



---

# Relación entre Agua, Energía y Cambio Climático: Estudio de alto nivel sobre el impacto económico del cambio climático en la industria minera de Argentina, Chile, Colombia y Perú

---

EcoSecurities Consulting y el Centro de Cambio Global, Universidad Católica de Chile<sup>1</sup>

Confidencial

Versión 4  
Enero, 2010

---

<sup>1</sup> Sebastian Vicuna and Gustavo Lagos

Dublin Oxford Portland New York Los Angeles Mexico City San Jose Santiago Rio de Janeiro Madrid Bern Kiev Casablanca Johannesburg Amman Dubai Karachi Mumbai Tokyo Beijing Bangkok Kuala Lumpur Singapore Jakarta Manila

## Tabla de Contenidos

<b>Resumen Ejecutivo .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Introducción .....</b>	<b>8</b>
1.1 Antecedentes.....	8
1.2 Objetivos .....	8
1.3 Alcance.....	8
1.4 Recopilación y evaluación de datos.....	9
1.5 Confidencialidad de los datos .....	10
1.6 Estructura del informe.....	10
<b>2 La Industria Minera en América del Sur: perfiles de los países incluidos en el estudio .....</b>	<b>11</b>
2.1 Descripción general de la industria minera en América del Sur .....	11
2.2 Industria Minera: Argentina.....	11
2.3 Industria Minera: Chile.....	12
2.4 Industria minera: Colombia .....	12
2.5 Industria Minera: Perú .....	13
<b>3 Los impactos del cambio climático y las opciones para la industria minera .....</b>	<b>14</b>
3.1 Introducción.....	14
3.2 Resultados de Argentina.....	14
3.2.1 Geografía, clima y cuencas .....	14
3.2.2 Regiones Mineras y disponibilidad de agua.....	16
3.2.3 Evaluación de impactos generados por el cambio climático, oferta y demanda hídrica hasta el 2040.....	17
3.2.4 Opciones de Adaptación.....	18
3.3 Resultados de Chile.....	19
3.3.1 Geografía, clima y cuencas .....	19
3.3.2 Regiones mineras y disponibilidad de agua.....	21
3.3.3 Evaluación de impactos generados por el cambio climático, oferta y demanda hídrica hasta el 2040.....	22
3.3.4 Opciones de adaptación .....	24
3.4 Resultados de Colombia.....	25
3.4.1 Geografía, clima y cuencas .....	25
3.4.2 Regiones mineras y disponibilidad hídrica .....	26
3.4.3 Evaluación de impactos generados por el cambio climático, oferta y demanda hídrica hasta el 2040.....	27
3.4.4 Opciones de Adaptación.....	27
3.5 Resultados de Perú .....	28
3.5.1 Geografía, clima y cuencas .....	28
3.5.2 Regiones mineras y disponibilidad de agua.....	29

3.5.3	Evaluación de impactos generados por el cambio climático, oferta y demanda hídrica hasta el 2040.....	30
3.5.4	Opciones de Adaptación.....	32
3.6	Impactos del cambio climático en las actividades mineras desde una perspectiva regional.....	32
<b>4</b>	<b>Opciones de mitigación para la industria minera.....</b>	<b>37</b>
4.1	Energía y Minería.....	37
4.2	Energía y Emisiones GEI.....	37
4.2.1	Emisiones directas.....	38
4.2.2	Emisiones indirectas.....	38
4.3	Actuales opciones para reducir el consumo de energía y las emisiones GEI.....	39
4.3.1	Manipulación de materiales.....	39
4.3.2	Chancado y Molienda.....	40
4.3.3	Fundición.....	41
4.4	Resultados de Argentina.....	42
4.4.1	Mitigación de las emisiones GEI.....	42
4.5	Resultados de Chile.....	45
4.5.1	Mitigación de las emisiones GEI.....	46
4.6	Resultados de Colombia.....	48
4.6.1	Mitigación de las Emisiones GEI.....	49
4.7	Resultados de Perú.....	52
4.7.1	Mitigación de las emisiones GEI.....	53
4.8	Opciones de mitigación del mercado de carbono internacional.....	56
4.8.1	Protocolo de Kyoto y Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM).....	56
	Análisis de las restricciones del mecanismo CDM para la industria minera.....	56
4.8.2	Tipos de proyectos CDM que se superponen a procesos mineros.....	57
4.8.3	Benchmarking Sectorial.....	58
<b>5</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>60</b>
5.1	Opciones de adaptación para la industria minera.....	60
5.2	Opciones de mitigación para la industria minera.....	61
	<b>Anexo 1 Metodología.....</b>	<b>64</b>
A.	Metodología de Adaptación.....	64
B.	Metodología de Mitigación.....	67
	<b>Anexo 2 Resultados de la Recopilación de Datos.....</b>	<b>71</b>
	<b>Anexo 3 Procesos de Explotación.....</b>	<b>72</b>
1.	Extracción.....	72
2.	Molienda y otros procesos del concentrado.....	73
3.	Fundición y Electrorefinado.....	75
4.	Lixiviación, Extracción por Solventes y Electro-winning.....	76
5.	Otros factores que afectan el uso del agua.....	76
	<b>Anexo 4 Descripción General de los Datos del Cuestionario para las Entrevistas.....</b>	<b>79</b>
	<b>Anexo 5 Siglas.....</b>	<b>81</b>

---

**Anexo 6 Referencias ..... 84**

**Anexo 7 Descargo de Responsabilidad ..... 88**

---

## Resumen Ejecutivo

---

### Antecedentes Generales

Posiblemente el cambio climático genere un impacto directo en el sector minero debido a que esta industria utiliza grandes volúmenes de agua. Entre los efectos adversos se podrían incluir las demoras operacionales, la pérdida de utilidades y los mayores costos de producción. Asimismo, la tendencia a explotar minerales de más baja ley requiere del uso de más energía y agua para extraer y procesar los minerales, ambos elementos deficitarios en regiones distantes a consecuencia de los cambios en los patrones de las precipitaciones y los deshielos de los glaciares.

América del Sur se ha convertido en una región cada vez más importante en lo que se refiere al suministro global de materias primas. En base a los posibles impactos adversos generados por el cambio climático en esta región, este estudio constituye el primer paso para comprender los efectos climáticos adversos, específicamente para la industria minera de Argentina, Chile, Colombia y Perú con el fin de poder entenderlos, considerarlos y manejarlos adecuadamente en el tiempo correcto permitiendo a las compañías mineras tomar las medidas necesarias de mitigación y/o adaptación.

### Impactos del cambio climático relacionados con la disponibilidad futura de recursos hídricos en las cuencas hidrológicas

De acuerdo con el estudio realizado, todas las principales cuencas hidrológicas mineras en Argentina, Chile, Colombia y Perú experimentarán un aumento de temperatura en los próximos treinta años. Todas las cuencas hidrológicas en Chile y Colombia sufrirán una reducción en las precipitaciones, mientras que algunas cuencas en Argentina y Perú experimentarán un leve aumento en las precipitaciones. **En todos los países aumentará la escasez de agua antes del 2040 en las cuencas deficitarias, aún si la producción minera y la demanda de agua de esta industria se mantienen constantes durante los próximos 30 años.** Las faenas mineras actualmente ubicadas en cuencas deficitarias estarán sometidas a una presión considerable para reducir el uso de recursos hídricos a medida que las actividades competitivas económicas y sociales también aumentan con el paso del tiempo. El modelamiento climático sugiere que esta situación empeorará después del 2040.

### Opciones de adaptación para la industria minera

Los resultados obtenidos aumentan el impulso de la industria minera por adoptar medidas adaptativas, como por ejemplo, mejorar la eficiencia en el uso del agua y en la desalinización del agua de mar. **En base a las respuestas de las compañías entrevistadas, primero se adoptarán las alternativas de menor costo, como las tecnologías de ahorro y reciclado de agua, seguidas de alternativas más caras como intercambio de agua, transporte de agua de las cuencas cercanas, uso de agua de mar y desalinización; frecuentemente, esta última alternativa es la más costosa.**

La incertidumbre de modelar los costos hídricos en cada cuenca y sus efectos en la competitividad minera en el futuro es alta. Aún utilizando las más avanzadas tecnologías en ahorro de agua, transporte y desalinización en cada faena minera, es probable que la curva de costos para cada una de las industrias mineras consideradas, principalmente las de cobre, oro, zinc, níquel, carbón y hierro, cambie significativamente de un país a otro. Uno de los resultados podría ser la emergencia de regiones con bajos costo de agua donde los futuros inversionistas privilegien las oportunidades de explotación. Por ejemplo, **las opciones de desalinización podrían ser más efectivas en términos de costos para Perú y Chile donde la mayoría de las minas están ubicadas en la franja occidental de la Cordillera de Los Andes a menos de 200 kms del Océano Pacífico.** Otro resultado podría ser que la economía hídrica afecte a la mayoría de estas industrias de tal forma en que los costos más altos se traspasen a los consumidores. En este caso, **la competitividad exportadora de los productos dependerá de la rapidez con la que las compañías mineras se preparan para abordar estos costos.** En una economía donde el aporte de la industria minera al PIB es alto, la manera en la que las compañías abordan los potenciales costos del cambio climático resulta crítica.

***Finalmente es probable que en el futuro se produzca una relación cada vez mayor entre los costos del agua y la energía ya que un porcentaje significativo de la energía se podría utilizar para obtener y manejar los recursos hídricos.*** El uso cada vez mayor de la energía en el manejo del agua puede tener importantes consecuencias para los países considerados en el estudio en lo que respecta al aumento de las emisiones de dióxido de carbono si los combustibles fósiles continúan siendo la alternativa preferida para la generación de energía.

### **Opciones de mitigación para la industria minera**

Para todos los sectores mineros analizados en el estudio, sin considerar la minería del cobre en Colombia, **los ahorros en electricidad obtenidos por la eficiencia de energía representan la mayor oportunidad para reducir las emisiones asociadas a las operaciones mineras.** Un porcentaje importante de estas emisiones se atribuye a las emisiones directas generadas por el consumo de combustibles líquidos, sin embargo, el alto costo de los combustibles, principalmente el diesel, actuará como el principal impulsor para promover la eficiencia de energía en este sector.

Por ejemplo, mientras que la mayoría de las emisiones de la industria minera aurífera en Perú provienen del consumo de electricidad, aún con la fijación de precios para el carbono<sup>2</sup>, es más económico reducir el consumo del diesel debido al alto precio del combustible en Perú y al factor moderado de emisiones del sistema interconectado eléctrico en ese país.

---

<sup>2</sup>El precio del carbono equivale al valor de una tonelada de CO<sub>2</sub> no emitida a la atmósfera. La fijación de precios del carbono puede ser determinada por los tres mercados de reducción de dióxidos de carbono: el Esquema Europeo de Comercio de Emisiones – ETS, el Mecanismo de Desarrollo Limpio / Implementación Conjunta y el mercado de retail.

***La industria del carbón en Colombia es el único sector estudiado en este informe que requiere de créditos de carbono<sup>3</sup> para medir la eficiencia del diesel con respecto a las emisiones directas.*** Los tipos claves de proyectos establecidos en el Mecanismo de Desarrollo Limpio y adecuados para la industria minera incluyen proyectos energéticamente eficientes desde el punto de vista de la demanda, recuperación de calor residual en fundiciones, fuentes renovables para la generación de energía y traspaso y transporte de combustibles fósiles. Sin embargo, debido a limitaciones tales como la demostración de adicionalidad, problemas asociados a la tenencia de créditos y las fugas e integración de procesos, el enfoque basado en proyectos MDL no es adecuado para estas opciones de mitigación.

***En los países que registran un alto factor de emisiones en el sistema interconectado eléctrico (como es el caso del SING en Chile) la eficiencia energética y el consumo de electricidad son particularmente sensibles a los precios del carbono y en consecuencia podrían verse beneficiados del enfoque sectorial orientado a la asignación de créditos de emisiones que incluye diferentes iniciativas para la conservación de energía.***

***El sector cuprífero registra uno de los niveles más altos de ahorro de carbono (kgCO<sub>2</sub>) por tonelada de cobre considerando la alta demanda de electricidad para el procesamiento y electrowinning de mineral.*** Mientras que la demanda de electricidad asociada a la producción de cobre en Chile, Perú y Argentina es similar, la diferencia en el factor de emisiones de carbono del sistema interconectado juega un rol importante para determinar el potencial de ahorro de las emisiones. Asimismo, ***Argentina representa la opción con el menor ahorro de emisiones unitarias en la industria minera del cobre ya que las operaciones son relativamente nuevas y el Factor de Emisiones de Carbono del sistema interconectado se encuentra entre los más bajos.***

---

<sup>3</sup> El financiamiento del carbono explora las implicancias financieras de vivir en un mundo limitado por el carbono donde las emisiones de dióxido de carbono y de otros gases de efecto invernadero (GEI) tienen un precio.

# 1 Introducción

---

## 1.1 Antecedentes

Es probable que el cambio climático tenga un impacto directo en la minería ya que este sector es particularmente sensible a una variabilidad cada vez mayor de las condiciones climáticas. Entre los efectos adversos se incluyen retrasos operacionales, pérdida de ingresos y el incremento en los costos de producción. Asimismo, la tendencia a explotar minerales de menor ley requiere de más energía y agua para extraerlos y procesarlos, ambos recursos deficitarios en las zonas distantes principalmente debido a los cambios en los patrones de precipitaciones y a los deshielos de los glaciares.

Las compañías mineras deberían comprender estos efectos adversos y las mediciones para contrarrestarlos ya que esta industria representa uno de los principales factores que contribuyen al PIB de varios países de América del Sur. De esta forma, es posible que se dispongan de algunas oportunidades para adaptarse y mitigar el cambio climático con el fin de beneficiar a la industria minera; estas medidas deben ser identificadas y evaluadas.

En este contexto, EcoSecurities realizó un estudio de alto nivel de los impactos producidos por el cambio climático y las opciones de adaptación y mitigación para la industria minera en la región de América del Sur, concentrándose en Argentina, Chile, Colombia y Perú. EcoSecurities colaboró con expertos en adaptación del Centro de Cambio Global de la Universidad Católica de Chile quienes se concentraron en las opciones de evaluación y adaptación de los impactos generados por el cambio climático.

## 1.2 Objetivos

El objetivo del proyecto es generar conciencia con respecto a las posibles implicancias económicas del cambio climático en la industria minera, particularmente en los países que han sido incluidos en el estudio: Argentina, Chile, Colombia y Perú. Los objetivos específicos son:

- › Examinar a alto nivel las posibles implicancias del cambio climático, particularmente en las cuencas, e indicar las opciones de medidas de adaptación climática que se podrían tomar.
- › Evaluar las oportunidades de las compañías mineras de capitalizar en mercados internacionales de carbono a través de mecanismos de compensación de gases de efecto invernadero (GEI).

El enfoque del estudio estuvo orientado a entregar a los miembros de la comunidad minera, como asimismo a los gobiernos de cada país, la oportunidad de contribuir a los resultados de manera voluntaria, mediante entrevistas y cuestionarios.

## 1.3 Alcance

En este estudio se evaluaron tres sectores mineros por país. Los principales criterios de selección por sector fueron los siguientes:



- › Sectores que contribuyen en un alto porcentaje del valor total de producción del sector al PIB del país (en base a cifras del 2007).
- › Sectores con un alto consumo de agua y energía.
- › Sectores en los que hay una superposición entre los países para efectos de comparación.

En consecuencia, los sectores de cada país seleccionados para el estudio fueron los siguientes:

- › Argentina: cobre, oro, plata
- › Chile: cobre, oro, hierro
- › Colombia: carbón, níquel
- › Perú: cobre, oro, zinc

En la sección adaptación del estudio se evalúan las cuencas (por país) que actúan como principales fuentes hídricas para las compañías mineras. Los datos aportados por las empresas mineras respaldan, según corresponda, este estudio implícito de escenarios en los que hay un superávit o déficit en las cuentas. La sección de mitigación del estudio evalúa las fuentes de emisiones GEI y las respectivas oportunidades de reducción de emisiones en el mercado de carbono.

#### **1.4 Recopilación y evaluación de datos**

La inclusión de datos de las compañías y ministerios de gobierno en el estudio tiene un doble propósito. El primero es complementar el análisis implícito (para adaptación y mitigación) con una indicación cualitativa de las respuestas de la industria minera a materias claves relacionadas con los impactos del cambio climático y el conocimiento de los posibles costos económicos que podrían originar estos impactos. El segundo es permitir que el estudio sea participativo, invitando a compañías mineras claves y a ministerios de gobierno a aportar a los resultados del mismo.

De acuerdo con lo explicado, el análisis considera tres sectores por país de estudio. El enfoque estuvo orientado en las compañías que registraban el mayor porcentaje de aporte a la producción total del país (en base a cifras del 2007). Al consultar con el cliente, se determinó que si los datos recopilados de las compañías mineras cubrían de manera acumulativa al menos un 50% de la producción total de país (por sector) estos datos serían considerados en la evaluación. Otro criterio para determinar si los datos reunidos deberían ser considerados fue preguntarse si éstos eran representativos del sector minero en un país en particular, p.ej., si los datos obtenidos cubrían un 60% de un sector, pero eran aportados sólo por una compañía, entonces estos datos no necesariamente serían representativos del sector minero.

En el Anexo 4 del informe se explican los principales datos reunidos en los cuestionarios enviados a las compañías mineras y ministerios.

### **1.5 Confidencialidad de los datos**

Los datos reunidos y presentados no están específicamente relacionados con una compañía minera, la mayoría de las compañías entrevistadas estuvieron abiertas a participar en el estudio. En consecuencia, los datos reunidos han sido analizados a nivel de sector en lugar de compañía.

En el Anexo 2 se entregan los resultados de la recopilación de datos para cada país del estudio.

### **1.6 Estructura del informe**

El Capítulo 2 de este informe explica brevemente los sectores de la industria minera de cada país incluido en el estudio. El Capítulo 3 explica en detalle los resultados obtenidos en la evaluación de recursos hídricos (específicamente de las cuencas hidrológicas) de las compañías mineras en cada país e indica cuáles son las regiones más vulnerables a los impactos generados por el cambio climático. Asimismo, se incluyeron las opciones de adaptación para cada país para disminuir estos impactos. El Capítulo 4 analiza las emisiones GEI en la industria minera y las posibles oportunidades ofrecidas por el mercado de carbono a las compañías mineras (en base al actual y futuro marco de referencia). El informe termina haciendo un resumen de las conclusiones claves relacionadas con los impactos del cambio climático en los recursos hídricos para la industria minera y las principales opciones de adaptación y mitigación disponibles para estas compañías en América del Sur.

## 2 La Industria Minera en América del Sur: perfiles de los países incluidos en el estudio

---

### 2.1 Descripción general de la industria minera en América del Sur

América del Sur es una de las regiones mineras más importantes del mundo. Cuenta con un impresionante volumen de recursos y reservas entre los que destacan cobre, plata, níquel, hierro, oro y zinc. Asimismo, esta región ha atraído un flujo de capital extranjero orientado directamente a la exploración y desarrollo de oportunidades de negocios mineros. América del Sur se ubica en el puesto número uno del ranking del mercado mundial de exploraciones mineras con una participación del 21,9%<sup>4</sup>.

Más recientemente, las compañías con operaciones en América Latina gastaron un mayor porcentaje en exploraciones mineras que en cualquier otra región del mundo, registrando un 24% del total mundial que ascendió a US\$ 9.990 millones en el 2007. De hecho, a pesar del flojo desempeño económico observado en Estados Unidos, la continua estrechez mundial de abastecimiento, el aumento en los precios de los commodities y la creciente demanda de la economía china que rápidamente se está industrializando, han fortalecido la industria minera de América Latina en los últimos seis meses. Las exportaciones de esta región a China han observado un crecimiento significativo entre el 2000 y el 2003 con un volumen comercial que ha alcanzado su punto histórico más alto de US\$ 26 mil millones en el 2003 y que aumenta a un ritmo anual de 50,4%<sup>5</sup>. Durante este período, las exportaciones de Argentina han aumentado en un 363% y las de Chile en un 238%<sup>6</sup>.

### 2.2 Industria Minera: Argentina

La minería es una industria creciente en el país donde la región nor-occidental y la provincia de San Juan son las principales zonas en las que se desarrolla esta actividad. Entre los metales extraídos se encuentran cobre, oro, plata, zinc y magnesio, y el carbón en una cantidad moderada.

Las exportaciones de metales aumentaron de US\$ 200 millones en 1996 a US\$ 1.200 millones en el 2004<sup>7</sup> y a más de US\$ 2 mil millones en el 2007<sup>8</sup>. En consecuencia, el comercio minero, específicamente el sector minero no-combustible, ha aumentado sustancialmente con el paso de los años (un indicador de esto es el 6,1% de aumento en las exportaciones de minerales en un solo año – entre el 2000 y el 2001). La mayor parte del valor comercial de los minerales (aproximadamente 90%<sup>9</sup>) proviene de los metales, en el que el concentrado de cobre y las aleaciones de oro y plata representan la mayor parte

---

<sup>4</sup> Revista MESA 40, 2006

<sup>5</sup> China y América Latina: SINO-AMIGOS?

