayores concernientes a biología, geografía, geología e hidrología.

El USGS controla el Centro Nacional de Información Sísmica (National Earthquake Information Center) en Golden, (Colorado), que se encarga de detectar la localización y magnitud de terremotos alrededor del mundo.

BIBLIOGRAFÍA

- ARTHA RESOURCES. 2012. Artha Resources Corporation [En línea]
<<http://www.artharesources.com>> [Consulta: 3 de Agosto 2012]
- AVALON METALS. 2011. Journey to a Sustainable Future. Corporate Annual Report. [En línea]
<http://avalonraremetals.com/_resources/AVL_CSR_2011.pdf> [Consulta: 14 de Septiembre 2012]
- LEITHEAD, A. Los Minerales Raros podrían cambiar las Relaciones Globales. [En línea] BBC Mundo. En Internet. 11 abril 2012.
<http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2011/07/110729_tierras_raras.shtml> [Consulta: 20 de Agosto 2012]
- BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. 2004. The Economics Importance of Minerals to the United Kingdom.
- BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. 2011. Rare Earth Elements.
- BRUNET S. 2007. Le monde des matières premières, une nouvelle donne _ Les acteurs. EXANE BNP PARIBAS.
- CCHEN – ENAMI. 1995-2003. Investigación de Tierras Raras III y IV Regiones
- CHEN Z. 2011. Global Rare Earth Resources and Scenarios of Future Rare Earth Industry. Journal of Rare Earths, Vol 29. p1.
- COCHILCO. 2011. Consumo de Agua en La Minería del Cobre.
- COCHILCO. 2012. Factores Clave para un Análisis Estratégico de la Minería Recopilación de estudios
- COMISIÓN CALIFICADORA DE COMPETENCIAS Y RESERVAS MINERAS. 2011. Taller de Fondos de Inversión Minera en Chile.
- CORFO. 2011. Normas del Programa de Financiamiento a Fondos de Inversión de Capital de Riesgos-Fondos de Exploración Minera (FENIX). Gerencia de Inversión y Financiamiento. Gobierno de Chile.

- CORFO. 2012. Fondo Fenix <<http://www.corfo.cl/programas-y-concursos/intermediarios-y-consultores/fondo-fenix>>
- DUFFUS, J. 2002. "Heavy metals" a meaningless term? (IUPAC Technical Report)" Pure and Applied Chemistry, , Vol. 74, pp. 793–807
- EI MUNDO. 2012. Temor en Occidente a la restricción china de tierras raras para la alta tecnología
- EMPRESA MINERÍA ACTIVA <<http://www.mineriactiva.com>>
- ERNST&YOUNG. 2011. Technology minerals: the rare earths race on!.
- EUROPEAN COMMISSION ENTERPRISE AND INDUSTRY. 2010. Critical Raw Materials for European Union.
- FORTIN, H. y ALARCON, B. 2007. Geología del Prospecto Cerro Carmen; Mineralización de Uranio y Tierras Raras. Nucleotécnica año 26.
- FRANCES, A. 2006. Estrategia y Planes para la Empresa con el Cuadro de Mando Integral
- GERDAU AZA. 2004. Guía educativa del Reciclaje de Acero
- GOMEZ R. 2007. Flotación de Minerales que contienen elementos de Tierras Raras. Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama.
- GREAT WESTERN MINERALS GROUP. 2012. Corporate Presentation.
- HAYNES, D. 2006. The Olympic Dam ore deposit discovery – A personal view. SEG Newsletter N° 66
- HEDRICK, B. 1997. Rare Earth Metals. US Geological Survey
- HENSTOCK, M. 1996. Recyclin of Non Ferrous Metals. International Council on Metals and the Environment.
- IAMGOLD. 2012. Rare Earth Elements 101
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF VOLCANOLOGY AND CHEMISTRY OF EARTH INTERIOR. 2004. General Geology of El Laco. General Assembly <<http://www.iavcei.org/documents/pucon04/a3.pdf>>