<sup>6</sup> China y América Latina: SINO-AMIGOS?

<sup>7</sup> Inversiones en Argentina: PDF Minería Ministerio de Economía de Argentina (Castellano)

<sup>8</sup> <http://www.indec.mecon.ar/>

<sup>9</sup> <http://www.nationsencyclopedia.com/Americas/Argentina-MINING.html>

del comercio. Los principales socios exportadores de Argentina son Brasil, Chile, EE.UU. y China.

### **2.3 Industria Minera: Chile**

Chile es la capital minera de América Latina y en gran medida es responsable del repunte de la inversión logrando que esta región se convierta en el principal objetivo minero a nivel mundial. La industria minera en Chile es uno de los pilares de la economía del país, donde sólo las exportaciones de cobre aportan más de un tercio de los ingresos del estado. La minería en Chile se encuentra principalmente concentrada en el Norte Grande abarcando la mayor parte del Desierto de Atacama. Además del cobre, se producen otros productos mineros tales como oro, plata, molibdeno, hierro y carbón. Desde fines de la década del 70, la producción de oro y plata ha aumentado considerablemente. Las industrias del plomo, hierro y petróleo se han contraído desde mediados de la década del 70 a consecuencia de las condiciones adversas en los mercados internacionales y a una disminución en la disponibilidad de algunos de estos recursos.

Chile es el principal productor de cobre a nivel mundial donde se encuentran aproximadamente un 30% de los recursos de cobre conocidos de todo el mundo y representa más de un 35% de la producción de cobre mundial. Dentro de la economía chilena, el cobre constituye el 45% del volumen de las exportaciones. La producción de cobre del país representa un 40% de la producción anual mundial donde Codelco se mantiene como uno de los principales productores de cobre del país alcanzando una producción del 74% de cobre en el 2003. Codelco vende un 17% de su cobre a China, seguido por EE.UU., Francia y Corea del Sur que representa el 30% restante. El desempeño económico de Chile mejoró durante el 2004 donde el PIB aumentó en un 4,0% alcanzando los US\$ 72 mil millones y el total de exportaciones aumentó en un 40% alcanzando los US\$ 30,3 mil millones. La minería representó prácticamente el 50% de este total donde las exportaciones de cobre alcanzaron los US\$ 12 mil millones, 40% del total de las exportaciones. Los mercados exportadores de otros productos minerales de Chile se dividen entre Europa, Asia, América del Sur y América del Norte.

### **2.4 Industria minera: Colombia**

La minería comercial en Colombia experimentó una rápida expansión a fines de la década del 80 con el descubrimiento y explotación de grandes reservas de carbón. De hecho, Colombia cuenta con las mayores reservas de carbón en América Latina. Además del carbón, los principales minerales que se pueden explotar en este país son níquel, oro, plata, platino, cobre, manganeso, plomo y mercurio. En el 2002, el cemento, oro, carbón y las esmeraldas se encontraban entre las principales industrias del país y el petróleo y el carbón eran, respectivamente, los primeros y terceros *commodities* exportables.

El carbón, junto con el níquel y el oro, se encuentran entre las principales exportaciones de Colombia. Entre los más importantes socios comerciales del país están EE.UU., la Unión Europea, Japón, los países miembros del Pacto Andino y Venezuela.

## **2.5 Industria Minera: Perú**

Las regiones costeras son ricas en recursos mineros. En el 2006, Perú ocupó una posición de liderazgo en la producción global de cobre (tercer lugar después de Chile y Estados Unidos), oro (quinto lugar después de Sudáfrica, Estados Unidos y China), plomo (cuarto lugar después de China, Australia y Estados Unidos) y zinc (tercer lugar después de China y Australia). En América Latina, y en orden de valor, Perú es el productor número uno de oro, plata, zinc, plomo, estaño y telurio y el segundo productor de cobre y molibdeno (después de Chile).

Desde 1997 y de manera consistente, la industria minera peruana ha sido el principal generador de divisas del país alcanzando alrededor de un 61,8% del total de los ingresos por exportaciones en el 2006. De este porcentaje, aproximadamente un 82% del total de minerales exportados corresponde a cobre, oro y zinc<sup>10</sup>. La demanda del mercado de exportaciones de minerales del Perú es liderada por Estados Unidos, China, Chile, Canadá y Japón. Entre los otros países exportadores están los miembros del Mercado Común Andino (ANCOM) y del Mercado Común del Cono Sur (MERCOSUR).

---

<sup>10</sup> Gurmendi, Alfredo C. PDF - La Industria Minera del Perú; Anuario Minero 2006. Estudio Geológico de Estados Unidos. (Mayo 2008)

## 3 Los impactos del cambio climático y las opciones para la industria minera

### 3.1 Introducción

La mayor parte de las operaciones mineras consideradas en este estudio están ubicadas en la región occidental de América del Sur, principalmente Colombia, Perú y Chile y en la franja occidental de la Cordillera de los Andes, a menos de 300 kms del Océano Pacífico. Las cuencas donde se encuentran las minas incluyen una amplia variedad de climas, donde predominan aquellas que registran pocas precipitaciones. Sólo unas pocas operaciones mineras consideradas en este estudio están ubicadas al este de los Andes, la mayoría de ellas a una distancia considerable del Océano Atlántico.

Es posible que el cambio climático altere las condiciones climáticas dando por resultado:

- Posibles aumentos de temperatura en toda América del Sur, registrando el mayor aumento en la Cuenca Amazónica.
- Posibles disminuciones de las precipitaciones en el siglo XXI, a pesar de que es necesario ser cautelosos con los valores actuales ya que los modelos varían significativamente en sus proyecciones para esta región. Algunos modelos muestran un leve aumento en las precipitaciones proyectadas, sin embargo, muchos de ellos muestran importantes disminuciones, particularmente en la región del Amazonas.
- La tendencia a extremas climáticas en América del Sur en el siglo XX muestra características similares a las del aumento en los extremos globales, con un incremento en la cantidad de eventos que registran intensas precipitaciones<sup>11</sup>. Algunos modelos muestran un aumento en las extremas estacionales, como por ejemplo, sequías.
- El clima más cálido ya ha producido un retroceso de los glaciares en toda América del Sur y es muy posible que esta tendencia continúe en el futuro, donde todos los glaciares Inter-tropicales desaparecerán en el transcurso de los próximos 15 años<sup>12</sup>. Esto podría afectar la disponibilidad de recursos hídricos en algunas regiones donde el deshielo de los glaciares es un problema crítico (p.ej. Perú).

Para analizar los impactos climáticos en algunas de las minas, se utilizaron los resultados del modelo del Centro Hadley para estimar los cambios en las precipitaciones y temperatura hasta el 2040 (se debe observar que este es un período anterior al normalmente presentado en Christensen et al., 2007 y MetOffice, 2008). Para obtener detalles acerca de la metodología aplicada, consultar el Anexo 1.

### 3.2 Resultados de Argentina

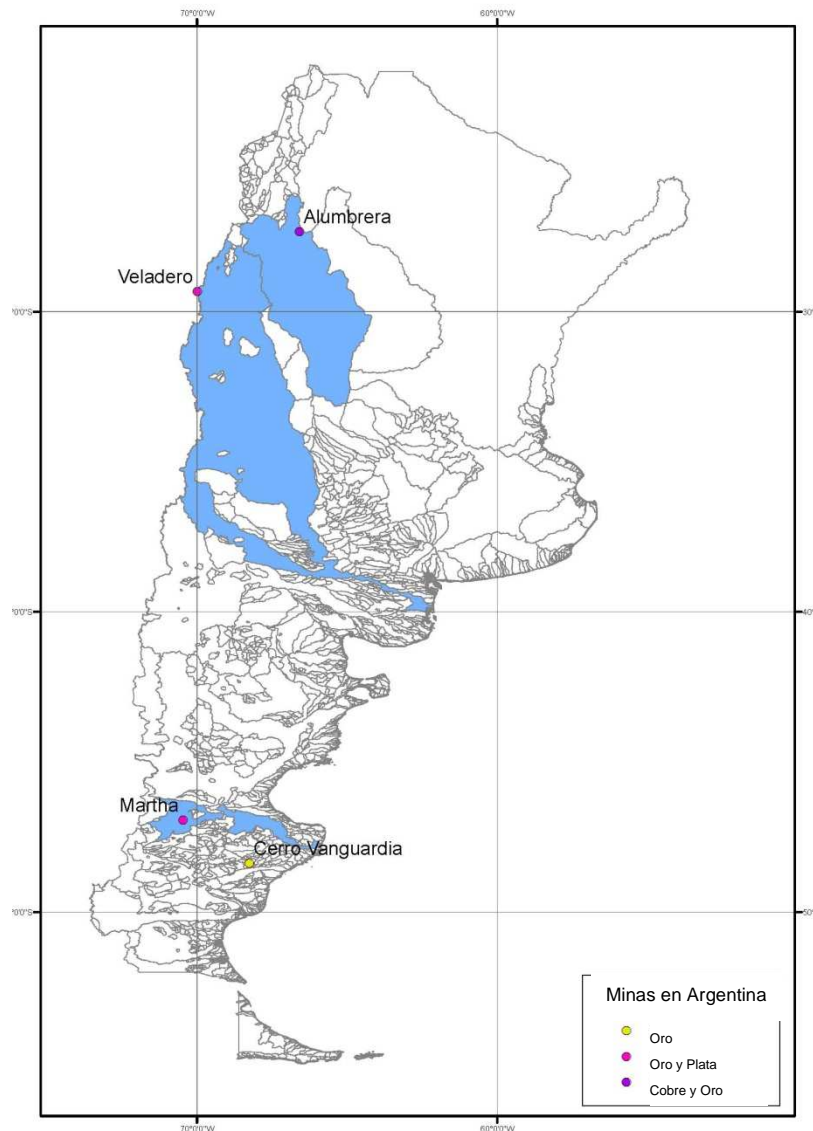
#### 3.2.1 Geografía, clima y cuencas

Son pocos los lugares en Argentina donde se desarrollan actividades mineras. Algunos de estos lugares están ubicados en la región norte a lo largo de la ladera este de la

<sup>11</sup> Magrin et al., 2007

<sup>12</sup> MetOffice, 2008

Cordillera de los Andes mientras que otros están ubicados en regiones planas del sur. La Figura 1 que aparece a continuación muestra un mapa que presenta las minas seleccionadas para los tres minerales estudiados (cobre, oro y plata). El mapa muestra la ubicación de las minas y las cuencas hidrológicas asociadas e identificadas como las principales fuentes de suministro de agua. A pesar de que estas minas están separadas por grandes distancias geográficas, las cuencas en las que se ubican tienen condiciones climatológicas similares en términos de niveles de precipitación y temperatura.



**Figura 1: Minas y cuencas seleccionadas en Argentina**

*Fuente: Centro de Cambio Global, Universidad Católica de Chile*

Las minas en Argentina están ubicadas en dos de las regiones más secas del país; las laderas al nor-este de la Cordillera de los Andes y las pampas desérticas del sur. Las temperaturas promedio son bajas y registran valores menores a los 10 °C. La Tabla 1

presenta las condiciones climáticas promedio para las minas consideradas en el estudio en base a datos obtenidos de un balance hídrico local en las cuencas de todo el país.

**Tabla 1: Condiciones climáticas base en las cuencas donde se ubican las Minas en Argentina**

<b>Mineral</b>	<b>Mina</b>	<b>Cuencas</b>	<b>Pp (mm/año)</b>	<b>T Media °C</b>
Oro	Cerro Vanguardia	Rios y Arroyos de la Meseta Patagónica	200	7.5
Oro	Martha	Río Deseado	200	7,5
Plata	Martha	Río Deseado	200	7,5
Oro	Veladero	Río Jachal	250	5
Plata	Veladero	Río Jachal	250	5
Cobre	Alumbrera	Salar de Pipanaco	400	10
Oro	Alumbrera	Salar de Pipanaco	400	10

*Fuente: Atlas Climático de América del Sur. OMS-UNESCO (1975)*

### 3.2.2 Regiones Mineras y disponibilidad de agua

Utilizando la metodología de estudio, se determinó la disponibilidad hidrológica para todas las cuencas mineras argentinas. La Tabla 2 contiene los resultados. Se observó que la disponibilidad de agua de todas las cuencas que abastecen las actividades mineras en Argentina es muy baja (es decir, deficitaria). Los potenciales factores que causan esta baja disponibilidad hídrica son la sobreexplotación de los acuíferos, el retroceso de los glaciares, la contaminación, la competencia con las comunidades y la reglamentación gubernamental con respecto al uso del agua.



**Tabla 2: Disponibilidad histórica de suministro de agua (Q) en las cuencas donde se ubican las minas en Argentina**

Mineral	Mina	Cuencas	Pp (mm/año)	T Media (°C)	Q (mm/año) 1960-1990
Oro	Cerro Vanguardia	Ríos y Arroyos de la Meseta Patagónica	200	7,5	5,3
Oro	Martha	Río Deseado	200	7,5	5,3
Plata	Martha	Río Deseado	200	7,5	5,3
Oro	Veladero	Río Jachal	250	5	25,1
Plata	Veladero	Río Jachal	250	5	25,1
Cobre	Alumbrera	Salar de Pipanaco	400	10	55,0
Oro	Alumbrera	Salar de Pipanaco	400	10	55,0

Fuente: Centro de Cambio Global, Universidad Católica de Chile

### 3.2.3 Evaluación de impactos generados por el cambio climático, oferta y demanda hídrica hasta el 2040

La Tabla 3 presenta las condiciones climáticas e hidrológicas futuras para cada una de las cuencas consideradas en el análisis. Todas las principales cuencas en Argentina experimentarían un aumento de la temperatura del orden de 0,5-1°C. Una cuenca en el norte ubicada en el límite con Chile experimentaría una reducción de las precipitaciones de alrededor de -10%, sin embargo, todas las otras cuencas experimentarían un pequeño aumento en las precipitaciones (menos de 3%). Estas futuras condiciones climáticas reducirían la disponibilidad de agua en todas las cuencas. En los lugares en que las proyecciones mostraron un aumento en las precipitaciones, la reducción en la disponibilidad de agua se debió a un aumento en la evaporación causada por el aumento de la temperatura.

**Tabla 3: Condiciones climáticas futuras y disponibilidad de suministro de agua en las cuencas donde se ubican las minas en Argentina**

Mineral	Mina	Cuencas	Q (mm/año) 1960-1990	Q (mm/año) 2011-2040	Delta Pp (%)	Delta T (°C)	Delta Q (%)	Estado Cuenca
Oro	Cerro Vanguardia	Ríos y Arroyos de la Meseta Patagónica	5,3	4,6	2,1	0,7	-12,8	Déficit
Oro	Martha	Río Deseado	5,3	1,5	2,5	0,8	-70,9	Déficit
Plata	Martha	Río Deseado	5,3	3,7	2,5	0,8	-29,4	Déficit
Oro	Veladero	Río Jachal	25,1	15,9	-7,8	0,9	-36,8	Déficit
Plata	Veladero	Río Jachal	25,1	22,0	-7,8	0,9	-12,6	Déficit
Cobre	Alumbrera	Salar de Pipanaco	55,0	53,2	1,4	1,1	-3,3	Déficit
Oro	Alumbrera	Salar de Pipanaco	55,0	53,1	1,4	1,1	-3,5	Déficit

Fuente: Centro de Cambio Global, Universidad Católica de Chile

La Tabla 3 indica que ninguna de las cuencas fluviales en Argentina cambia su estado con respecto al suministro de agua desde su condición histórica el año 2040. La conclusión es que las minas aún estarían ubicadas en cuencas deficitarias en el futuro. **Por lo tanto, el riesgo de déficit de agua en el 2040 será mayor que el de las condiciones históricas en las cuencas deficitarias, aún si la producción minera y la demanda de agua utilizada por esta industria se mantienen constantes durante los próximos 30 años.**

***Si se considera un aumento histórico de la producción en el sector minero<sup>13</sup>, y la tendencia al déficit hídrico continúa en el futuro, se producirá un aumento en la demanda de agua en la mayoría de las minas en Argentina.*** La información histórica confirma que la producción de minerales generalmente ha aumentado con el paso del tiempo en todas las cuencas consideradas en el estudio.

#### 3.2.4 Opciones de Adaptación

Entre las alternativas consideradas por Argentina para obtener requerimientos hídricos adicionales para sus minas en el 2040 se encuentran una mayor eficiencia de reciclaje y el transporte de agua desde otras cuencas<sup>14</sup>. Una mejor eficiencia de reciclaje se logra

<sup>13</sup> Minera Alumbrera, 2008; Xstrata, 2008

<sup>14</sup> Información obtenida de entrevistas con compañías mineras

invirtiendo en tecnologías que reduzcan la evaporación e infiltración, el control automático del sistema de espesamiento, la supervisión permanente del consumo, el tratamiento de bio-remediación de los efluentes contaminados, el control de drenaje del sistema de lixiviación, el filtrado de relaves<sup>15</sup> y otras tecnologías. El transporte de agua de mar o agua desalinizada a las minas en Argentina se encuentra seriamente restringido debido a que la mayoría de las minas, salvo una, están ubicadas muy distantes del Océano Atlántico (más de 200 kms). Es posible considerar swaps de agua en el futuro, sin embargo, esto implicaría transportar agua a las minas desde fuentes muy distantes.

En consecuencia, las faenas mineras ubicadas a gran altura y a varios cientos de kilómetros del océano pueden considerar los swaps de agua cuando el agua desalinizada pueda ser comercializada en las comunidades costeras a cambio de derechos de agua adicionales cerca de las operaciones mineras. La factibilidad de los swaps de agua actualmente se encuentra en investigación ya que la base legal y económica aún requiere de un estudio más profundo.

### **3.3 Resultados de Chile**

#### *3.3.1 Geografía, clima y cuencas*

Las actividades mineras están presentes a lo largo de Chile donde la mayor parte de la producción se ubica sobre la latitud 35°S donde se encuentra la mina subterránea El Teniente de propiedad de CODELCO. La Figura 2 que aparece a continuación muestra un mapa donde se describen las minas seleccionadas para los tres minerales considerados en este estudio (cobre, hierro y oro). Este mapa indica la ubicación de estas minas y la cuenca hidrológica asociada e identificada como una de sus principales fuentes de suministro de agua. La mayoría de las cuencas del país están ubicadas al norte de El Teniente. Sin embargo, existen grandes diferencias en términos de condiciones climáticas para cada una de estas cuencas. La Figura 2 muestra que las minas ubicadas al Norte de Chile se encuentran en las regiones más secas del país. De hecho, estas minas se ubican en una de las regiones más secas del mundo con desiertos que a veces registran menos de 20 mm de precipitación anual.

---

<sup>15</sup> Cochilco, las Mejores Prácticas y el uso eficiente del agua en la Industria Minera, 2008, Santiago, Chile



**Figura 2: Minas y cuencas seleccionadas en Chile**

*Fuente: Centro de Cambio Global, Universidad Católica de Chile*

La Tabla 4 que aparece a continuación presenta condiciones climáticas promedio para las minas consideradas en este estudio en base a los datos obtenidos de un balance hídrico local en las cuencas de todo el país.

**Tabla 4: Condiciones climáticas básicas en las cuencas donde se ubican las minas de Chile**

Mineral	Mina	Cuencas	Pp. (mm/año)	T media (°C)
Cobre	Escondida	Endorreicas Salar Atacama - Vertiente Pacífico ( Salar de Punta Negra)	91,7	10,2
Cobre	Pelambres	Río Choapa	326	14,4
Cobre	El Teniente	Río Rapel ( Río Cachapoal)	1595	14
Cobre	Andina	Río Aconcagua (Río Colorado)	720	14,2
Cobre	Chuquicamata	Río Loa (San Pedro de Chonchi)	141	8,5
Cobre	Collahuasi	Altiplanicas (Salar de Coposa)	169	4
Cobre	Candelaria	Río Copiapo (Quebrada Paipote)	43	16,2
Hierro	El Algarrobo	Río Huasco	175	14,5
Oro	Maricunga	Río Copiapo (Salar de Maricunga)	153	2,5
Oro	El Peñon	Pacífico ( Salar de Punta Negra)	91,7	10,2

Fuente: Balance Hídrico de Chile. DGA (1987)

### 3.3.2 Regiones mineras y disponibilidad de agua

La Tabla 5 demuestra que la **mayoría de las cuencas que abastecen las actividades mineras en Chile enfrentan condiciones extremadamente críticas en términos de disponibilidad hídrológica**. A excepción de Andina, ubicada en la Cuenca del Aconcagua y del Teniente en la Cuenca de Rapel, todas las otras minas están ubicadas en cuencas con una disponibilidad hídrica menor a 100 mm/año. En la mayoría de las cuencas, la disponibilidad de agua desde el punto de vista hidrológico es de cero, es decir, la evaporación es igual o mayor a las precipitaciones promedio en toda la cuenca<sup>16</sup>.

<sup>16</sup> No considera el hecho de que podría existir disponibilidad de agua en algunos sectores de la cuenca o en forma subterránea, no observados en el análisis del balance de agua a nivel de cuencas.

**Tabla 5: Disponibilidad histórica de suministro de agua (Q) en las cuencas donde se ubican las minas en Chile**

Mineral	Mina	Cuencas	Pp (mm/año)	T Media (°C)	Q (mm/año) 1960- 1990
Cobre	Escondida	Endorreicas Salar Atacama – Vertiente Pacífico (Salar de Punta Negra)	91,7	10,2	0,0
Cobre	Collahuasi	Altiplánicas (Salar de Coposa)	169	4	0,0
Oro	Maricunga	Río Copiapó (Salar de Maricunga)	153	2,5	0,0
Oro	El Peñón	Endorreicas Salar Atacama – Vertiente Pacífico (Salar de Punta Negra)	91,7	10,2	0,0
Cobre	Candelaria	Río Copiapó (Quebrada Paipote)	43	16,2	0,3
Hierro	El Algarrobo	Río Huasco	175	14,5	5,5
Cobre	Chuquicamata	Río Loa (San Pedro de Chonchi)	141	8,5	8,5
Cobre	Pelambres	Río Choapa	326	14,4	54,2
Cobre	Andina	Río Aconcagua (Río Colorado)	720	14,2	373,0
Cobre	El Teniente	Río Rapel (Río Cachapoal)	1595	14	1115,0

Fuente: Centro de Cambio Global, Universidad Católica de Chile

Además de estas condiciones hidrológicas, hay varios factores que limitan la disponibilidad de agua para las minas en Chile. En base a las respuestas recibidas de las compañías mineras de cobre en Chile, un sesenta por ciento de ellas indicaron que el factor más importante se relaciona con el agotamiento de los acuíferos, la competencia con las comunidades y otras industrias y las normativas gubernamentales relativas al uso del agua.

### 3.3.3 Evaluación de impactos generados por el cambio climático, oferta y demanda hídrica hasta el 2040

La Tabla 6 presenta las condiciones climáticas e hidrológicas futuras para cada una de las cuencas consideradas en el estudio. **Todas las principales cuencas mineras en Chile podrían experimentar un aumento de la temperatura del orden de 0,5-1°C y reducciones en las precipitaciones del orden de -5 a -15%.** Se ha proyectado una reducción en todas las cuencas debido a estas nuevas condiciones climáticas<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> Para casos específicos, el suministro original de agua fue cero, en consecuencia, no fue posible estimar cambios relativos.

**Tabla 6: Condiciones climáticas futuras y disponibilidad de suministro de agua en las cuencas  
Donde se ubican las minas en Chile**

Mineral	Mina	Cuencas	Q (mm/año) 1960 - 1990	Q (mm/año) 2011-2040	Delta Pp (%)	Delta T (°C)	Delta Q (%)	Estado Cuenca
Cobre	Escondida	Endorreicas Salar Atacama – Vertiente Pacífico Salar de Punta Negra)	0,0	0,0	-13,0	0,7	-	Déficit
Cobre	Collahuasi	Altiplánicas (Salar de Coposa)	0,0	0,0	-11,2	0,9	-	Déficit
Oro	Maricunga	Río Copiapó (Salar de Maricunga)	0,0	0,0	-7,8	0,5	-	Déficit
Oro	El Peñón	Endorreicas Salar Atacama – Vertiente Pacífico (Salar de Punta Negra)	0,0	0,0	-13,0	0,7	-	Déficit
Cobre	Candelaria	Río Copiapó (Quebrada Paipote)	0,3	0,0	-12,1	0,5	-100	Déficit
Hierro	El Algarrobo	Río Huasco	5,5	0,7	-15,5	0,9	-88	Déficit
Cobre	Chuquicamata	Río Loa (San Pedro de Chonchi)	8,5	4,8	-12,9	0,9	-44	Déficit
Cobre	Pelambres	Río Choapa	54,2	43,6	-7,0	0,4	-20	Déficit
Cobre	Andina	Río Aconcagua (Río Colorado)	373,0	356,0	-4,9	1,0	-5	Transición
Cobre	El Teniente	Río Rapel (Río Cachapoal)	1115,0	1068,5	-5,5	0,4	-4	Superavit

La producción minera ha aumentado de manera significativa en las últimas décadas en Chile y en América del Sur<sup>18</sup> y si la industria continúa por esta misma senda, en el futuro se producirá un aumento cada vez más alto en la demanda de agua en la mayoría de las minas. La información histórica respalda que la producción de minerales generalmente ha aumentado con el paso del tiempo en todas las cuencas estudiadas.

La Tabla 6 indica que ninguna de las cuencas hidrológicas en Chile ha cambiado su estado con respecto al suministro de agua desde su condición histórica hasta el 2040. Considerando el total de producción de cobre en Chile, aproximadamente un 7,3% se ubica en cuencas con un excedente de agua<sup>19</sup>, mientras que un 14,8% se ubica en cuencas en transición<sup>20</sup> y el 78% restante en cuencas deficitarias. Las dos minas de oro en Chile consideradas en este estudio se encuentran en cuencas deficitarias.

***Es probable que antes del 2040 se produzca una reducción en las precipitaciones en todas las cuencas en Chile, salvo aquellas que registraron cero precipitaciones en su condición histórica. Por lo tanto, el déficit hídrico en el 2040 será mayor que el considerado en las condiciones históricas en las cuencas en transición y en las deficitarias, independiente si la producción minera y la demanda de agua por parte de la industria minera permanecen constantes en los próximos 30 años.***

#### 3.3.4 Opciones de adaptación

Las alternativas para obtener recursos hídricos adicionales necesarios para las minas en el 2040 incluyen un mejoramiento en la eficiencia de reciclaje, transporte de agua desde otras cuencas, implementación de swaps de agua, utilización de agua de mar<sup>21</sup> y desalinización<sup>22</sup>. Para las faenas mineras ubicadas a gran altura y a varios cientos de kilómetros del océano, los swaps de agua representan una opción favorable. En estas situaciones, el agua desalinizada es intercambiada con la comunidad costera a cambio de derechos de agua adicionales cerca de las operaciones mineras.

Las alternativas ya consideradas por las compañías mineras de cobre en Chile incluyen mayor reciclaje del agua, construcción de nuevas plantas desalinizadoras, menor caudal de pulpa en tuberías y menor irrigación de caminos. Las alternativas más recurrentes parecieran considerar un mayor reciclaje del agua (40% de las compañías entrevistadas) y desalinización del agua (80% de las compañías entrevistadas).

---

<sup>18</sup> Minera Escondida, 2007; Collahuasi, 2007; Codelco 2008,; Antofagasta plc, 2007

<sup>19</sup> El Teniente

<sup>20</sup> Los Bronces, Andina, Pelambres, Las Cenizas, El Soldado y minas más pequeñas.

<sup>21</sup> Antofagasta plc, 2007

<sup>22</sup> Minera Escondida, 2007



### 3.4 Resultados de Colombia

#### 3.4.1 Geografía, clima y cuencas

Las actividades mineras en Colombia existen principalmente en las regiones del norte a lo largo de la Cordillera de los Andes y en la región de la Guajira cerca del extremo norte de América del Sur. La Figura 3 muestra un mapa donde aparecen las minas seleccionadas para los dos minerales considerados en este estudio (carbón y níquel). Este mapa indica la ubicación de las minas y la cuenca hidrológica asociada e identificada como una de las principales fuentes de suministro hídrico de las minas. Todas las minas están ubicadas en las cuencas del norte del país.



**Figura 3: Minas y cuencas seleccionadas en Colombia**  
Fuente: Centro de Cambio Global, Universidad Católica de Chile

Existen algunas diferencias en términos de las condiciones climáticas para cada una de estas cuencas. Las minas en la región de la Guajira en el Norte de Colombia están ubicadas en una región levemente húmeda con niveles de precipitación mayores a 1000 mm/año, pero con una temperatura muy cálida de aproximadamente 30°C. En las regiones en las que las cuencas drenan las laderas occidentales de los Andes, los niveles de temperatura son similares, sin embargo, las precipitaciones son aún mayores, alcanzando alrededor de 2000 mm/año.

La **Tabla 7** que aparece a continuación presenta las condiciones climáticas para las minas consideradas en el estudio en base a los datos obtenidos de un balance de agua local de todas las cuencas del país.

**Tabla 7: Condiciones climáticas base en las cuencas donde se ubican las minas en Colombia**

Mineral	Mina	Cuencas	Pp (mm/año)	T Media (°C)
Carbón	Cerrejón	Guajira	1200	27,5
Níquel	Cerro Matoso	Sinu	1800	27,5
Carbón	La Loma	Bajo Cauca- San Jorge	2000	27,5

*Fuente: Atlas Climático de América del Sur. WHO-UNESCO (1975)*

### 3.4.2 Regiones mineras y disponibilidad hídrica

La Tabla 8 a continuación muestra una medida de la disponibilidad de agua en todas las cuencas mineras de Colombia. Dos de las cuencas que abastecen las actividades mineras en Colombia tienen una disponibilidad de suministro media a pesar de que éstas registran los más altos índices de precipitación. La razón de esto es que la temperatura en estas cuencas es extremadamente alta y en consecuencia los niveles de evaporación también son altos. La mina de carbón La Loma está ubicada en una cuenca con superávit.

**Tabla 8: Disponibilidad histórica de suministro de agua (Q) en las cuencas donde se ubican las minas en Colombia**

Mineral	Mina	Cuencas	Pp (mm/año)	T Media (°C)	Q (mm/año) 1960-1990
Carbón	Cerrejón	Guajira	1200	27,5	127
Níquel	Cerro Matoso	Sinu	1800	27,5	415
Carbón	La Loma	Bajo Cauca – San Jorge	2000	27,5	539

*Fuente: Centro de Cambio Global, Universidad Católica de Chile*

### 3.4.3 Evaluación de impactos generados por el cambio climático, oferta y demanda hídrica hasta el 2040

La Tabla 9 presenta las futuras condiciones climáticas e hidrológicas para cada una de las cuencas consideradas en el estudio. Todas las principales cuencas mineras en Colombia experimentarían un aumento en la temperatura del orden de 1 - 1,5 °C y una reducción en las precipitaciones del orden de -5 a -10%. Las reducciones en la disponibilidad de agua posiblemente se deben a estas futuras condiciones climáticas.

**Tabla 9: Futuras condiciones climáticas y disponibilidad de suministro de agua en las cuencas donde se ubican las minas en Colombia**

Mineral	Mina	Cuencas	Q (mm/año) 1960-1990	Q (mm/año) 2010-2040	Delta Pp (%)	Delta T (°C)	Delta Q (%)	Estado Cuenca
Carbón	Cerrejón	Guajira	127	65	-11,2	1,2	-48,6	Déficit
Níquel	Cerro Matoso	Sinu	415	2775	-3,9	1,0	-33,1	Transición
Carbón	La Loma	Bajo Cauca – San Jorge	539	441	-8,5	1,4	-18,1	Transición

Fuente: Centro de Cambio Global, Universidad Católica de Chile

La Tabla 9 muestra que dos de las cuencas hidrológicas en Colombia cambian su estado con respecto al suministro de agua de su condición histórica hasta el 2040. Una cambia de una situación de superávit a una de transición y la mina ubicada en la Cuenca de la Guajira pasa de una condición de transición a una deficitaria. En suma, el modelo utilizado para estimar las condiciones climáticas en el 2040, proyecta reducciones en la disponibilidad de agua en todas las cuencas en Colombia. En consecuencia, **los déficits hídricos en 2040 serán mayores que los considerados en las condiciones históricas en las cuencas en transición y en las deficitarias incluso si la producción y la demanda de agua de la industria minera permanecen constantes durante los próximos 30 años.**

Con un historial de producción cada vez mayor en el sector minero<sup>23</sup>, la continuación de esta tendencia posiblemente resultaría en un incremento en la demanda de agua en la mayoría de las minas en Colombia. La información histórica confirma que la producción de minerales generalmente ha aumentado con el paso del tiempo en todas las cuencas consideradas.

### 3.4.4 Opciones de Adaptación

Las alternativas para obtener recursos hídricos adicionales necesarios para las minas en el 2040 incluyen un mejoramiento en la eficiencia de reciclaje, transporte de agua desde otras cuencas, implementación de swaps de agua, utilización de agua de mar y desalinización. Algunas de las minas se encuentran a una distancia umbral de un poco más de 200 kms. del Mar Caribe, encareciendo la alternativa de desalinización.

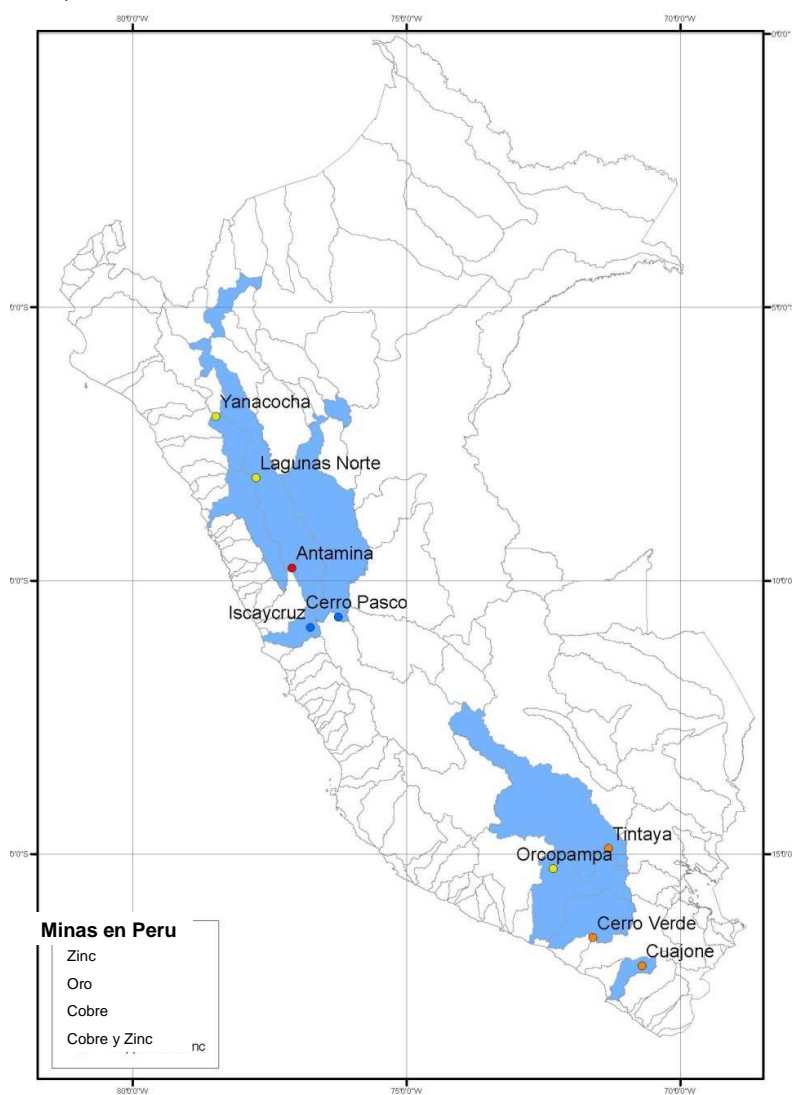
<sup>23</sup> BHP Billiton, 2007

Las compañías mineras en Colombia ya consideran algunas de estas alternativas, las más frecuentes incluyen un mayor reciclaje del agua (65% de las compañías entrevistadas) y una menor irrigación de los caminos (65% de las compañías entrevistadas).

### 3.5 Resultados de Perú

#### 3.5.1 Geografía, clima y cuencas

Las actividades mineras en Perú están presentes en todo el país a lo largo de las laderas del lado oriental y occidental de la Cordillera de Los Andes. La Figura 4 muestra un mapa en el que se presentan las minas seleccionadas para los tres minerales considerados en este estudio (cobre, oro y zinc). El mapa indica la ubicación de las minas y la cuenca hidrológica asociada e identificada como una de sus principales fuentes de suministro hídrico. También se indican un grupo de minas ubicadas en las cuencas de la región norte y sur del país. Existen grandes diferencias en términos de condiciones climáticas para cada una de estas cuencas. Las minas del sur se encuentran en algunas de las regiones más desérticas de Perú, con condiciones similares a las observadas en el norte de Chile.



**Figura 4: Minas seleccionadas y Cuencas en Perú**

Fuente: Centro de Cambio Global, Universidad Católica de Chile

La Tabla 10 presenta las condiciones climáticas promedio para las minas consideradas en el estudio en base a los datos obtenidos de un balance de agua de todas las cuencas del país.

**Tabla 10: Condiciones climáticas base en las cuencas  
donde se ubican las minas en Perú**

Mineral	Mina	Cuencas	Pp. (mm/año)	T media (°C)
Cobre	Cuajone	Ilo - Moquegua	100	17,5
Cobre	Cerro Verde	Quilca	200	7,5
Oro	Orcopampa	Camana	500	2,5
Cobre	Tintaya	Apurimac	650	7,5
Oro	Lagunas Norte	Santa	1200	17,5
Zinc	Cerro Pasco	Alto Huallaga	1000	2,5
Zinc	Iscaycruz	Huaura	1000	2,5
Cobre	Antamina	Alto Marañon	2800	27,5
Oro	Yanacocha	Crisnejas	2800	27,5
Zinc	Antamina	Alto Marañon	2800	27,5

Fuente: Atlas Climático de América del Sur. WHO-UNESCO (1975)

Una importante diferencia entre las minas en Perú en comparación con aquellas de los otros países del estudio es que los eventos extremos representan un factor crítico que afecta las actividades mineras en ese país. La mayoría de las compañías mineras han reconocido este problema en los cuestionarios y algunas han indicado los daños en infraestructura causados por eventos extremos. **Un 25% de las compañías entrevistadas señaló haber sufrido daños en su infraestructura entre USD0 y USD50.000 y un 50% de ellas mencionó haber sufrido daños en su infraestructura equivalentes a más de USD100.000.**

### 3.5.2 Regiones mineras y disponibilidad de agua

La Tabla 11 que aparece a continuación muestra una medida de la disponibilidad de agua en todas las cuencas mineras de Perú. **Un tercio de las cuencas que abastecen las actividades mineras en Perú tienen una disponibilidad de suministro muy baja (en uno de los casos, la disponibilidad de agua es de cero mm desde el punto de vista**

hidrológico<sup>24</sup>), otro tercio se encuentra en una condición de transición y el último tercio en una condición de superávit. .

**Tabla 11: Disponibilidad histórica de suministro de agua (Q) en las cuencas donde se ubican las minas en Perú**

Mineral	Mina	Cuencas	Pp (mm/año)	T Media (°C)	Q (mm/año) 1960-1990
Cobre	Cuajote	Ilo – Moquegua	100	17,5	0,0
Cobre	Cerro Verde	Quilca	200	7,5	5,3
Oro	Orcopampa	Camana	500	2,5	200,9
Cobre	Tintaya	Apurimac	650	7,5	241,6
Oro	Lagunas Norte	Santa	1200	17,5	412,9
Zinc	Cerro Pasco	Alto Huallaga	1000	2,5	656,5
Zinc	Iscaycruz	Huaura	1000	2,5	656,5
Cobre	Antamina	Alto Marañón	2800	27,5	1128,9
Oro	Yanacocha	Crisnejas	2800	27,5	1128,9
Zinc	Antamina	Alto Marañón	2800	27,5	1128,9

Fuente: Centro de Cambio Global, Universidad Católica de Chile

Además de las condiciones hidrológicas, hay varios otros factores que limitan la disponibilidad de agua de las minas en Perú. En base a las respuestas entregadas por las compañías mineras (en todos los sectores), el factor más relevante se relaciona con la sobreexplotación (75% de las compañías entrevistadas) y la competencia con otras comunidades (85% de las compañías entrevistadas). Las compañías mineras también analizaron de qué manera la competencia por recursos hídricos con las comunidades ejercería mayor presión sobre el gobierno, dando por resultado mayores exigencias reglamentarias con respecto al uso del agua. Los factores adicionales indicados por las compañías se refieren al retroceso de los glaciares, la contaminación y la competencia con las comunidades y otras industrias.