- INSTITUT FÜR SELTENE ERDEN UND METALLE. 2012. De Tierras Raras: La nueva estrella en el cielo de la mercancía. Lo que debe saber acerca de sus Clientes y Consultores
- Long, K. 2010. The Principal Rare Earth Elements Deposit of the United States, US Geological Survey.
- Lynas Corporation. 2012. Annual Report
- Macdougall, J. Hitachi Unveils Motor without Rare Earths. [En línea] Agence France-Presse. En Internet. 11 abril 2012. <<http://www.afp.com>> [Consulta: 2 de Mayo 2012]
- Molycorp. 2010. Rare Earth Company: Annual Report.
- Naranjo, J. Henríquez, F. y Nyström J. Subvolcanic contact metasomatism at El Laco Volcanic Complex, Central Andes. Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile.
- NATIONAL GEOGRAPHIC. 2011. Rare Earths, The Secret Ingredients of Everything.
- NICOLETOPOULOS V., 2012. Critical & Essential Materials. Brussels.
- OKO INSTITUTE. 2011. Study on Rare Earths and Their Recycling. Final Report for the European Parliament.
- ORREGO, P. 2010. Identificación de Prospectos y Propuestas de Recuperación de Uranio y Tierras Raras en Chile. En: Workshop International, Reciclaje y Recuperación de Metales y Minerales, Comisión Chilena de Energía Nuclear
- Porter, Michael. 1980. Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors. Nueva York, The Free Press.
- RARE ELEMENTS RESOURCES. 2011. Corporate Presentation.
- REUTERS. 2010. Recorte Cuotas Tierras Raras, China causa Preocupación Comercial.
- RIVAS, C. 2012. La apuesta minera de los fondos de inversión. Que Pasa Minería. <<http://www.quepasamineria.cl>>

- SPIEGEL.2011. Germany Playing Catch-Up in Scramble for Resources.
- SWISS METAL ASSETS. 2012. Strategic Metals.
www.buyrareearthmetalschinaprices.com
- Technology Metals Research. 2011. Critical Rare Earths.
- The Environmental Cost of Rare Earths. [En línea] CHINADAILY. En Internet.
4 de Abril del 2012.
<http://usa.chinadaily.com.cn/china/2012-04/10/content_15017250.htm>
[Consulta: 20 de Agosto 2012]
- Undurraga, C. CORFO. Fénix Mining Fund Fostering Exploration in Chile.
<<http://www.corfo.cl/fondominero>>
- UNION BANK OF SWITZERLAND (USB) STOXX ETF Global Rare Earth. <
<http://www.ubs.com/cl/es.html>>.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. 2010. Critical Materials
Strategy Summary 2010.
- UNITED STATES GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE. 2010. Rare
Earth Materials in the Defense Supply Chain.
- US CONGRESIONAL RESEARCH SERVICE. 2012. Rare Earth Elements: The
Global Supply Chain.
- US CONGRESSIONAL RESEARCH SERVICE. 2012. Rare Earth Elements in
National Defense.
- US Geological Survey, Rare Earth Metals
- US GEOLOGICAL SURVEY. 2009. Indium Minerals Year Book.
- US GEOLOGICAL SURVEY. 2010. Global Rare Earth Trends
- US GEOLOGICAL SURVEY. 2011. Mineral Commodity Sumaries.
- US GEOLOGICAL SURVEY. 2002. Rare Earth Element Mines, Deposit and
Ocurrences.
- US GEOLOGICAL SURVEY. 2010. Scientific Investigations Report: The
Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States.

- US MAGNETIC MATERIALS ASSOCIATION. 2011. Rare Earth myth-fact paper.
- VMS VENTURES. 2012. First Quarter Condensed Financial Report.
- WEALTH MINERALS. 2012. <http://www.wealthminerals.com/s/Home.asp>
- Xuequan, M. West's rare earth accusations against China unfair [En línea] CHINA Xinhua News. En Internet. 13 de marzo 2012.
<http://news.xinhuanet.com/english/china/2012-03/13/c_122830695.htm>
[Consulta: 20 de Agosto 2012]
- YASUHIRO K. 2011. Deep sea mud in the Pacific Ocean as a Potential resource for rare Earth elements. Nature Geoscience.