### 3.5.3 Evaluación de impactos generados por el cambio climático, oferta y demanda hídrica hasta el 2040

La **Tabla 12** representa las condiciones climáticas e hidrológicas futuras para cada una de las cuencas consideradas en el estudio. Todas las principales cuencas en Perú podrían experimentar un aumento de la temperatura del orden de 1-1,5°C. La mayoría de las cuencas enfrentan reducciones en las precipitaciones del orden de -5 a -15%, mientras que el resto experimenta un leve aumento (menos del 3%) en las precipitaciones. En base a estas nuevas condiciones climáticas, la disponibilidad de agua se reduce en todas las cuencas en las que fue posible efectuar los cálculos<sup>25</sup>. En aquellos casos en los que las operaciones mostraron un aumento de las precipitaciones, la reducción de la disponibilidad

<sup>24</sup> Esto ignora el hecho que podría haber agua disponible en algunos sectores de la cuenca o en lugares subterráneos escondidos en el estudio de un balance de agua a nivel de cuencas.

<sup>25</sup> Para algunos casos más específicos, el suministro de agua original fue cero, por lo tanto, no fue posible estimar los cambios relativos

de agua se relacionó con el aumento de la temperatura y el consiguiente aumento en la evaporación.

**Tabla 12: Condiciones climáticas futuras y disponibilidad de suministro de agua en las cuencas donde se ubican las minas en Perú**

Mineral	Mina	Cuencas	Q (mm/año) 1960- 1990	Q (mm/año) 2011- 2040	Delta Pp (%)	Delta T (°C)	Delta Q (%)	Estado Cuenca
Cobre	Cuajone	Ilo - Moquegua	0,0	0,0	-15,8	1,5	-	Déficit
Cobre	Cerro Verde	Quilca	5,3	0,4	-9,1	1,0	-92,5	Déficit
Oro	Orcopampa	Camana	200,9	199,1	-9,9	1,4	-0,9	Transición
Cobre	Tintaya	Apurimac	241,6	173,1	-9,6	1,4	-28,4	Transición
Oro	Lagunas Norte	Santa	412,9	391,0	-5,2	1,0	-5,3	Transición
Zinc	Cerro Pasco	Alto Huallaga	656,5	650,2	2,8	0,9	-1,0	Superávit
Zinc	Iscaycruz	Huaura	656,5	650,2	1,0	0,9	-1,0	Superávit
Cobre	Antamina	Alto Marañón	1128,9	858,0	1,4	0,9	-24,0	Superávit
Oro	Yanacocha	Crisnejas	1128,9	939,7	-5,6	1,0	-16,8	Superávit
Zinc	Antamina	Alto Marañón	1128,9	931,2	1,4	0,9	-17,5	Superávit

Fuente: Centro de Cambio Global, Universidad Católica de Chile

La Tabla 12 muestra que ninguna de las cuencas hidrológicas en Perú cambian su estado con respecto al suministro de agua de su condición histórica hasta el 2040. **Las minas de cobre están ubicadas en tres tipos de cuencas: deficitarias, en transición, con superávit. Las minas de oro están ubicadas en cuencas en transición y con superávit y las minas de zinc sólo en cuencas con superávit.**

En resumen, el modelo utilizado para estimar las condiciones climáticas en el 2040 prevé reducciones en la disponibilidad de agua en todas las cuencas en Perú. **Por lo tanto, el déficit hídrico en el 2040 será mayor que el considerado en las condiciones históricas en las cuencas en transición y en las deficitarias, independiente si la producción y la demanda de agua por parte de la industria minera permanecen constantes en los próximos 30 años.** Esto último es difícil de sostener con un historial de producción cada vez mayor en el sector minero. Si esta tendencia continúa en el futuro, habrá un incremento en la demanda de agua para la mayoría de las minas en Perú<sup>26</sup>.

<sup>26</sup> BHP Billiton, 2007; Freeport-McMoran, 2007

### 3.5.4 Opciones de Adaptación

Entre las alternativas consideradas para obtener los recursos hídricos adicionales en las faenas minas antes del 2040 se encuentran una mayor eficiencia de reciclaje, el transporte de agua desde otras cuencas, la implementación de swaps de agua, el uso de agua de mar<sup>27</sup> y la desalinización. El sistema mayormente considerado por las compañías mineras incluye un mayor reciclaje (75% de las compañías entrevistadas) y el uso de aguas servidas (25% de las compañías entrevistadas). Medidas más extremas, tales como la desalinización no han sido consideradas aún.

Las minas más importantes de cobre, zinc y oro en Perú están ubicadas a distancias relativamente cortas del Océano Pacífico y en consecuencia, además de introducir medidas para lograr una mejor eficiencia en el uso del agua, las minas podrían utilizar agua desalinizada. Como se indicó en el caso de Chile, la variable predominante se relaciona en un primer lugar con la distancia al océano, segundo con la altitud y tercero con el costo de desalinización del agua. Esto dependerá del costo de la energía, cuyo precio está regulado no sólo por el ciclo económico sino también por la relación entre oferta y demanda de energía en cada cuenca. Las opciones disponibles para las minas de Chile y Perú relacionadas con la compra de agua en el futuro, son similares. Sin embargo, es probable que Perú tenga costos más bajos que Chile en lo que respecta a la compra de agua ya que sus minas están ubicadas en cuencas con mayores precipitaciones que las de Chile y en consecuencia la competencia por el uso de agua de parte de otras actividades puede ser la variable predominante, antes de considerar la alternativa de desalinización.

### 3.6 Impactos del cambio climático en las actividades mineras desde una perspectiva regional

La Tabla 13 (en la página siguiente) resume los impactos hidrológicos generados por el cambio climático en las cuencas de los países del estudio. ***Para todas las cuencas consideradas, es probable que la baja en la disponibilidad de agua constituya un problema en el futuro. En algunos casos (dos cuencas en Colombia), los cambios en las condiciones hidrológicas son lo suficientemente fuertes para cambiar la condición de la cuenca desde una de transición a una deficitaria y desde una de superávit a una de transición.***

La mayoría de las faenas mineras están ubicadas en cuencas clasificadas como deficitarias. Esto ocurre particularmente en el norte de Chile, Argentina y en el sur de Perú. Por lo tanto, estas minas ya han incluido en cierto grado, mejoramientos en el manejo hídrico en sus operaciones. Sin embargo, existen factores que limitan la capacidad de mejorar el manejo de la demanda de agua en las faenas mineras. Un buen ejemplo es la ubicación relativa (en distancia y altura) de la mina con respecto a los tranques de relaves que limitan la cantidad del potencial de recirculación de agua. En algunos casos, las minas también han invertido en estrategias para aumentar la disponibilidad de agua, por ejemplo, mediante transferencias hídricas entre las cuencas o la desalinización de las aguas. En estos casos, la disponibilidad hidrológica presentada en la Tabla 13 no entrega datos completos acerca de la disponibilidad de agua para una mina en particular.

***La probabilidad futura es que, en base a las proyecciones hidrológicas, soluciones tales como la desalinización de agua podrían llegar a ser más recurrentes dentro del***

<sup>27</sup> Antofagasta plc, 2007



***sector minero de América del Sur. Sin embargo, la implementación de estas soluciones aumentaría en gran medida los costos de producción del sector.***

Una posible consecuencia del aumento de los costos de producción debido al déficit de agua representa una parte o la totalidad de los costos trasladados al consumidor. En consecuencia, **las compañías mineras ubicadas en las cuencas que no registran un déficit hídrico podrían desarrollar una ventaja comparativa, que resulta crucial para la competitividad de los productos mineros en el futuro.**

De todos modos, es importante señalar que a pesar de que en la actualidad los **costos del agua no aparecen informados de manera separada en los informes anuales de las compañías debido a que usualmente son irrelevantes en comparación con otros costos operacionales, esto probablemente cambiará en el futuro, donde los costos del agua alcanzarán valores más altos.** También queda claro que el suministro de agua para las minas en América del Sur llegará a ser cada vez más complejo en el futuro con una relevancia mayor en muchos de los costos que podrían no tener un componente económico sino político, como por ejemplo, las relaciones con las comunidades y otros usuarios de agua en la cuenca.

**Tabla 13: Disponibilidad de suministro de agua futuro en todas las cuencas consideradas en el estudio**

País	Mineral	Mina	Q 1960-1990	Estado Cuenca	Q (mm/año) 2011 - 2040	Estado Cuenca
Argentina	Oro	Cerro Vanguardia	5,35	Déficit	4,6	Déficit
	Oro	Martha	5,3	Déficit	1,5	Déficit
	Plata	Marha	5,3	Déficit	3,7	Déficit
	Oro	Veladero	25,1	Déficit	15,9	Déficit
	Plata	Veladero	25,1	Déficit	22,0	Déficit
	Cobre	Alumbrera	55,0	Déficit	53,2	Déficit
	Oro	Alumbrera	55,0	Déficit	53,1	Déficit
Chile	Cobre	Escondida	0,0	Déficit	0,0	Déficit
	Cobre	Collahuasi	0,0	Déficit	0,0	Déficit
	Oro	Maricunga	0,0	Déficit	0,0	Déficit
	Oro	El Peñón	0,0	Déficit	0,0	Déficit
	Cobre	Candelaria	0,3	Déficit	0,0	Déficit
	Hierro	El Algarrobo	5,5	Déficit	0,7	Déficit
	Cobre	Chuquicamata	8,5	Déficit	4,8	Déficit
	Cobre	Pelambres	54,2	Déficit	43,6	Déficit
	Cobre	Andina	373,0	Transición	356,0	Transición
	Cobre	El Teniente	1115,0	Superávit	1068,5	Superávit
Colombia	Carbón	Cerrejón	126,8	Transición	65,3	Déficit
	Níquel	Cerro Matoso	414,7	Transición	277,3	Transición
	Carbon	La Loma	538,7	Superávit	441,1	Transición
Perú	Cobre	Cuajone	0,0	Déficit	0,0	Déficit
	Cobre	Cerro Verde	5,3	Déficit	0,4	Déficit
	Oro	Orcopampa	200,9	Transición	199,1	Transición
	Cobre	Tintaya	241,6	Transición	173,1	Transición
	Oro	Lagunas Norte	412,9	Transición	391,0	Transición
	Zinc	Cerro Pasco	656,5	Superávit	650,2	Superávit
	Zinc	Iscaycruz	656,5	Superávit	650,2	Superávit
	Cobre	Antamina	1128,9	Superávit	858,0	Superávit
	Oro	Yanacocha	1128,9	Superávit	939,7	Superávit
	Zinc	Antamina	1128,9	Superávit	931,2	Superávit

Fuente: Centro de Cambio Global, Universidad Católica de Chile

### Costos de adaptación del cambio climático: Desalinización de agua en Chile

Para destacar los costos involucrados en las soluciones de adaptación relacionadas con la escasez de agua, a continuación se presenta un ejemplo para la desalinización de agua de mar en Chile<sup>28</sup>. Dependiendo si las minas están ubicadas a una altura intermedia o a gran altura, el costo podría fluctuar entre 6 y 20 c/lb<sup>29</sup> de cobre producido. Esto representa hasta un 25% del costo total de las minas que operan a un bajo costo en el 2009. El costo del transporte de agua y de la altura es por lo menos diez veces mayor que el costo de desalinización para las minas ubicadas en las altas cumbres de los Andes. Por lo tanto, la solución alternativa de *swaps* de agua entre diferentes usuarios de la cuenca puede aumentar en términos de importancia económica en el futuro. La Figura 14 presenta un cuadro con los costos de transporte y desalinización de agua versus la distancia de transporte para dos minas ubicadas a 1000 y 3000 metros sobre el nivel del mar respectivamente. El cálculo corresponde a una mina que produce concentrado de cobre con un consumo de agua de 48 m<sup>3</sup>/ton de cobre contenido tratado. La Figura 5 demuestra que el transporte de agua sobre una distancia de aproximadamente 50 kms es equivalente a elevar el agua en 2000 metros.

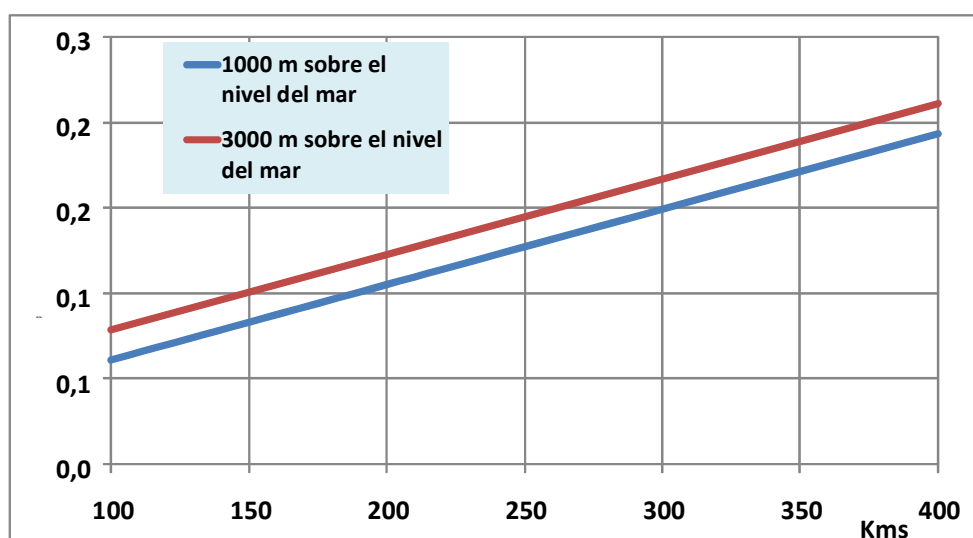


Figura 5: Costo de la desalinización, elevación y transporte de agua utilizando un costo de referencia de 116,9 US/ MWh<sup>30</sup>.

Finalmente, es probable que exista una mayor relación entre los costos del agua y la energía en el futuro que en el presente debido a que un porcentaje importante de la energía podría destinarse a la obtención y manejo del agua. La desalinización, el transporte y la elevación de agua tendrán un impacto significativo en el uso de la energía para las minas a menos que se puedan realizar *swaps* de agua. Estos *swaps* están limitados al uso de agua por parte de las ciudades costeras y a actividades económicas como la agricultura que en sí misma es muy escasa, por ejemplo, en el norte de Chile. Una mina

<sup>28</sup> Los costos de la energía (Julio 2009) en el sistema de energía del norte de Chile se han utilizado para indicar el costo de elevar y transportar el agua requerida por las minas.

<sup>29</sup> 1 US\$/lb = 2204 US\$/ton

<sup>30</sup> Precio cotizado por la Comisión Chilena de Energía en el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING)

que produce 1,5 millones de toneladas de cobre al año puede usar la misma cantidad de agua que una ciudad con una población de 500 mil habitantes. Finalmente, es importante mencionar que la desalinización y el transporte de agua tienen consecuencias en términos de mayores emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con el grado de carbonización de la matriz de electricidad.

## 4 Opciones de mitigación para la industria minera

### 4.1 Energía y Minería

Las compañías mineras están evolucionando continuamente sus procesos para optimizar la cadena de suministros introduciendo nuevas técnicas y tecnologías para reducir el consumo de energía, maximizar el *throughput* (capacidad de producción) y minimizar los costos de producción. Esta sección describe el consumo de energía en cada etapa del proceso desde la mina al molino y las opciones que existen para reducir el consumo de energía en estos procesos.

La Figura 6 presenta un desglose típico del consumo de energía por proceso. El manejo de materiales y la molienda consumen el mayor porcentaje de energía y en consecuencia aportan la proporción más alta del total de emisiones de gases de efecto invernadero de la industria.

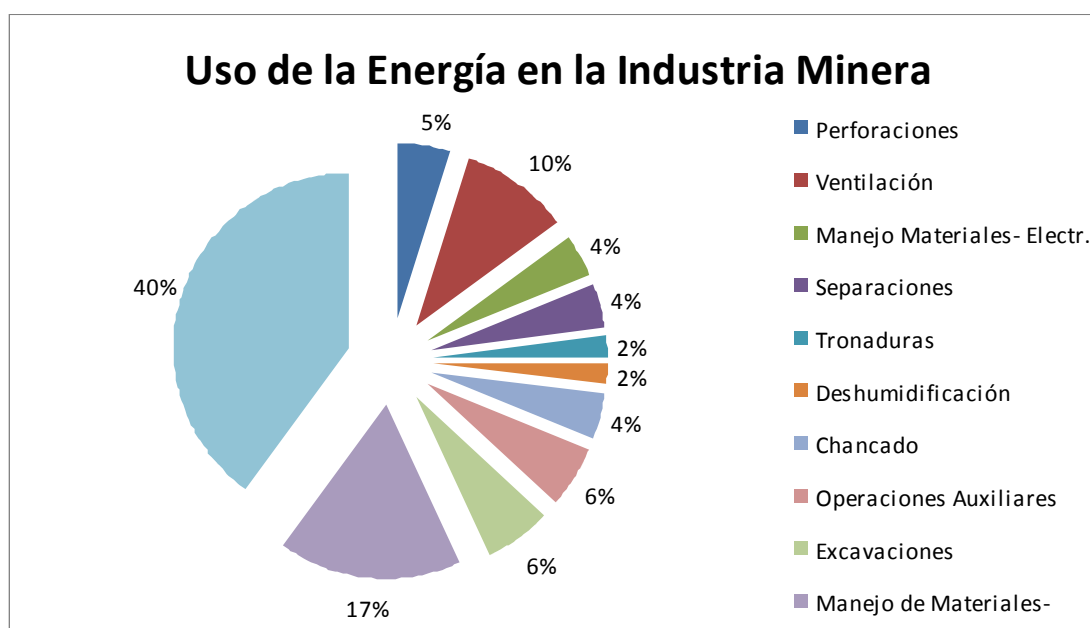


Figura 6: Uso de la Energía en la Industria Minera<sup>31</sup>

El consumo de energía está principalmente dividido en aparatos que consumen electricidad y combustible ya que estas son las principales fuentes de energía de la industria minera. Los procesos mineros son altamente integrados y en consecuencia es esencial considerar todas las etapas de la cadena de suministros para cuantificar los ahorros de energía y emisiones. Por ejemplo, el mineral que pasa por los procesos de extracción, chancado y molienda consumirá una cantidad mayor o menor de energía en cada etapa siguiente.

### 4.2 Energía y Emisiones GEI

A pesar de que las compañías mineras tienen poco control sobre las principales fuentes de energía utilizadas para generar electricidad, es importante considerar las emisiones directas e indirectas asociadas a sus operaciones. Esta sección describe las diferencias claves entre

<sup>31</sup> BCS Incorporated 2007: Estudio de Ancho de Banda de la Energía en la Industria Minera, Programa de Tecnologías Industriales de EE.UU., Julio 2007

las emisiones directas e indirectas y cómo éstas contribuyen al total de las emisiones de la industria.

#### *4.2.1 Emisiones directas*

Las fuentes directas de emisiones incluyen aquellas que son de propiedad de las compañías mineras o están bajo su control como la combustión directa de combustibles fósiles para la operación de los equipos en las faenas mineras. Estas emisiones son generadas principalmente por el consumo de diesel para operar la maquinaria pesada en las faenas mineras. El diesel constituye la fuente de combustible predominante con un pequeño porcentaje del gas natural y otros combustibles como el kerosén, gas licuado y gasolina. Las emisiones directas generalmente son proporcionales a la producción minera debido a que una producción mayor requiere extraer y transportar una cantidad más grande de mineral. En el caso de las minas más antiguas, las emisiones directas pueden aumentar sobre una base unitaria que van desde disminuciones en la ley de mineral hasta un aumento en las distancias de recorrido al área de procesamiento.

#### *4.2.2 Emisiones indirectas*

Las fuentes indirectas de emisiones incluyen aquellas relacionadas con la producción de electricidad utilizada en las operaciones mineras. Estas emisiones ocurren principalmente debido al consumo de electricidad del proceso de conminución. De las emisiones indirectas, aproximadamente un 85% del uso de electricidad corresponde a los motores que operan equipos de procesamiento alimentados casi exclusivamente por el sistema interconectado eléctrico. El consumo de energía unitaria generalmente permanece más o menos constante, sin embargo, los cambios en el factor de emisiones de carbono del sistema interconectado tienen un fuerte impacto en las emisiones indirectas. Por lo tanto, países como Chile que han estado sometidos a cambios masivos en el sector de la electricidad, con la incorporación de fuentes energéticas con factores de emisiones de carbono más altos en el sistema interconectado, han experimentado un asombroso incremento en las emisiones indirectas mientras la eficiencia minera en general se ha mantenido constante.

Este capítulo investiga las emisiones directas e indirectas de una selección de industrias mineras de metales en América del Sur en base a datos de consumo de energía entregados por las compañías participantes. La **Figura 7** muestra las emisiones directas e indirectas de las actividades de la minería del cobre y oro, tomando en consideración el factor específico de emisiones de carbono para el combustible y la electricidad en el país. La figura ilustra que en todos los casos, las emisiones indirectas generadas por el consumo de electricidad en las faenas mineras son las que mayormente contribuyen al total de las emisiones.