ANEXOS

A) Minerales de las Tierras Raras

Los principales minerales de las Tierras Raras son Bastnasita, Didimio, Monacita, Cerita, Xenotimo, Gadolinita y Loparita, todos los cuales existen en proporciones muy pequeñas en rocas y sedimentos. Los Lantánidos se encuentran en muchos minerales, principalmente en la Monacita, que se presenta casi siempre como una arena pesada y oscura de composición variable. La Monacita es en esencia un Ortofosfato de Lantánidos, pero se encuentran con cantidades significativas de Torio, arriba de un 30% en la mayoría de las arenas de este mineral.

La distribución individual de los Lantánidos en los minerales es tal que en general el Lantano, Cerio, Praseodimio y Neodimio constituyen aproximadamente el 90%, estando el resto formado por el Itrio junto con los elementos más pesados. La Monacita y otros minerales que contienen Lantánidos en el estado de oxidación +3, son por lo general pobres en Europio, el que debido a su tendencia relativamente fuerte de dar el estado +2, se concentra con más frecuencia en los minerales del grupo All. En rocas ígneas sobre la superficie de la tierra, el Cerio es el elemento más abundante de ellos.

Ilustración 52: Carbonatita de Mountain Pass con finos granos de Bastnasita.



Fuente: Long, K. 2010. The Principal Rare Earth Elements Deposit of the United States, US Geological Survey.

Ilustración 53: Minerales de Tierras Raras Pesadas en arenas negras, Quartz Beach, Chennai, India.



Fuente: Long, K. 2010. The Principal Rare Earth Elements Deposit of the United States, US Geological Survey.

Ilustración 54: Cristales de Monacita.



Fuente: BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. 2011. Rare Earth Elements

B) Características Químicas de los Elementos de Tierras Raras

Lantano

Elemento químico, símbolo La, con número atómico 57 y peso atómico 138.91. El lantano¹¹⁴, segundo elemento más abundante del grupo de las tierras raras, es un metal. En estado natural, es una mezcla de los isótopos ¹³⁸La y ¹³⁹La. Se encuentra asociado con otras tierras raras en Monacita, Bastnasita y otros minerales. Es uno de los productos radiactivos de la fisión del uranio, el torio o el plutonio. Es el elemento más básico de las tierras raras e ingrediente importante en la manufactura del vidrio. Proporciona un alto índice de refracción al vidrio y se utiliza en la fabricación de lentes de gran calidad.

¹¹⁴ <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/la.htm>

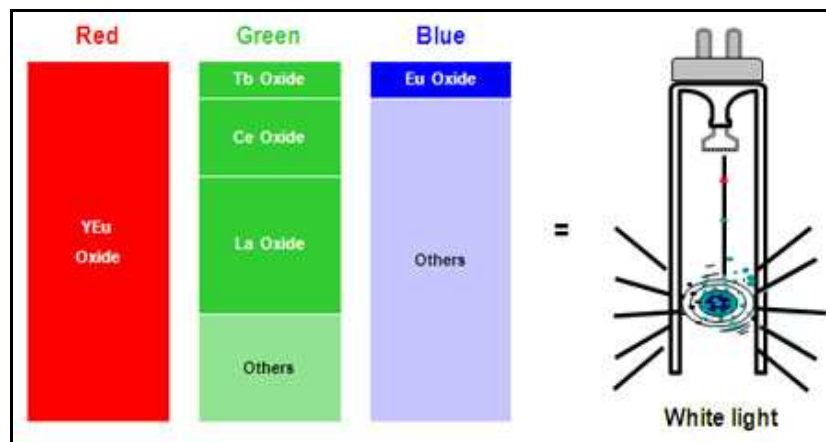
Itrio

Símbolo Y, número atómico 39 y peso atómico 88.906. El isótopo estable ^{89}Y constituye el 100% del elemento natural. Se clasifica como una de los elementos de las Tierras Raras.

El Itrio¹¹⁵ forma la matriz de los fósforos de itrio y europio activados, que emiten una luz brillante y roja clara cuando son excitados por electrones. La industria de la televisión utiliza esos fósforos en la manufactura de pantalla de televisión.

El Itrio se utiliza comercialmente en la industria metálica para aleaciones y como colector para eliminar oxígeno e impurezas no metálicas de otros metales.

Ilustración 55: Uso de elementos de Tierras Raras en usos fosforescentes (Televisores, LED, Laser).