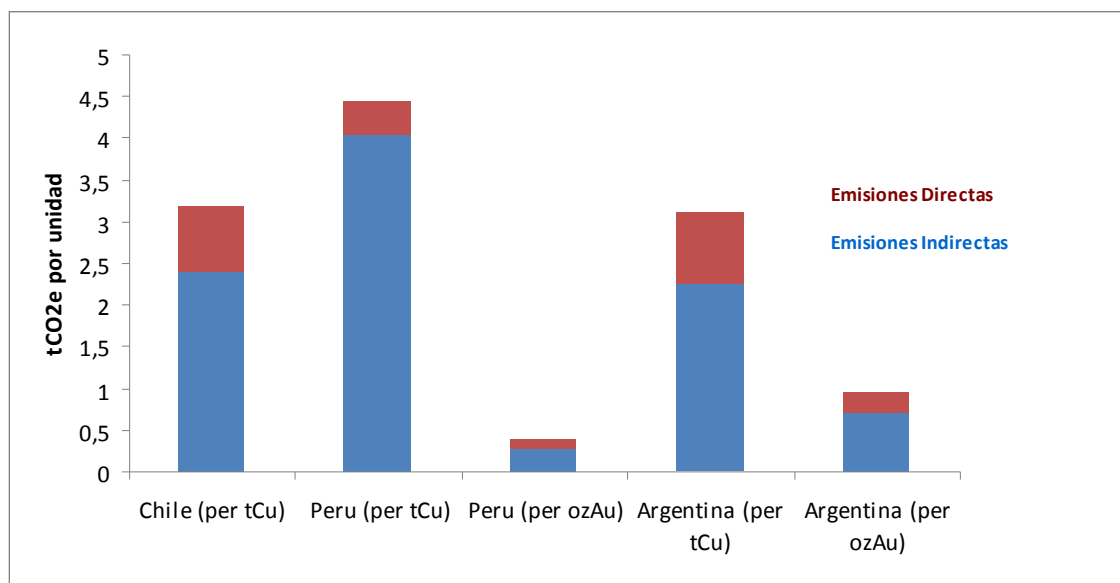


Figura 7: Muestra de emisiones directas e indirectas de la minería de metales<sup>32</sup>

### 4.3 Actuales opciones para reducir el consumo de energía y las emisiones GEI

La naturaleza de la industria minera que consume una gran cantidad de energía es responsable del alto volumen de emisiones de gases efecto invernadero asociadas a esta industria. Por esta razón, lograr grandes reducciones en los niveles de emisiones sin afectar la producción representa un gran desafío. En la década de los 90 y del 2000 se han hecho grandes avances en toda América del Sur para reducir la demanda de energía en las operaciones mineras implementando las mejores prácticas y modernizando los equipos de procesamiento de mineral. Esta sección analiza los procesos que utilizan el mayor volumen de energía dentro de la cadena de suministros de la minería y cuáles son las opciones disponibles para reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero.

#### 4.3.1 Manipulación de materiales

La manipulación de materiales es principalmente realizada por grandes equipos como cargadores, camiones y tolvas operadas con motores diesel. Representa aproximadamente el 17% del total de la energía consumida en toda la industria y hasta un 87% del total de la energía consumida asociada a la manipulación de materiales de toda la industria<sup>33</sup>. Para la minería de metales como es el caso del oro, cobre, plata, níquel, esto puede llegar a un 100% del consumo de energía asociado al transporte de mineral. La industria minera del carbón también utiliza correas transportadoras para llevar el carbón al área de procesamiento. El uso de las correas reduce el consumo de diesel asociado al manejo de carbón, sin embargo, aumenta el consumo de electricidad. Otros equipos que consumen electricidad en la industria minera del carbón son los cargadores, grúas, correas transportadoras y bombas para los ductos.

<sup>32</sup> El factor CEF del Sistema Interconectado de Argentina es de 0,4227 tCO2/MWh; el factor CEF del Sistema Interconectado de Chile es de 0,925 tCO2/MWh; El factor CEF del sistema Interconectado de Perú es de 0,747 tCO2/MWh

<sup>33</sup> Industria Minera del Futuro Año Fiscal 2004 Informe Anual, pg.6

Las compañías mineras constantemente estudian las oportunidades para reducir el consumo de energía asociado a la manipulación de materiales. A continuación aparecen algunos ejemplos que actualmente están siendo evaluados por las compañías mineras para reducir el consumo de combustible y las emisiones directas:

- i. Uso de combustibles alternativos: El uso de tecnologías alternativas para los combustibles en los grandes equipos diesel puede ser una opción atractiva para reducir la energía y las emisiones directas de gases de efecto invernadero. Entre las opciones se incluyen el *retrofit* (renovación) de los actuales equipos para operar con gas natural comprimido, lo que resulta particularmente interesante para los países que cuentan con abundantes depósitos de gas. Asimismo, los programas de investigación y desarrollo han estudiado el uso de pilas de combustible que contienen hidruro, y pilas avanzadas de combustible de potencia y control para los vehículos mineros usados para el transporte de mineral. Los biocombustibles representan una opción para reemplazar el diesel combustible fósil operado por el equipo de transporte para las operaciones mineras en los casos en que el desarrollo de los recursos bio-energéticos se encuentre cerca de las operaciones mineras. Mientras esta opción podría reducir de manera significativa las emisiones generadas por los equipos mineros, se requieren de grandes inversiones en infraestructura para las plantas de producción de biocombustible.
- ii. Mantenimiento constante de grandes equipos: El mantenimiento de grandes equipos es esencial para optimizar la eficiencia. Esto implica realizar mantenimientos constantes a los neumáticos, motores, equipos de carga, etc. El reemplazo de piezas con elementos compuestos y resistentes al desgaste ofrece algún potencial para maximizar la eficiencia y reducir el consumo de combustible.
- iii. Disposición de las faenas mineras: El diseño de una faena minera, particularmente en el caso de las minas en superficie, afecta la distancia en la que los materiales viajan a las instalaciones de procesamiento. Las compañías entrevistadas en este estudio analizaron las opciones de re-direccionamiento con las que se podría ahorrar de un 10 a un 15% de la distancia de recorrido y consumo de combustible de los camiones que transportan el mineral al sector de procesamiento. Otro ejemplo es la pendiente de las rutas de transporte a la faena. Las compañías mineras pueden usar la gravedad para maximizar la eficiencia en el transporte de materiales.
- iv. Aditivos de combustible: A pesar de que los beneficios aún no están probados, las compañías mineras están estudiando diferentes aditivos que podrían reducir el consumo de combustible.

#### 4.3.2 Chancado y Molienda

La conminución (el proceso de chancar y moler el mineral) es una de las tareas que consume la mayor cantidad de energía en la cadena de suministros. Este proceso representa un 44% del consumo de energía en la industria minera. El consumo de energía del proceso de chancado depende en gran parte de la eficiencia del proceso de excavación previo. Se están llevando a cabo iniciativas para desarrollar técnicas de extracción más avanzadas con el fin de reducir el consumo de energía en las etapas de chancado



posteriores del proceso. La etapa intermedia de chancado también tiene un impacto en la eficiencia del proceso de molienda.

Hay muchos motores, sopladores y bombas utilizadas para manejar y chancar el mineral. El dimensionamiento y mantenimiento de los motores utilizados en las plantas de procesamiento así como también el uso de motores ASD para las aplicaciones con diferentes cargas, son métodos estándar para reducir el consumo de electricidad asociado a la conminución. El uso de un software avanzado de modelamiento para las operaciones controladas por computador se encuentra en constante desarrollo para ofrecer una optimización en tiempo real para los procesos de molienda.

Existen diferentes soluciones según la clasificación entregada por el Programa de Tecnologías Industriales (ITP) para reducir el consumo de energía. Las soluciones están divididas en las siguientes áreas generales:

- Sensores avanzados para caracterizar el mineral
- Modelamiento de las operaciones de molienda en los molinos
- Nuevos materiales y superficies de desgaste
- Nuevas técnicas de excavación para optimizar el tamaño y la fragmentabilidad de las partículas

Algunas de las tecnologías que se encuentran en proceso de investigación y desarrollo son:

- Mejoramiento de la Eficiencia de los Molinos SAG*: Las minas están estudiando el uso de un software avanzado de simulación de molino SAG para determinar el movimiento de la carga dentro del molino. El software de simulación puede lograr una reducción de hasta 2-11% del consumo de energía del molino SAG y una reducción del 15-17% en el uso de energía para molienda<sup>34</sup>.
- Harneros Inteligentes para la Minería*: Los harneros inteligentes controlan el flujo de energía al panel de cribado y evitan la necesidad de mover toda la estructura de apoyo. El ITP estima que el peso de los motores se puede reducir en un 80% y la energía en un 50-95%<sup>35</sup>.
- Quemadores que operan a base de oxígeno*: El uso de quemadores que operan a base de oxígeno es un ejemplo de conservación de energía en el proceso de fundición. Sin embargo, es importante considerar la fuga de energía y emisiones en la producción de oxígeno.
- Tecnología de procesamiento seco (minería del carbón)*: La tecnología de dehalving en seco cerca del punto de extracción de las operaciones mineras en superficie ofrece la oportunidad de mejorar la eficiencia y los costos de energía relacionado con el transporte y procesamiento del carbón.

#### 4.3.3 Fundición

El proceso de fundición para producir cobre fino utiliza una gran cantidad de energía y la recuperación del calor residual en las fundiciones es otra opción factible del punto de vista técnico para reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero.

<sup>34</sup> Mosser, Mike, Laboratorio Nacional de Tecnología de Energía (US DOE) 2007: Tecnología Eficiente en términos de Energía para la Minería

<sup>35</sup> Mosser, Mike, Laboratorio Nacional de Tecnología de Energía (US DOE) 2007: Tecnología Eficiente en términos de Energía para la Minería

Un ejemplo es el reemplazo de un secador de tambor a petróleo por un secador a vapor operado con calor residual en un proceso de secado del concentrado de cobre. Este reemplazo desplazaría la necesidad de los combustibles fósiles y además bajaría la intensidad de la electricidad en el proceso de secado.

#### **4.4 Resultados de Argentina**

Los abundantes recursos minerales en Argentina han llevado a un aumento en las inversiones en operaciones mineras durante la última década convirtiendo al país en uno de los principales productores de cobre y oro de América Latina<sup>36</sup>. Con un rápido incremento en las actividades mineras, el sector energético ha comenzado a crecer en forma permanente para suplir las necesidades de las nuevas operaciones mineras y de aquellas en expansión.

Argentina mantiene un factor de emisiones de carbono (CEF) del sistema interconectado relativamente bajo en comparación con los otros países del estudio. Sin embargo, existe una tendencia al alza de las emisiones GEI debido a que hay más centrales energizadas a gas en el sistema interconectado de electricidad<sup>37</sup>. Esto ha producido un aumento en las emisiones unitarias asociadas al consumo de electricidad de las operaciones mineras.

A pesar de que el potencial de fuentes renovables como es el caso de la energía hidroeléctrica y eólica es alto, la inversión es relativamente baja en esos sectores y en consecuencia ofrece un potencial limitado en el mediano y corto plazo.

##### *4.4.1 Mitigación de las emisiones GEI*

###### *i. Reducción de emisiones de las operaciones mineras*

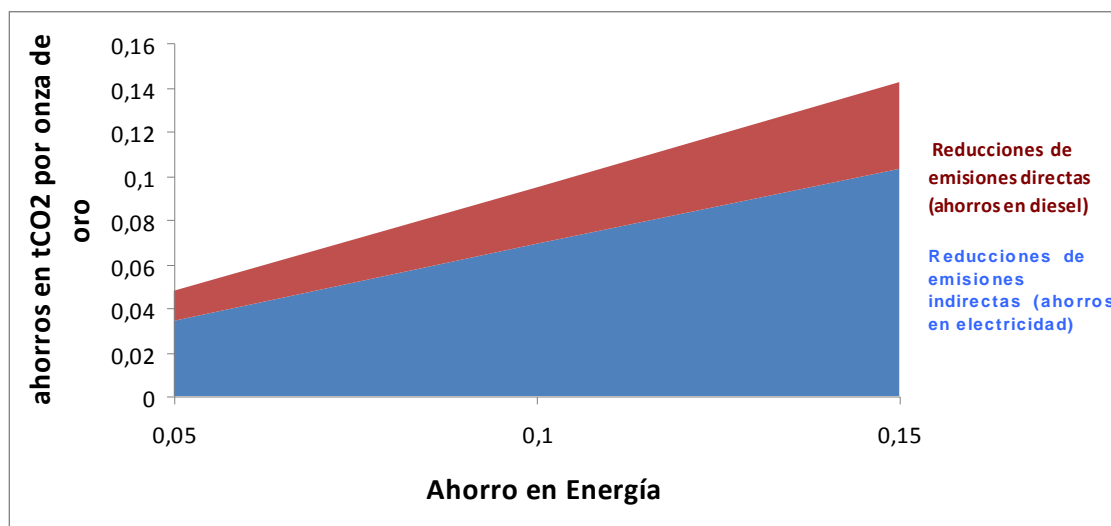
El análisis que se presenta a continuación estudia las oportunidades de ahorro de emisiones en base a medidas energéticas eficientes implementadas en la industria de la minería del oro y el cobre y su relación con las emisiones directas e indirectas.

El análisis estudia las emisiones del consumo de diesel y electricidad en las industrias del oro y cobre de Argentina tomando en consideración los factores de emisiones de carbono de cada fuente de energía (Figura 8). El alto consumo de electricidad para operar los equipos mineros en ese país contribuye significativamente al total de las emisiones de la industria. Los incentivos para reducir la electricidad ofrecerían la mayor oportunidad de disminuir las emisiones.

---

<sup>36</sup> Enciclopedia de las Naciones, Industria Minera de Argentina

<sup>37</sup> Factor CEF de 0,4227 tCO<sub>2</sub>e/MWh (Informe Anual de CAMMESA, 2004)

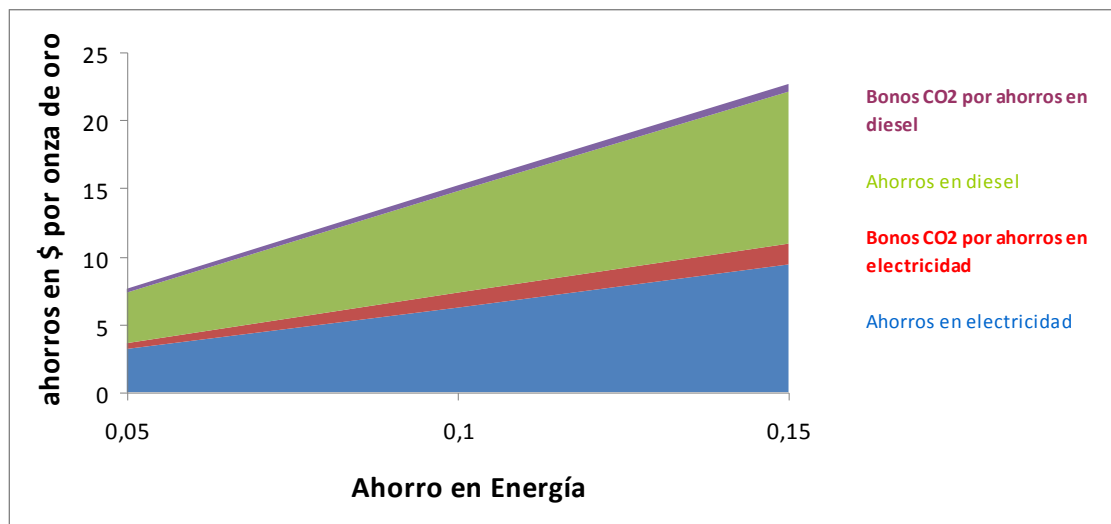


**Figura 8: Ahorros de CO2 en la industria minera del oro obtenidos de la eficiencia energética<sup>38</sup>**

El análisis de la energía y las emisiones GEI demuestra que los ahorros de electricidad de un 15% podrían reducir las emisiones unitarias en aproximadamente 100 kg de CO2 por onza de oro. Es importante considerar el valor de la energía y de las emisiones estudiando los precios locales de la energía y los escenarios donde los créditos de carbono puedan contribuir al incentivo general de reducir el consumo de energía. La Figura 9 que aparece a continuación presenta el actual valor del combustible y la electricidad en Argentina y el valor de los ahorros de CO2 a un precio de USD 15 por tonelada de CO2.

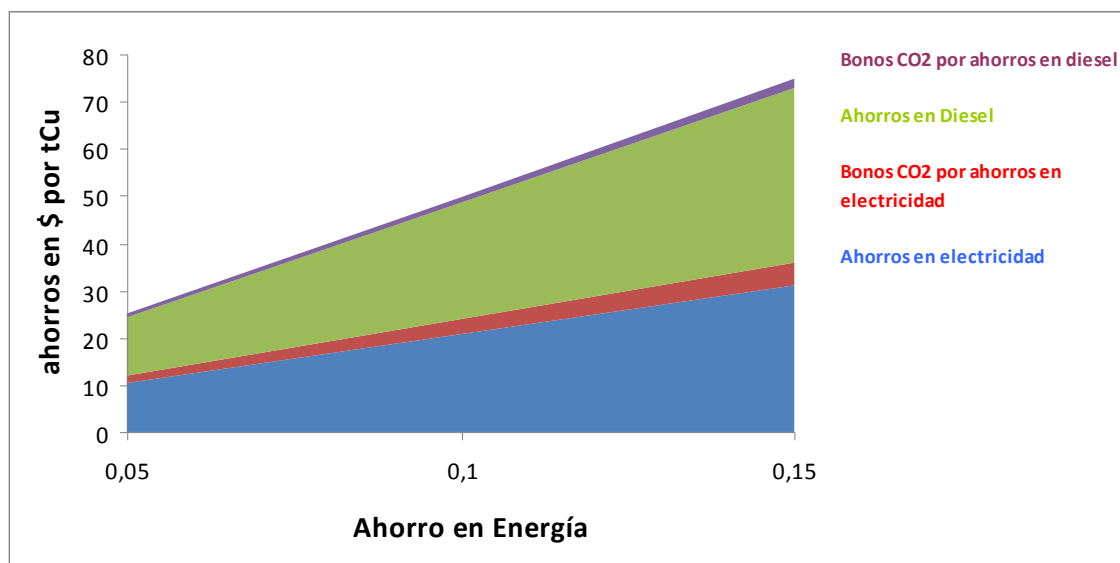
***A pesar de que el factor CEF del sistema interconectado de electricidad es bastante bajo, el financiamiento de carbono constituye una oportunidad atractiva de impulsar los ahorros de energía y reducir las emisiones.*** Debido a que el grueso de las reducciones de emisiones de la industria minera se logra a través de ahorros en el consumo de electricidad, el mercado de carbono podría incentivar la industria para reducir las emisiones indirectas. ***Además, el precio del diesel en Argentina hace que la conservación de electricidad sea casi tan económica como el diesel para la industria minera del oro, especialmente al considerar el financiamiento de carbono además de los ahorros de electricidad.***

<sup>38</sup> Factor CEF de 0,4227 tCO2/MWh, consumo unitario de energía de 1,628 MWh y 26 galones por onza de oro



**Figura 9: Energía y ahorros de CO2 para la industria minera del oro en Argentina<sup>39</sup>**

La Figura 10 que aparece a continuación muestra el mismo análisis para la industria del cobre en Argentina. Esta industria también podría usar créditos de carbono para manejar las reducciones en el consumo de electricidad y así disminuir las emisiones indirectas. De manera similar a lo que sucede en la industria minera de oro, las emisiones directas relacionadas con el ahorro del diesel son insignificantes en comparación con los ahorros de emisiones indirectas relacionadas con la electricidad. El precio del combustible diesel representado en la figura siguiente servirá como el principal impulsor para incentivar las medidas que apuntan a la eficiencia energética y que llevan a una disminución de las emisiones directas.



**Figura 10: Ahorros de energía y CO2 para la industria minera del cobre en Argentina**

<sup>39</sup> El precio de la electricidad es de US\$38,6/MWh, el precio del diesel es de US\$2,86/gal, el precio del carbono es de US\$15/ton

Debido a que muchas de las faenas mineras han iniciado sus operaciones sólo recientemente, es probable que los nuevos proyectos empleen las mejores tecnologías disponibles para optimizar su consumo de energía. Esto podría reducir las opciones de *retrofit* (renovación) de las operaciones para lograr una mayor optimización del consumo de energía.

#### 4.5 Resultados de Chile

El crecimiento sostenido en la industria minera ha estimulado el sector energético donde actualmente el cobre consume el 73% de la electricidad del sistema interconectado SING en la zona norte y el 18% de la producción de energía del sistema interconectado central (SIC) en la zona central del país. La industria del cobre representa aproximadamente el 75% del total de la demanda de energía de la minería y consume el 32% de la electricidad generada y el 6% de los combustibles del país<sup>40</sup>.