Fuente:OSRAM

http://www.osram.es/osram_es/Informacin_Corporativa/Sociedad_y_Medio_ambiente_-_Global_Care/ Eliminacin_de_residuos/ Metales_de_tierras_raras/index.html

¹¹⁵ <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/y.htm>

Escandio

Elemento químico, símbolo Sc, número atómico 21 y peso atómico 44.956. Es el primer elemento de transición del primer periodo largo de la tabla periódica. Los isótopos del Escandio¹¹⁶ son 40Sc y 51 Sc y uno correspondiente a cada valor intermedio. Excepto 45Sc, presente en la naturaleza, los isótopos se obtienen durante reacciones nucleares.

El óxido y otros compuestos del escandio se emplean como catalizadores en la conversión de ácido acético en acetona, en la manufactura de propanol y en la conversión de ácidos dicarboxílicos en cetonas y compuestos cíclicos. El tratamiento con solución de sulfato de escandio es un medio económico para mejorar la germinación de semillas de muchas especies vegetales.

El escandio-47 tiene una vida media adecuada para su empleo como trazador y se puede preparar sin transportador. La presencia de un 2.5-25% de átomos de escandio en el ánodo incrementa el voltaje, la estabilidad de éste y la vida de las baterías alcalinas de níquel.

El mineral principal del escandio es la thortveitita, que se encuentra en formaciones graníticas (pegmatita) y en algunos minerales de estaño, tungsteno y de las tierras raras.

¹¹⁶ <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/sc.htm>

Cerio

El Cerio¹¹⁷ tiene un color gris de acero brillante, es dúctil, maleable y blando casi como el Plomo, de modo que se puede cortar en láminas por un cortaplumas. Es inestable en el aire seco, pero se cubre de una capa de Oxido en el aire húmedo. Da chispas con el eslabón cuando está aleado con Hierro (piedras de los encendedores). En el Oxígeno, arde entre 150°C y 180°C. Los ácidos diluidos lo atacan con facilidad y aún en el agua es descompuesto poco a poco.

Praseodimio

El Praseodimio¹¹⁸ es un metal amarillento que se empaña fácilmente, soluble en ácidos diluidos. En la naturaleza, sólo existe un isótopo de este elemento, de número másico 141; existen además 14 radioisótopos, de números másicos entre 134 y 148.

Neodimio

El Neodimio¹¹⁹ es un metal amarillento, blando y moldeable, soluble en ácidos diluidos. Es irritante para los ojos y abrasivo para la piel. Se obtiene a partir de sus minerales Monacita, Bastnasita y Alanita, que son craqueados por calentamiento con Acido Sulfúrico.

¹¹⁷ <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/ce.htm>

¹¹⁸ <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/pr.htm>

¹¹⁹ <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/nd.htm>

Ilustración 56: Óxidos de Cerio y Neodimio Embotellados.



Fuente: SWISS METAL ASSETS. 2012. Strategic Metals

Prometio

El Prometio es un metal radioactivo, perteneciente al grupo de los Lantánidos, de color blanco argénteo. Es prácticamente inexistente en la naturaleza debido a la inestabilidad de todos sus isótopos. En la actualidad, se conocen 14 de ellos, de números másicos comprendidos entre 141 y 154. El más estable es el ^{145}Pm . El isótopo 147 se obtiene de los productos de la fusión del Uranio agotado; también se obtiene por reducción del Cloruro o Fluoruro con un metal alcalino.

Samario

El Samario es un metal duro y quebradizo, de dureza similar a la del Hierro y gran capacidad de absorción de neutrones. Se obtiene por reducción del Óxido con Bario y Lantano.

Europio

El Europio es un metal de color gris acerado, bastante blando y maleable. Se oxida rápidamente en el aire y es el más reactivo de los elementos de las Tierras Raras. En forma de polvo puede arder espontáneamente. Se obtiene por reducción del Óxido con Lantano.

Gadolinio

El Gadolinio es un metal brillante que no reacciona con el agua. Soluble en ácidos diluidos. Presenta un alto magnetismo, especialmente, a bajas temperaturas. Se obtiene por reducción del Fluoruro con Calcio, y también por electrólisis, del Cloruro con NaCl o KCl.