Chile posee cuatro sistemas privados de distribución de electricidad. El Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) suministra electricidad a la desértica región norte donde se encuentran gran parte de las operaciones mineras y representa aproximadamente el 28,4% del total de la capacidad instalada. El Sistema Interconectado Central (SIC) representa aproximadamente el 65,5% de la capacidad instalada y alimenta la zona central del país donde se encuentra más del 90% de la población. El consumo del sector minero se ha intensificado en el sistema interconectado SING donde gran parte de la producción de electricidad se obtiene de la energía térmica. El resto de la capacidad instalada se encuentra en los sistemas interconectados de Aysén y Magallanes, los que combinados, aportan menos del 1% de la generación eléctrica de Chile.

Históricamente, Chile ha mantenido un factor de emisiones de carbono relativamente bajo (CEF)<sup>41</sup> donde la hidroelectricidad y el gas natural son los principales elementos que alimentan el sector de la energía. El déficit en el suministro de gas natural ocurrido a comienzos de 2004, dio como resultado un aumento en la generación de combustible diesel y de petróleo combustible, particularmente en el sistema interconectado del norte (SING), donde la mayor parte de la minería es centralizada. ***Las emisiones de gas de efecto invernadero en la industria de la minería del cobre han aumentado en 48%, es decir, de 11,5 a 17 millones de toneladas de CO2 equivalente durante el período 2004 a 2008<sup>42</sup>. Se espera que las emisiones de carbono en el 2012 sean 273% del valor que éstas registraron en el año 2000, y que la electricidad sea 220% mayor en 2012 que en 2000.***

Mientras que la producción de cobre disminuyó en 2008, el consumo total de energía aumentó en aproximadamente 9% llegando a 22.869 MJ por tonelada de cobre fino<sup>43</sup>. El

<sup>40</sup> COCHILCO - Comisión Chilena del Cobre COCHILCO

<sup>41</sup> Sistema SING y CEF fue de 0,9525 tCO<sub>2</sub>e/MWh en 2008; el Sistema SIC fue de 0,3249 tCO<sub>2</sub>e/MWh en 2008; Consumo de Energía y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para la Minería del Cobre 2008, COCHILCO

<sup>42</sup> Consumo de Energía y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para la Minería del Cobre 2008, COCHILCO

<sup>43</sup> Consumo de Energía y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para la Minería del Cobre 2008, COCHILCO

análisis realizado por COCHILCO reveló que los aumentos en el consumo unitario de energía se atribuyen a una disminución en la ley del mineral, al aumento de las distancias hacia las instalaciones de procesamiento, a los cambios en los productos finales y a la tecnología minera.

La alta dependencia en la electricidad térmica en la región minera de Chile representa una barrera significativa en la industria para reducir las emisiones indirectas. El crecimiento se ha mantenido relativamente constante en los últimos años, sin embargo las fluctuaciones en el suministro de energía han estimulado la explotación de las centrales a carbón y generado altos niveles de emisiones con opciones limitadas aparte de la eficiencia energética en las operaciones mineras y cambios en la combinación electricidad-combustible. Mientras el potencial de fuentes renovables de energía tales como la energía eólica, solar y geotérmica continua siendo alto, la inversión es relativamente baja en estos sectores y por lo tanto ofrece un potencial limitado en el mediano y corto plazo.

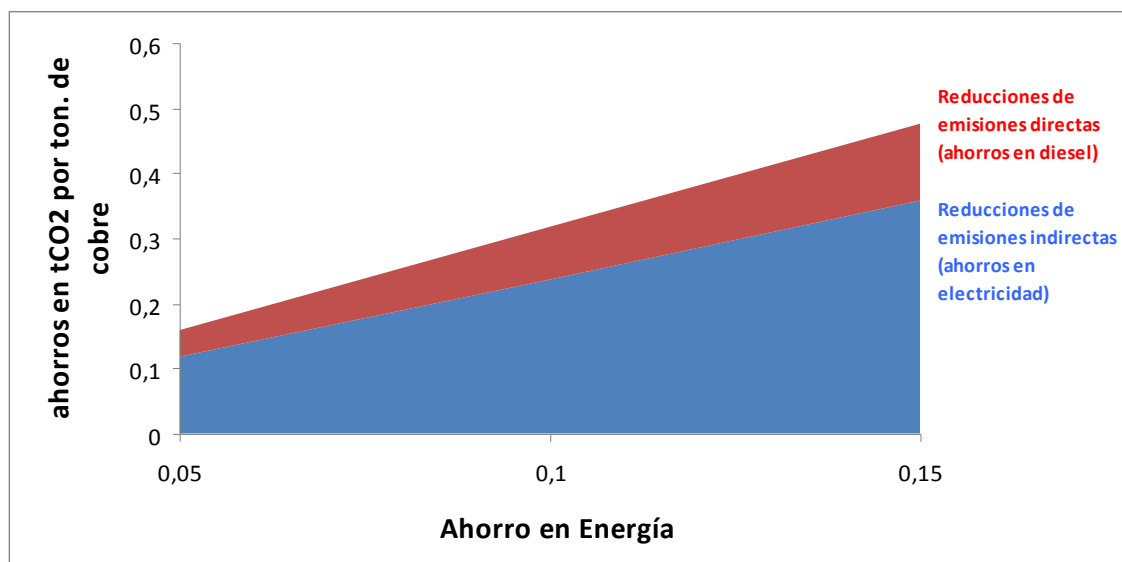
#### 4.5.1 Mitigación de las emisiones GEI

##### i. Reducción de emisiones de las operaciones mineras

Las oportunidades de reducir energía del proceso de conminución analizado anteriormente, ofrecen técnicas y tecnología que podrían beneficiar significativamente la industria minera en Chile en términos de reducción de las emisiones indirectas. Esto podría resultar en grandes reducciones de emisiones indirectas debido a la alta intensidad de las emisiones del sistema SING que suministra energía a la industria minera en Chile.

El siguiente análisis investiga las oportunidades de ahorro de emisiones como resultado de las medidas de eficiencia energética tomadas en la industria del cobre debido a su relación con las emisiones directas e indirectas. La minería del cobre es analizada debido a que es el sector minero económicamente más significativo para Chile. El análisis estudia las emisiones relacionadas con el consumo de diesel y electricidad en la industria minera del cobre de Chile tomando en consideración los factores de emisiones de carbono generados por cada fuente de energía. ***El alto consumo de electricidad requerido para operar los equipos mineros en Chile aporta un volumen significativo al total de emisiones generadas por la industria.***

La **Figura 11** que aparece a continuación representa el potencial de reducción de emisiones para el consumo de diesel y electricidad a través de medidas de eficiencia energética. La figura siguiente muestra que la mayoría de los ahorros totales de emisiones son posibles gracias a reducciones en el consumo de electricidad. Esto es principalmente el resultado de la alta intensidad de las emisiones del sistema SING.



**Figura 11: Ahorros de CO2 para la industria minera del cobre obtenidos de la eficiencia energética<sup>44</sup>**

Las medidas de eficiencia energética que reducen el consumo de electricidad en las operaciones mineras podrían tener un impacto significativo en la reducción de los actuales niveles de emisiones indirectas. La **Figura 11** demuestra que se podría obtener un 15 por ciento de ahorro en electricidad en una reducción unitaria de más de 350 kg de CO2 por tonelada de cobre. ***Mientras la industria minera mantiene un control limitado sobre las emisiones de carbono asociadas a la generación de energía, la alta intensidad de las emisiones del Sistema Interconectado Eléctrico le permite a la industria alcanzar grandes reducciones unitarias de emisiones como resultado de las medidas de eficiencia energética implementadas en las faenas mineras.***

Es importante considerar el valor de la energía y las emisiones para comprender mejor dónde es económicamente factible lograr las mayores reducciones en los niveles de emisiones. Considerando el valor de la energía y el carbono presentado en la **Figura 12**, el financiamiento de carbono puede tener un impacto significativo sobre la economía de los ahorros de electricidad en las operaciones mineras en Chile.

Sin embargo, el costo de los combustibles en Chile es relativamente alto y por lo tanto, los ahorros en diesel reducirán los costos de producción más que los ahorros de electricidad, aun considerando el financiamiento de carbono. Debido a que el mayor volumen de las emisiones de la industria minera logra ahorros en el consumo de electricidad, el mercado de carbono puede servir como un instrumento para incentivar a la industria a reducir las emisiones indirectas.

<sup>44</sup> Factor CEF de 0,925 tCO2/MWh, emisiones unitarias de 2,57 MWh y 4,81 galones de diesel por tonelada de cobre fino

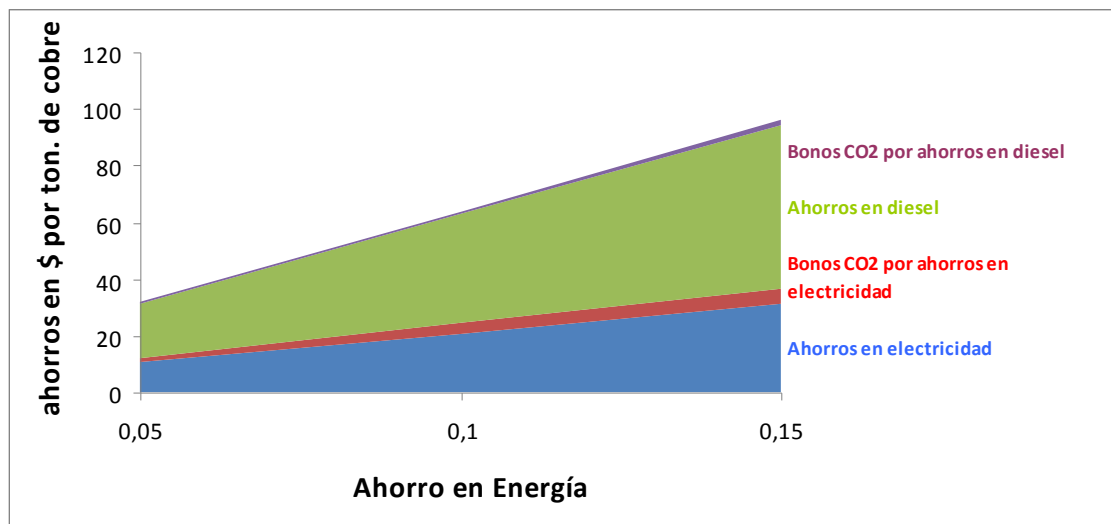


Figura 12: Ahorros de energía y CO2 para la industria minera de cobre en Chile<sup>45</sup>

El valor del carbono para el combustible diesel es relativamente irrelevante si se compara con el costo del combustible. Por lo tanto, los ahorros en diesel se deben al alto costo del combustible más que al valor del carbono obtenido del ahorro de emisiones, según se indica en la **Figura 12**.

#### ii. *Iniciativas actuales para reducir las emisiones*

Las compañías mineras en Chile han llevado a cabo diferentes iniciativas para reducir el consumo de energía. El 80% de las compañías entrevistadas reveló que están empleando las mejores prácticas a pesar de que el reemplazo de equipos y la iluminación no estaban dentro de sus prioridades. Asimismo, diferentes compañías revelaron que la capacitación del personal era un componente integral de su estrategia de reducción de energía en tanto que otras compañías consideraron el mantenimiento permanente de los grandes equipos y el reemplazo de ellos.

Se comprometió a las compañías mineras en el tema de la reducción de gases de efecto invernadero y a pesar de que aún se discuten los compromisos voluntarios de reducción, hay unas cuantas iniciativas tangibles aparte de la eficiencia energética en los procesos internos, principalmente impulsadas por el alto costo de la energía. El 80% de las compañías entrevistadas consideran la eficiencia en los procesos internos como un método para reducir las emisiones. La mayoría de las compañías ha establecido metas voluntarias de emisiones en base a la intensidad, sin embargo, ninguna de ellas analizó la opción de usar compensaciones de carbono. Aproximadamente el 40% de las compañías entrevistadas considera efectuar inversiones en fuentes renovables de energía.

#### 4.6 Resultados de Colombia

La minería en Colombia ha experimentado un crecimiento sustancial en los últimos años, particularmente en el sector de la explotación del carbón duplicando su capacidad en la última década y alcanzando una producción de 50 millones de toneladas en el 2004. En

<sup>45</sup> El precio de la electricidad es US\$80,5/MWh, el precio del diesel es US\$4,81/gal, y el precio del carbono es US\$15/ton.



Colombia se encuentra El Cerrejón - la mina de carbón a rajo abierto más grande de América Latina - que aumentó su producción a más de 30 millones de toneladas de carbón en 2008.

La distribución de la capacidad de generación de Colombia se obtiene principalmente a través del Sistema Interconectado Nacional (SIN) que cubre aproximadamente un tercio del país y suministra electricidad al 96% de la población. Diferentes sistemas pequeños locales de Zonas interconectadas (ZNI) dan servicio a aproximadamente el 4% de la población con una capacidad de generación basada en el diesel<sup>46</sup>.

En comparación con otros países incluidos en el estudio, Colombia tiene un bajo factor de emisiones de carbono (CEF)<sup>47</sup> debido al alto aporte de la hidroelectricidad al sistema interconectado eléctrico y a la capacidad térmica compuesta principalmente por gas natural. A pesar de que el factor de emisiones CEF del sistema interconectado de Colombia es bajo desde un punto de vista relativo, esto ha aumentado levemente en los últimos años debido a la diversificación de este sistema el cual considera un mayor volumen de generación térmica. Esta tendencia se ha implementado para reducir la dependencia del país en la energía hidroeléctrica.

#### 4.6.1 Mitigación de las Emisiones GEI

##### i. Reducción de emisiones de las operaciones mineras

Las emisiones de la industria minera del carbón en Colombia son generadas por el consumo de electricidad y combustible en los procesos de extracción y manipulación de materiales y por las emisiones fugitivas de metano durante el proceso de extracción del carbón. Las emisiones directas están compuestas por el consumo de combustible y las emisiones fugitivas y las emisiones indirectas por el consumo de electricidad.

A diferencia de los otros países considerados en este estudio, **las emisiones directas generadas por las actividades mineras representan la principal fuente de emisiones de la industria minera del carbón en Colombia.** Esto se debe principalmente al bajo factor de emisiones del sistema interconectado eléctrico junto con las emisiones fugitivas de metano provenientes de la industria minera del carbón. Las emisiones directas también son generadas por el consumo de combustible para operar la maquinaria pesada en las faenas mineras.

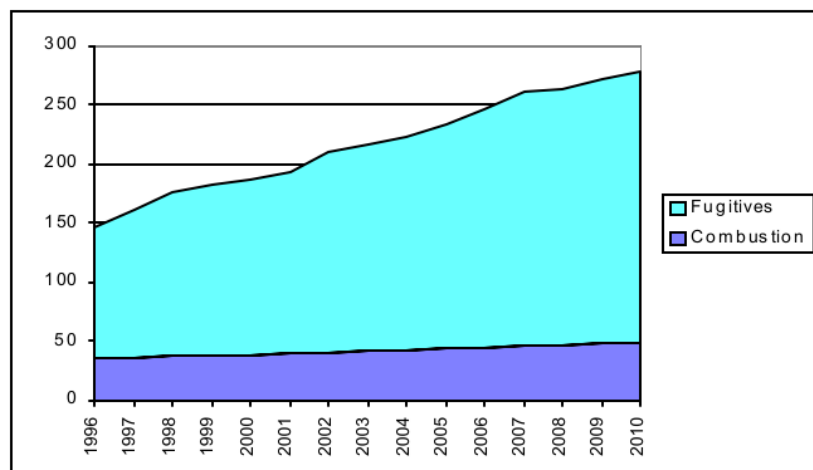
El metano liberado durante las operaciones mineras de carbón contribuye en gran medida al total de emisiones generadas por la industria minera en Colombia. El metano gaseoso almacenado en las vetas de carbón es liberado durante el proceso de pre-drenaje y extracción, lo que resulta en un fuerte aumento de las emisiones de metano provenientes de las actividades mineras. En consecuencia, una gran oportunidad de reducir las emisiones directas en Colombia se logra a través de la destrucción y/o utilización del metano de las minas de carbón (MMC) extraído antes de llevar a cabo las operaciones mineras. Actualmente, el potencial realizar proyectos MMC es relativamente limitado debido a que la mayoría de las operaciones se efectúa en minas en superficie, sin embargo, a medida que las compañías perforan vetas más profundas, aparecerán más oportunidades.

---

<sup>46</sup> Desarrollos Económicos Recientes en Infraestructura en Colombia (REDI), 2004

<sup>47</sup> 0,413 tCO<sub>2</sub>/MWh

De acuerdo con la Agencia de Protección del Medio Ambiente de EE.UU. (US EPA), las emisiones de metano generadas por las actividades mineras de carbón en Colombia podrían aumentar de 3,4 MtCO<sub>2</sub>e en 2005 a 5,5 MtCO<sub>2</sub>e en 2020. Con el aumento en las exploraciones de los depósitos de carbón, las emisiones de metano generadas por las actividades mineras también aumentarán. La tendencia de las emisiones fugitivas de metano (Figura 13) indica un aumento total de 146.000 toneladas en 1996 a más de 250.000 en 2008.



**Figura 13: Emisiones de Metano en ktCH<sub>4</sub> en el Sector de la Energía<sup>48</sup>**

El siguiente estudio analiza el rol de la eficiencia energética para lograr reducir las emisiones. A diferencia de los otros países considerados en este estudio, la **Figura 14** muestra que la mayor oportunidad de reducir emisiones en base a la eficiencia energética se concentra en las máquinas operadas con diesel (indicadas en la **Figura 14**). Más de 4 toneladas de emisiones directas pueden ser reducidas por cada 1000 toneladas de carbón, logrando un 15 por ciento de eficiencia.

<sup>48</sup> Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Colombia (2000), Academia Colombiana de Ciencias

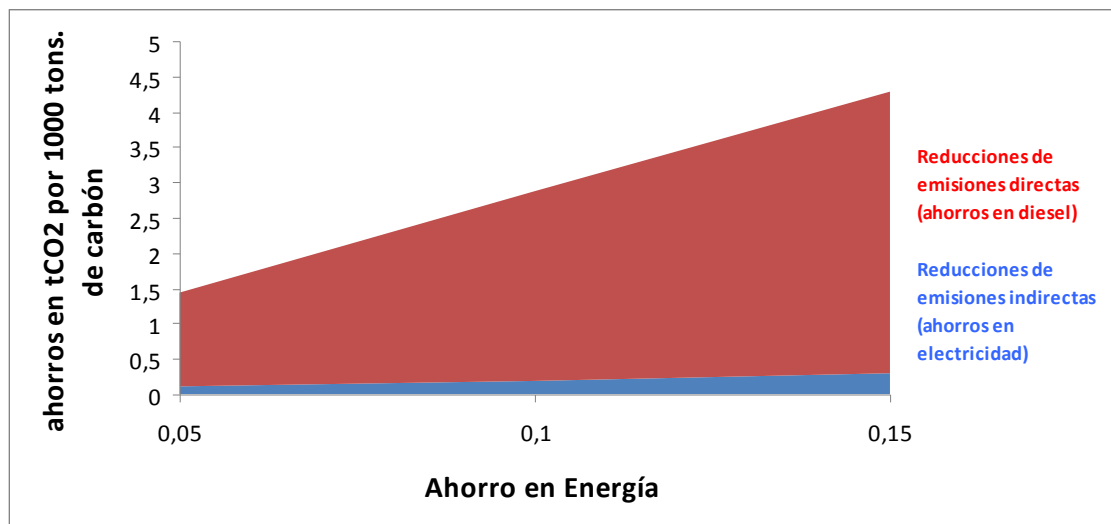


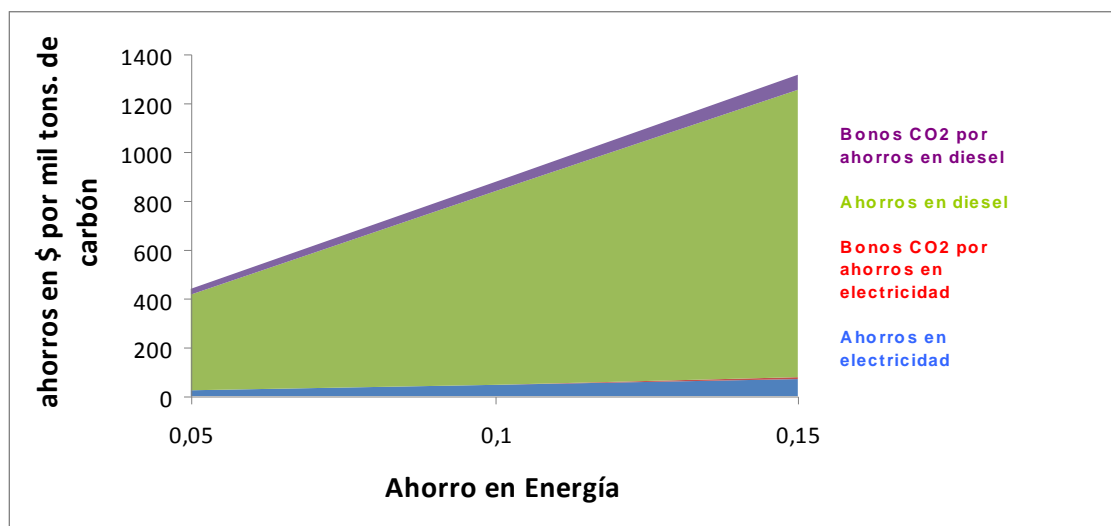
Figura 14: Ahorros de CO2 por eficiencia energética en las minas de carbón<sup>49</sup>

La industria minera del carbón utiliza palas eléctricas para los procesos de extracción, y carros de arrastre para el transporte del mineral. Las conversaciones sostenidas con compañías mineras durante el proceso de entrevistas revelaron la intención de modernizar los grandes equipos y conservar la energía eléctrica, lo que podría resultar en una disminución de las emisiones indirectas. A pesar que la eficiencia de la energía eléctrica podría representar una opción para las compañías mineras en Colombia, la **Figura 14** demuestra que los ahorros son relativamente bajos (aproximadamente 250 kg por mil toneladas de carbón).

Para comprender mejor de qué manera las emisiones de energía y de CO2 afectan los costos de producción del carbón, el siguiente estudio analiza el rol del financiamiento de carbono y el precio de los combustibles con el objetivo de incentivar la conservación de energía. La **Figura 15** presenta la fijación de precios de la energía y el carbono para demostrar a qué áreas económicas es necesario apuntar para lograr mejoramientos en la eficiencia. Es posible lograr ahorros de más de US\$1200 por 1000 toneladas de carbón mejorando la eficiencia de los equipos diesel en hasta un 15%. Esto está impulsado por el precio y la cantidad de combustible consumido por la industria minera del carbón.

El carbón contribuye en aproximadamente USD 25-30 de las emisiones directas y en menos de USD 5 de las indirectas para lograr ganancias en términos eficiencia de 15% por mil toneladas de carbón.

<sup>49</sup> El Factor de Emisiones de Carbono (CEF) del Sistema Interconectado es de 0,413 tCO2/MWh, el consumo unitario de energía es de 4,75 MWh y 2665 galones de combustible por 1000 toneladas de carbón.



**Figura 15: Ahorros de energía y CO2 para la industria minera del carbón en Colombia<sup>50</sup>**

Similar a lo que sucede con los otros países considerados en este estudio, **el costo del diesel continuará siendo el principal impulsor para que las compañías mineras concentren sus esfuerzos en el ahorro de combustible para los grandes equipos.** Dado el moderado consumo de electricidad en la industria minera del carbón, y el bajo factor CEF del sistema interconectado, el financiamiento de carbono no es un factor significativo al considerar la reducción de emisiones de esta fuente de energía.

Por lo tanto, resulta difícil incentivar los ahorros de energía en esta industria con financiamiento de carbono debido a que las reducciones de emisiones asociadas al diesel y la electricidad no contribuyen significativamente en los costos de producción implícitos. Como se puede observar en la **Figura 15** de arriba, es altamente probable que los precios de la energía continúen siendo el principal impulsor para lograr la eficiencia energética.

#### *ii. Iniciativas existentes para reducir las emisiones*

Las compañías mineras de Colombia están llevando a cabo diversas iniciativas para reducir el consumo de energía. Todas las compañías entrevistadas revelaron que están empleando las mejores prácticas, e indicaron que la mantención permanente de los equipos nuevos era fundamental para maximizar la eficiencia. A pesar de que aún están en discusión los compromisos de reducción voluntarios, existen unas cuantas iniciativas tangibles además de la eficiencia energética en los procesos internos y la reducción de las emisiones fugitivas que se están considerando.

#### **4.7 Resultados de Perú**

La minería representa el mayor crecimiento en la demanda por electricidad en Perú. La demanda por energía en el sector industrial ha crecido sustancialmente durante las últimas dos décadas y se espera que continúe creciendo a un ritmo anual de 2,7% hasta el año 2030.

<sup>50</sup> El precio de la electricidad es de US\$97,5/MWh, el precio del diesel es de US\$2,95/gal, el precio del carbono es de US\$15/ton.

La mayor parte de la capacidad de generación en Perú es en base a energía térmica e hidroeléctrica, con menos de un 1% generada por otras fuentes renovables. El Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), que abastece aproximadamente al 85% de la población, distribuye la mayoría de la capacidad de generación.

Perú mantiene un factor de emisiones de carbono (CEF)<sup>51</sup> moderado debido a la capacidad de generación relativamente balanceada basada en la hidroelectricidad y el gas natural. Sin embargo, la evolución del sector energético para incluir un mayor porcentaje de generación en base a gas natural producirá un aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la electricidad. El rápido crecimiento de la industria minera durante la década de los 90 ha contribuido a un aumento en las emisiones asociadas al consumo de energía. Debido a la disminución en las leyes de los minerales, es probable que se requiera más energía para la manipulación y procesamiento de los materiales, lo que se traducirá en un aumento de las emisiones.

#### *4.7.1 Mitigación de las emisiones GEI*

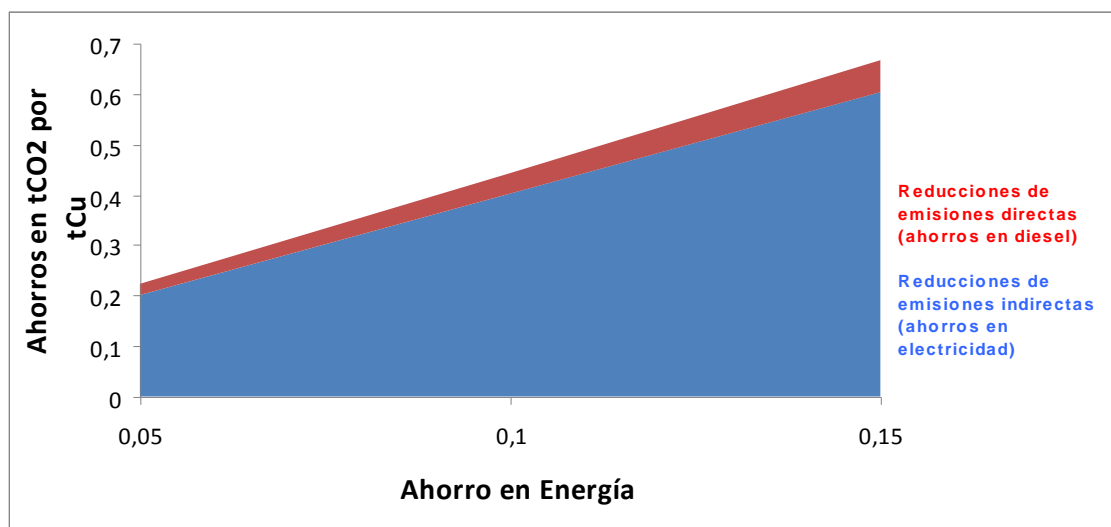
##### *i. Reducción de emisiones de las operaciones mineras*

Las compañías mineras en Perú dependen considerablemente de la electricidad suministrada por el sistema interconectado. La naturaleza de la industria que consume un gran volumen de energía hace difícil lograr grandes reducciones en los niveles de emisiones sin generar impactos en la producción. A pesar de esto, las compañías entrevistadas para el estudio analizaron diversas iniciativas orientadas a reducir las emisiones, principalmente relacionadas con la conservación de energía generada por los combustibles y la electricidad.

El alto consumo de electricidad requerido para la operación de equipos mineros en Perú contribuye significativamente al total de emisiones de la industria. La **Figura 16** muestra ***iniciativas para reducir el consumo de electricidad y ofrece las mayores oportunidades para reducir las emisiones en base al factor CEF del sistema interconectado SEIN.***

---

<sup>51</sup> 0,747 tCO<sub>2</sub>e/MWh; Centro de Investigación de Energía de Holanda



**Figura 16: Ahorros de CO2 para la industria minera del oro obtenidos de la eficiencia energética<sup>52</sup>**

La industria minera del oro en Perú podría reducir aproximadamente 40 kg de CO2 indirecto por onza de oro para obtener ahorros en electricidad de un 15%, lo que representa una cantidad razonable de ahorros de emisiones para productores de grandes volúmenes. Las emisiones directas son producidas casi exclusivamente por la operación de grandes equipos diesel necesarios para la manipulación de materiales, mientras que las emisiones indirectas provienen principalmente del procesamiento del mineral.

***Los ahorros de diesel representan la mayor oportunidad que permite a la industria minera del oro reducir los costos de producción dado el alto costo de los combustibles. Sin embargo, el valor del carbono asociado a los ahorros de electricidad representa un gran aporte al valor de la electricidad, lo que sugiere que el financiamiento de carbono sería un impulsor muy útil para promover la conservación de la electricidad (Figura 17).***

<sup>52</sup> Factor CEF de 0,747 tCO2/MWh, consumo unitario de energía de 0,356 MWh y 12 galones por onza de oro.

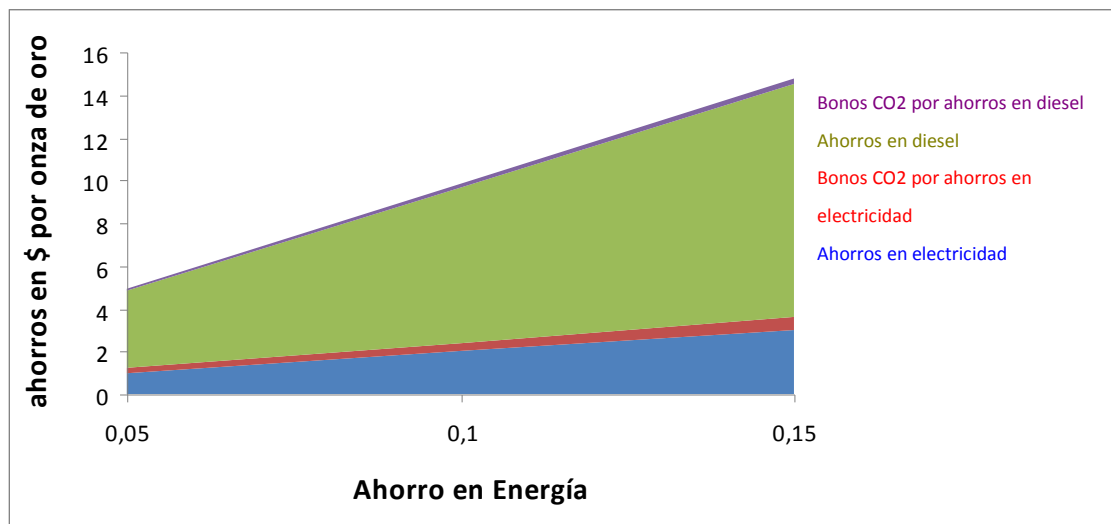


Figura 17: Ahorros de energía y CO2 para la industria minera del oro en Perú<sup>53</sup>

La **Figura 18** que aparece a continuación presenta el mismo análisis para la industria minera del cobre en Perú. Los ahorros alcanzados en esta industria a través de medidas de eficiencia tienen un impacto tanto en las emisiones directas como indirectas. Debido a que la industria minera del cobre depende más de la electricidad suministrada por el sistema interconectado, el carbono puede jugar un rol significativo para impulsar la eficiencia energética en las operaciones mineras. A diferencia de la industria minera del oro, los ahorros de electricidad obtenidos de la producción de cobre lograrán una mayor reducción en los costos de producción que los ahorros del diesel. Al definir el precio del carbono en el análisis resulta mucho más atractivo implementar medidas para reducir el consumo de electricidad donde una reducción de un 15 por ciento podría disminuir los costos de producción en más de 50 USD por tonelada de cobre fino.

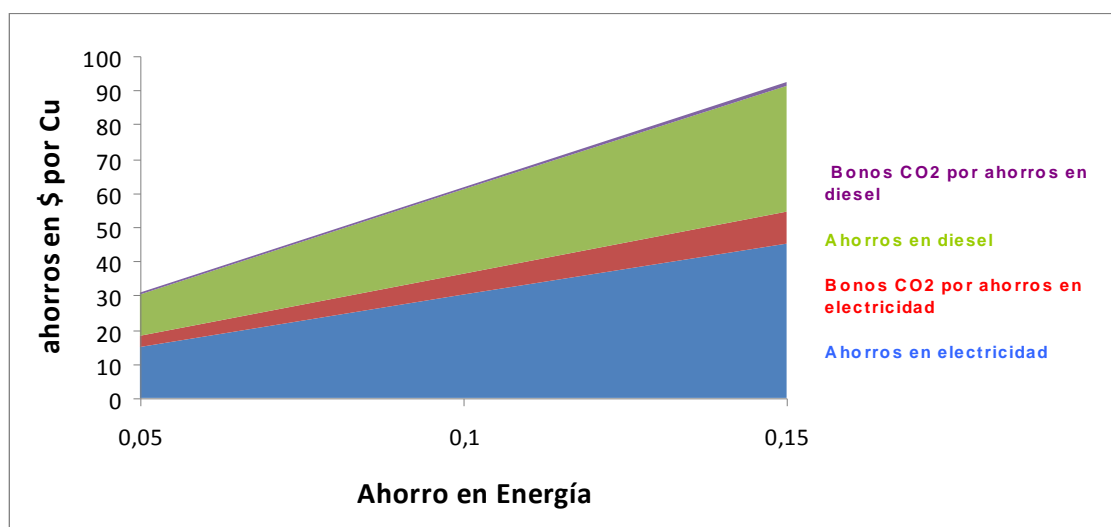


Figura 18: Ahorros de energía y CO2 para la industria minera del cobre en Perú

<sup>53</sup> El precio de la electricidad es US\$55,8/MWh, el precio del diesel es US\$6,09/gal, y el precio de carbono es US\$15/ton

*ii. Iniciativas existentes para reducir las emisiones*

Las compañías mineras de Perú han desarrollado iniciativas para reducir el consumo de energía. La mitad de las compañías entrevistadas está empleando las mejores prácticas, el 50% de ellas mencionó el mantenimiento y reemplazo permanente de los grandes equipos. El 75% de las compañías ha considerado diferentes oportunidades para reducir emisiones a través de la eficiencia energética en las faenas mineras. Dos compañías cuentan con ambiciosos planes para desarrollar energía renovable y combustibles alternativos para los equipos mineros. Además, se consideran planes para que la maquinaria pesada opere con gas natural comprimido (GNC) o biocombustibles. La mitad de las compañías también analizó la posibilidad de usar aditivos en los combustibles para reducir las emisiones GEI.

#### **4.8 Opciones de mitigación del mercado de carbono internacional**

Los resultados a nivel país analizaron el impacto del valor del carbono en el proceso de producción para diferentes medidas de eficiencia energética implementadas por la industria minera. Para considerar el valor de las reducciones de carbono que la industria podría alcanzar, esta sección analiza de qué manera se puede realizar el financiamiento de carbono a través de los mercados internacionales de compensación de carbono y cuáles son las restricciones que han impedido que las compañías mineras puedan capitalizar sus iniciativas.

##### *4.8.1 Protocolo de Kyoto y Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM)*

El 11 de diciembre de 1997, se adoptó en Japón el Protocolo de Kyoto (PK) en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). Posteriormente en 2005, la ratificación de Rusia aumentó el volumen de emisiones cubiertas por el PK a más de 55% de las emisiones de las naciones desarrolladas. Una vez alcanzado este umbral, el PK entró en vigencia el 16 de febrero de 2005. A la fecha, 184 partes miembros del CMNUCC, han ratificado el PK.

Durante la Séptima Conferencia de las Partes (COP 7) efectuada en Marrakesh en 2001, se determinaron las reglas para la comercialización de emisiones a través de un conjunto de normas conocidas como los Acuerdos de Marrakesh. La comercialización de emisiones en base a lo establecido en PK se lleva a cabo a través de 3 “mecanismos flexibles”. Dos de estos mecanismos – la comercialización de emisiones y la Implementación Conjunta (IC) - se llevan a cabo entre naciones desarrolladas, partes miembro del PK, conocidas como las naciones del Anexo I. El Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM) permite la acreditación de proyectos de reducción de emisiones en el mundo en vías de desarrollo, eventualmente usados para compensar los objetivos de emisiones del Anexo I.

##### *Análisis de las restricciones del mecanismo CDM para la industria minera*

Actualmente, no existen proyectos CDM dentro de la industria minera en América del Sur debido a que la naturaleza basada en proyectos de este mecanismo no se ajusta a esta compleja industria que consume grandes volúmenes de energía.

La siguiente sección describe las principales desventajas de CDM para la industria minera:

- i. *Integración de procesos y fugas*: Los procesos mineros son altamente integrados desde la etapa de extracción hasta la obtención del producto final. La eficiencia de cada paso depende significativamente de la eficiencia de las etapas anteriores y por



- lo tanto resulta difícil identificar oportunidades separadas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La integración de los procesos hace difícil cuantificar las reducciones de emisiones debido a que una ganancia en términos de eficiencia en un área podría generar un aumento de las emisiones en otra. Por ejemplo, en aquellos lugares donde los procesos están cambiando a modernos equipos eléctricos, el consumo directo de energía podría disminuir, sin embargo, las emisiones indirectas podrían aumentar debido a las altas emisiones atribuidas a la generación de electricidad.
- ii. Demostración de adicionalidad: El continuo aumento en los precios de la energía en los países del estudio, especialmente en Chile y Argentina, constituye un incentivo permanente para que las compañías empleen las mejores prácticas y maximicen la eficiencia energética. CDM ha sido diseñado como un mecanismo “basado en proyectos” donde es necesario aislar cada iniciativa para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, calculando el escenario de línea base e identificando de qué manera el proyecto contribuye a la reducción de emisiones. De acuerdo a CDM, la actividad de proyecto debería demostrar la adicionalidad al proceso “business-as-usual” (igual que siempre), que las compañías deberían haber procurado desarrollar en ausencia del financiamiento de carbono. Por lo tanto, el concepto de adicionalidad está abierto en gran medida a la subjetividad y representa una barrera importante para que la industria minera desarrolle proyectos orientados a reducir emisiones.
  - iii. Créditos: En muchas regiones del estudio, como por ejemplo en Chile, la mayor oportunidad para reducir emisiones se encuentra en el sector energético donde el cambio al mix de combustibles o la energía renovable compensa la generación basada en combustibles fósiles. El sector está realizando grandes esfuerzos por disminuir la intensidad de las emisiones de carbono del sistema interconectado de manera que las compañías mineras no podrían reclamar créditos para reducciones de emisiones a menos que invirtieran en proyectos energéticos.

#### 4.8.2 Tipos de proyectos CDM que se superponen a procesos mineros

Dentro del sector minero existen numerosas oportunidades para reducir las emisiones GEI, sin embargo, tienen posibilidades limitadas de usar el marco de referencia CDM. Esto se debe a que este marco está diseñado para abordar iniciativas en base a proyectos en lugar de hacerlo en base a operaciones. De acuerdo con el mecanismo CDM, cada proyecto dentro de una operación minera general debe cumplir con una línea base aprobada y con una metodología de monitoreo que describe los procedimientos necesarios para cuantificar y monitorear las reducciones de emisiones logradas por la actividad de proyecto.

Los siguientes tipos de proyecto CDM presentan algún grado de superposición con las iniciativas desarrolladas para reducir las emisiones provenientes de las operaciones mineras:

- i. Eficiencia energética orientada a la demanda: Este tipo de proyecto implica el uso de una tecnología más eficiente para optimizar el consumo de energía de uso final. Diferentes metodologías CDM a pequeña escala, tales como AMS-II.C<sup>54</sup>, cuantifican la reducción de emisiones para los proyectos que reducen hasta 60 GWh/año.