Ilustración 57: Óxidos de Europio y Samario Embotellados.



Fuente: SWISS METAL ASSETS. 2012. Strategic Metals

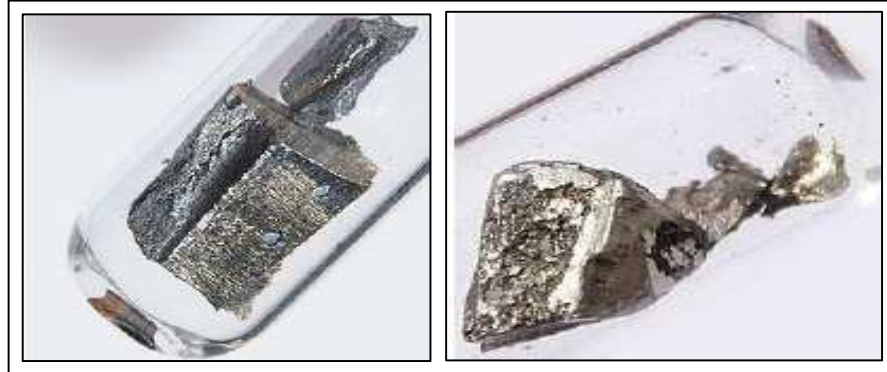
Terbio

Es un elemento de brillo metálico, reacciona con el agua y es soluble en ácidos diluidos. Se separa de los Óxidos de Itrio y de Erblio, mediante resinas intercambiadores de iones, y una vez obtenido el Fluoruro por reducción con Calcio, se obtiene el metal.

Disproso

El Disproso es un metal que se encuentra en la naturaleza acompañando a los demás Lantánidos, entre los que ocupa el séptimo lugar en abundancia. Reacciona lentamente con el agua, se disuelve fácilmente con ácidos diluidos y concentrados. Se obtiene por reducción del Fluoruro con Calcio. Forma un Óxido con el estado de oxidación +4, DyO_4 , que sólo es estable en estado sólido cristalino. Presenta también el estado de oxidación +3 en algunos compuestos como el DyF_3 y Dy_2O_3 .

Ilustración 58: Terbio y Disproso Metálicos Embotellados.



Fuente: SWISS METAL ASSETS. 2012. Strategic Metals

Holmio

El Holmio es un sólido brillante, soluble en ácidos diluidos. Se obtiene por reducción del Fluoruro de Calcio metálico.

Erbio

El Erbio es un sólido blanco, maleable de brillo metálico, soluble en ácidos e insoluble en agua. Presenta baja toxicidad y gran resistencia eléctrica. Se obtiene por reducción del Fluoruro con Calcio; también por electrólisis del Cloruro fundido. A temperatura ambiente no es atacado por el Oxígeno de la atmósfera. Se conocen sus Haluros, Nitrato, Sulfato, Oxalato, Acetato y Óxido, este último de fórmula Er_2O_3 .

Ilustración 59: Erbío Metálico Embotellado.



Fuente: SWISS METAL ASSETS. 2012. Strategic Metals

Tulio

El Tulio es un sólido de brillo metálico, soluble en ácidos diluidos que reacciona lentamente con el agua. El elemento natural consta de un solo isótopo, de número másico 169; por bombardeo de neutrones lentos en un reactor nuclear se consiguen dos isótopos radiactivos, de números másicos 170 y 171. Se obtiene por reducción del Fluoruro con Calcio.

Iterbio

Es un metal completamente maleable, soluble en ácidos diluidos y en Amoníaco líquido. Tiene siete isótopos naturales, algunos de ellos radiactivos. Se obtiene extrayéndolo de mezclas de Tierras Raras.

Lutecio

El Lutecio es un metal blando y dúctil, soluble en ácidos diluidos y que reacciona lentamente con el agua. Se halla en muy pequeñas cantidades en los minerales en donde se encuentran las otras Tierras Raras; su mena más importante es la Monacita. Se conocen dos isótopos estables, el 175 y el 176, y 17 radiactivos, de masas comprendidas entre 167 y 180. Se obtiene por reducción del Fluoruro con Calcio.