<sup>54</sup> <http://cdm.unfccc.int/>

- ii. Recuperación de calor residual en fundiciones: La recuperación del calor residual es una oportunidad analizada en las fundiciones. El potencial de recuperación de calor puede alcanzar a 10-15 MW en las grandes fundiciones. La metodología consolidada ACM0004<sup>55</sup> para el gas y/o calor residual utilizada en la generación de energía, cuantifica las emisiones para este tipo de actividad de proyecto.
- iii. Fuentes renovables para la generación de energía: Dependiendo de la escala de desarrollo de la energía renovable, se pueden aplicar diferentes metodologías CDM. Para proyectos de menos de 15 MW, se recomienda utilizar la metodología a pequeña escala AMS-I.D<sup>56</sup> para desarrollar el proyecto de acuerdo con lo establecido en CDM. Los proyectos a gran escala podrían utilizar la metodología consolidada ACM0002<sup>57</sup> para la energía renovable conectada al sistema interconectado.
- iv. Cambio de combustibles fósiles: Las medidas para cambiar los combustibles fósiles en el sector energético reducen la intensidad del carbono del combustible principal utilizado para la generación de electricidad. En los casos en que estas medidas implican sustituir productos de carbón o petróleo por gas natural, es posible aplicar la metodología consolidada ACM0009<sup>58</sup>.
- v. Transporte: Sólo algunos de los proyectos que se rigen por el mecanismo CDM pueden optar a los créditos para la reducción de emisiones en el sector del transporte. Las actividades de proyecto que implican la introducción de vehículos con bajas emisiones para los proyectos de transporte pueden optar a la metodología AMS-III.C<sup>59</sup> a pequeña escala para reducir las emisiones de vehículos que emiten bajos niveles de gases de efecto invernadero. El cambio de combustibles fósiles a biocombustibles que no se originan del petróleo residual actualmente no cuentan con una metodología CDM aplicable.

#### 4.8.3 Benchmarking Sectorial

Un enfoque sectorial implica acciones organizadas por parte de productores clave en un sector específico de la industria y por parte de los gobiernos anfitriones que aborden las emisiones GEI de sus productos y procesos dentro del marco de referencia de la CMNUCC. Las acciones específicas y los objetivos establecidos diferirían entre cada sector dependiendo de las tecnologías y características de la estructura de cada uno de ellos. La adopción de un enfoque sectorial incentivaría la participación de un rango más amplio de países. Pondrá más atención a los sectores que consumen grandes volúmenes de energía, llevará a los países en vías de desarrollo a participar en los esfuerzos relacionados con la mitigación del cambio climático, mitigará los problemas de competitividad y logrará la reducción de emisiones GEI promoviendo el desarrollo y la transferencia de tecnología.

De este modo, las industrias con un alto consumo de energía como la minería, se han orientado hacia un enfoque sectorial para la cuantificación de la reducción de emisiones, demostrando la adicionalidad y utilizando las mejores tecnologías disponibles. Debido a que los procesos de la cadena de suministro para la minería son altamente complejos e

<sup>55</sup> <https://cdm.unfccc.int/UserManagement/>

<sup>56</sup> <http://cdm.unfccc.int/UserManagement/>

<sup>57</sup> <https://cdm.unfccc.int/UserManagement/>

<sup>58</sup> <http://cdm.unfccc.int/UserManagement/>

<sup>59</sup>

integrados, un enfoque de acreditación sectorial combina diferentes opciones para reducir emisiones.

Para el sector de la minería, el benchmarking de la mitigación de emisiones a través de un proceso CDM reestructurado o a través de un esquema multi-sectorial, multi o unilateral aún no definido, debería ofrecer un acceso más fácil al mercado de carbono que lo que ha ocurrido hasta este momento. A medida que la industria se relaciona proactivamente con el mercado del carbono, es probable que las oportunidades de mitigación antes desconocidas, ahora se vuelvan evidentes.

## 5 Conclusiones

---

Los impactos del cambio climático y los consiguientes costos económicos son inquietudes que deben ser abordadas por los gobiernos y las industrias. Este estudio representa un primer paso para analizar las implicancias físicas del cambio climático en la industria minera de América del Sur y determinar cuáles son las opciones de adaptación y mitigación disponibles.

Los cambios en los patrones de precipitación y en las temperaturas en toda la región de América del Sur afectarán significativamente la disponibilidad de agua de las industrias y comunidades en el futuro. Considerando que la industria minera depende significativamente del agua para sus procesos operacionales, las implicancias del cambio climático en la disponibilidad de este recurso en la región son suficientemente alarmantes como para justificar acciones inmediatas que permitan comprender y adaptarse mejor a la posible escasez de agua en el futuro. Más aún, hay señales que sostienen que es posible reducir, demorar e incluso evitar muchos de los impactos generados por el cambio climático aplicando medidas preventivas orientadas al manejo de los recursos hídricos en el contexto del cambio climático.

***Ni las medidas de adaptación ni mitigación pueden evitar todos los impactos generados por el cambio climático, sin embargo, pueden complementarse entre sí y en forma conjunta reducir significativamente las consecuencias adversas.*** Este estudio muestra que el cambio climático implicará ciertos costos, tanto en términos de adaptación como de mitigación, que deberán ser considerados por las industrias mineras donde las acciones anticipadas ofrecerán posibles beneficios competitivos.

### 5.1 Opciones de adaptación para la industria minera

En base al estudio realizado en Argentina, Chile, Colombia y Perú, surgen diversos y potentes mensajes.

Prácticamente todas las minas consideradas en Argentina y Chile ya en este año (2009) se encuentran en cuencas deficitarias, mientras que en Perú y Colombia el agua de las precipitaciones es más abundante en la mayoría de las cuencas incluidas en el estudio. La disponibilidad de agua acumulada por las precipitaciones en todas las cuencas disminuirá antes del año 2040. ***Todas las minas que se encuentren en cuencas deficitarias se verán presionadas a reducir el uso de agua aunque no aumenten su producción antes del 2040.*** Asimismo, las cuencas en transición pueden verse sometidas a mucha presión por reducir el uso del agua debido a las competitivas actividades sociales y económicas.

Estas condiciones generarán el empuje necesario para aumentar la eficiencia en el uso del agua. ***Alternativas de bajo costo tales como las tecnologías para el ahorro y reciclado de agua serán las primeras en ser adoptadas, seguidas de alternativas más costosas tales como swaps de agua, transporte de agua desde cuencas cercanas, uso de agua de mar y desalinización, siendo ésta última alternativa la más costosa y la que implica el mayor consumo de energía.***

La mayoría de las minas en Perú y Chile se encuentran en una franja al oeste de la Cordillera de los Andes y a menos de 200 km del Océano Pacífico, y dos minas en Colombia se encuentran cerca del Mar Caribe. Estas minas tendrán la opción de usar agua desalinizada o agua de mar. Esta alternativa no estará disponible para la mayoría de las minas de Argentina, que se encuentran al este de los Andes y a varios kilómetros de distancia del Océano Atlántico.

Desde la perspectiva de la actual disponibilidad de agua, es posible que la mayoría de las minas en Perú y Colombia puedan desarrollar una ventaja comparativa marginal con respecto a la mayoría de las minas en Chile, en términos de costos del agua. Asimismo, también es posible que en este contexto las minas en Argentina sean las que tengan las menores ventajas comparativas en términos de costos del agua.

Aun si se aplican las tecnologías más avanzadas en cuanto al ahorro, transporte y desalinización de agua en cada mina, es probable que la curva de costos para cada una de las industrias mineras consideradas, es decir, cobre, oro, zinc, níquel, carbón y hierro, cambie considerablemente entre un país y otro. Uno de los resultados podría ser la **emergencia de regiones con bajo costo de agua donde las oportunidades de extracción serán las que preferirán los futuros inversionistas**. Otro resultado podría ser que los aspectos económicos de los recursos hídricos afecten de tal manera a la mayoría de estas industrias que los mayores costos sean traspasados principalmente a los consumidores. En este caso, **la competitividad exportadora de los productos dependería de cuán rápido se preparen las compañías mineras para enfrentar estos costos**. En una economía donde el aporte de la industria minera al PIB es alto, la manera en la que las compañías enfrentan los posibles costos generados por el cambio climático será crítica.

En la actualidad, los costos del agua no se presentan separadamente en los informes anuales de las compañías debido a que usualmente son irrelevantes en comparación con otros costos operacionales. Esto probablemente cambiará en el futuro donde los costos del agua alcanzarán valores más altos.

Finalmente, **la relación entre agua y costos de energía probablemente aumentará en el futuro debido a que un porcentaje significativo de la energía se destinará a obtener y administrar el agua**. El uso cada vez mayor de la energía para el manejo del agua puede tener consecuencias importantes para los países incluidos en el estudio con respecto al aumento en las emisiones de dióxido de carbono, si los combustibles fósiles continúan siendo la alternativa preferida para la generación de energía.

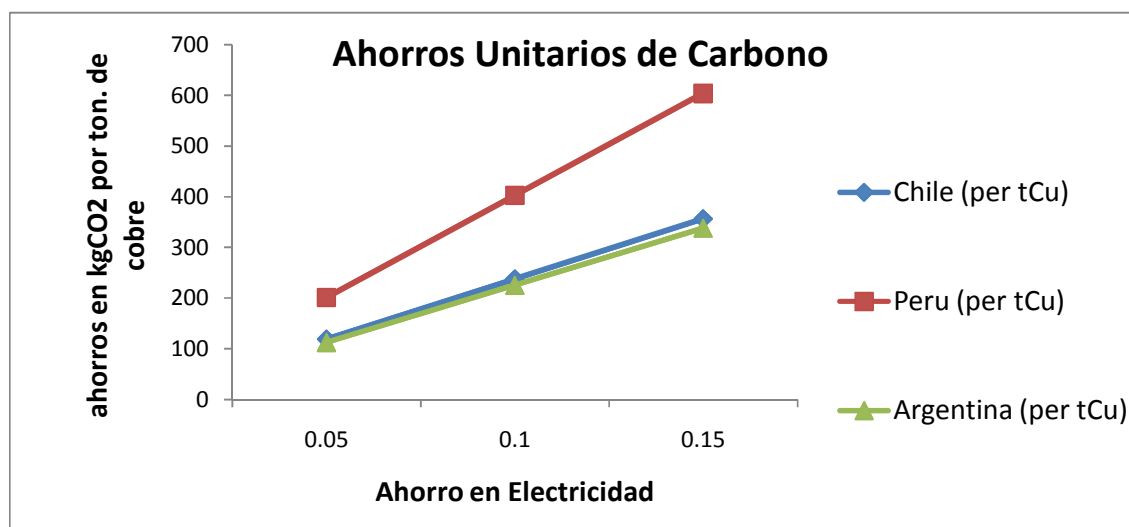
## 5.2 Opciones de mitigación para la industria minera

Los procesos que consumen más energía en la cadena de suministros para la minería, es decir los procesos de conminución y manejo de materiales, constituyen el 61% del uso general de energía en toda la industria minera. Como resultado de lo anterior, las opciones de mitigación con un alto potencial se basarían en disminuir las emisiones directas de estos procesos. Entre las oportunidades específicas de eficiencia energética se incluirían el uso de combustibles alternativos, el mantenimiento permanente de los grandes equipos y el uso de

quemadores que operan en base a oxígeno. **Colombia representa el mayor potencial para la reducción de emisiones provenientes de fuentes directas.**

La mayoría de las emisiones indirectas dentro de la industria minera provienen de la generación de electricidad utilizada para las operaciones mineras. Aproximadamente el 85% de la electricidad es utilizada por los equipos de procesamiento de mineral que operan con motores que son alimentados casi exclusivamente por el sistema interconectado. Por lo tanto, los cambios en el factor de emisiones de carbono del sistema interconectado tienen un alto impacto en las emisiones indirectas. En consecuencia, los países como Chile que han estado sometidos a grandes cambios en el sector de la electricidad, con la incorporación de fuentes de energía que tienen factores de emisión de carbono más altos en el sistema interconectado, han experimentado un sorprendente aumento de las emisiones indirectas mientras la eficiencia minera general se ha mantenido constante. **Las reducciones de emisiones indirectas dentro de la industria minera representan la mayor oportunidad de mitigación en Argentina, Chile y Perú.**

Una evaluación de los ahorros unitarios de carbono provenientes de los ahorros en la electricidad demuestra algunas conclusiones clave para los sectores del cobre en todos los países del estudio. El sector registra uno de los mayores ahorros de carbono (kgCO<sub>2</sub>) por tonelada de cobre debido a la alta demanda de electricidad para el procesamiento de mineral y electro-winning (Figura 21). A pesar de que la demanda de electricidad en Chile, Perú, y Argentina es similar, la diferencia en el factor de emisiones de carbono del sistema interconectado juega un rol significativo en determinar el potencial de ahorro de las emisiones. El factor CEF del sistema interconectado es más bajo en Perú, y las operaciones mineras de cobre analizadas en este estudio registran una eficiencia energética menor que las de Chile, por lo tanto, se pueden lograr mayores ahorros de emisiones unitarias. Argentina representa la menor oportunidad de ahorro de emisiones unitarias en la industria minera del cobre debido a que las operaciones mineras son relativamente nuevas y el factor CEF del sistema interconectado se encuentra entre los más bajos.



**Figura 21: Valor unitario de CO<sub>2</sub> obtenido de los ahorros de electricidad en la industria minera del cobre**

***Aparte de la minería de carbón en Colombia, los ahorros de electricidad provenientes de la eficiencia energética representan la mayor oportunidad de reducir las emisiones asociadas a las operaciones mineras para todos los otros sectores considerados en este estudio.***

*Mercados internacionales de carbono y oportunidades de mitigación*

Varias de las medidas de eficiencia energética para reducir las emisiones GEI se superponen con los tipos de proyectos que pueden optar a los mercados internacionales de carbono. Los proyectos energéticamente eficientes desde la perspectiva de la demanda, los proyectos orientados a la recuperación de calor residual en las fundiciones y los proyectos relativos al cambio de combustibles fósiles representaron el mayor potencial de mitigación. Sin embargo, ***la naturaleza basada en proyectos del mecanismo CDM actualmente no es adecuada para la acreditación de reducciones de gases de efectos invernadero en la industria minera.*** Las limitaciones que impiden el desarrollo de estos proyectos según lo establecido en CDM, incluyen la demostración de adicionalidad, problemas asociados a la tenencia de créditos y las fugas e integración de procesos. El actual diálogo internacional que incentiva las reformas CDM y que considera un enfoque de *benchmark* sectorial se alejaría de la naturaleza basada en proyectos del mecanismo CDM, abordaría las restricciones clave y les facilitaría a estos proyectos el acceso al mercado de carbono.

***En los países con un alto factor de emisiones en el sistema interconectado, la eficiencia energética con el consumo de electricidad es particularmente sensible a la fijación de precios del carbono y, por lo tanto, podría beneficiarse del enfoque sectorial de la acreditación de emisiones que incluye múltiples iniciativas para la conservación de energía.*** A pesar de que un porcentaje considerable de las emisiones provenientes de las operaciones mineras son atribuibles a las emisiones directas del consumo de combustibles líquidos, los altos costos de los combustibles, principalmente el diesel, actuará como el principal impulsor para promover la eficiencia energética en esta área. La industria minera del carbón de Colombia es el principal sector investigado en este informe que casi indiscutiblemente requiere del financiamiento de carbono para impulsar medidas de eficiencia con respecto a las emisiones directas provenientes del diesel.

El estudio indica claramente que uno de los impactos claves del cambio climático que deben enfrentar la industria minera en Argentina, Chile, Colombia y Perú se refiere a los serios déficits en las principales cuencas hidrológicas que suministran agua. Para estar mejor preparados para esta eventualidad y minimizar los efectos adversos en la competitividad en los costos de sus productos, se deben considerar las medidas de adaptación sugeridas e implementarlas lo antes posible. Asimismo, existen numerosas oportunidades de mitigación dentro y fuera de los mercados internacionales del carbono, que probablemente contribuirán a disminuir los impactos del cambio climático en la industria minera. Esta industria debería adoptar medidas de adaptación y mitigación para comprender, considerar y manejar adecuadamente los riesgos presentados por el cambio climático.

## Anexo 1 Metodología

### A. Metodología de Adaptación

#### i. Geografía, clima y cuencas

Selección de la Compañía Minera: Para este estudio, se seleccionaron tres industrias o “sectores” mineros en Argentina, Chile, Perú y Colombia. El primer criterio utilizado fue que estos sectores debían incluir los principales metales y minerales que contribuyen al PIB de cada país. Estos fueron cobre, oro y posiblemente plata en Argentina, cobre, oro y hierro en Chile, cobre, oro y zinc en Perú, y carbón y níquel en Colombia. Por lo tanto, el oro y cobre es común en tres de los cuatro países y sirve de base de comparación y punto de referencia. El segundo criterio fue que para cada uno de los sectores, las compañías mineras seleccionadas fueron aquellas que aportaron más del 50% de la producción de cada uno al país. Y finalmente, se seleccionaron las grandes minas de cada sector, ya que un estudio detallado de ellas entregaría información relevante acerca de algunas variables cruciales que afectan la demanda hídrica. En lo posible, las minas seleccionadas para el estudio abarcan un amplio rango de condiciones geográficas.

Ubicación y descripción de las condiciones climáticas y de las cuencas: Cada una de las minas seleccionadas está asociada a una cuenca hidrográfica determinada. Los límites de estas cuencas están tomados de diferentes fuentes. En el caso de Chile, corresponden al conjunto oficial de cuencas determinadas por la Dirección General de Aguas (DGA), la agencia local a cargo de los Recurso Hídricos. En los otros países del estudio, la delineación de las cuencas se estableció a través de internet<sup>60</sup>. En esta sección, se describen brevemente las condiciones climáticas de las diferentes cuencas donde se encuentran las minas seleccionadas. Estas condiciones climáticas base están tomadas de datos climatológicos previamente cuadrículados para América del Sur.

Métodos para estimar la disponibilidad hídrica: Idealmente, un análisis de disponibilidad hídrica en las diferentes cuencas donde se encuentran estas minas debería considerar un estudio de las condiciones hidrológicas y de los diferentes usuarios de este recurso en las cuencas. Debido a restricciones de tiempo y recursos, no ha sido posible realizar un análisis detallado, en lugar de ello, se propone usar los datos climatológicos básicos (y proyectados) para estimar la disponibilidad hídrica en un período anual desde un punto de vista hidrológico general. Este enfoque se basa en las relaciones empíricas utilizadas frecuentemente entre precipitación y temperatura para estimar los déficits y disponibilidad de agua. Una de estas relaciones fue desarrollada por Turc (1961) y se presenta a continuación. La fórmula de Turc ha sido ampliamente utilizada y probada en diferentes escenarios hidrológicos (ej. Federer et al. 1996; Houerou, 2004; Lu et al., 2005). El método

<sup>60</sup> Las fuentes de información relacionadas con la delimitación de cuencas se indican a continuación:

- General para América del Sur: Portal de GEO DATOS de la UNEP. <http://geodata.grid.unep.ch/>
- Específica para Chile: La información fue entregada por la DGA
- Específica para Perú: Las cuencas fueron bajadas del Ministerio de Energía y Minas del Perú ([www.minem.gob.pe](http://www.minem.gob.pe)). Link directo: [http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/mapas/mapas\\_cuencas.htm](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/mapas/mapas_cuencas.htm)
- Específica para Argentina y Colombia: Se utilize información descargada la página web de U.S. Geological Survey web page(<http://hydrosheds.cr.usgs.gov/>)



define la evapotranspiración como la diferencia entre precipitación y escurrimiento, y la considera como déficit hídrico.

$$D = P - Q$$

El valor de D se calcula de acuerdo con las características meteorológicas de cada cuenca, es decir, precipitación anual y temperatura promedio. Turc (1961) adaptó una familia de curvas establecidas a partir de la observación de 254 cuencas y definió la siguiente expresión:

$$D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P}{L}}}$$

Donde el parámetro L incluye la temperatura media anual como:

$$L = 300 + 25 T + 0,05 T^2$$

Finalmente, la disponibilidad hídrica en cada cuenca será la diferencia entre las precipitaciones y el déficit de agua:

$$Q = P - D$$

El uso de este tipo de fórmula es útil para comprender, desde un punto de vista hidroclimatológico, el grado al cual una cuenca se encuentra sometida a estrés hídrico. Sin embargo, no toma en consideración el uso real de agua en la cuenca, y por lo tanto, no podría diferenciar dos cuencas que podrían ser similares desde un punto de vista climatológico, pero diferentes debido a que el uso de agua es mayor en una que en otra. Tampoco incorpora otras fuentes de agua obviamente relacionadas con el ciclo hidrológico anual (es decir, suministro de aguas subterráneas o derretimiento de glaciares).

A pesar de estas limitaciones, (que podrían ser mejoradas en un análisis posterior más detallado) el uso de esta fórmula se ajusta a los objetivos de alto nivel que este proyecto desea alcanzar.

Eventos extremos: La descripción de la ocurrencia de eventos extremos en las faenas mineras se obtuvo de entrevistas y cuestionarios a compañías mineras.

Tendencias en el uso del agua: Se llevó a cabo un análisis de la demanda hídrica, incluyendo un análisis de los factores que afectan esta demanda y su relación con la disponibilidad de agua. Esta parte del análisis se basa en las entrevistas y cuestionarios. Los procesos de extracción utilizados por las industrias mineras consideradas en este estudio son similares; sin embargo, los procesos empleados para la recuperación de metal difieren considerablemente. Estas diferencias se analizaron con respecto al uso del agua. La información relativa a la demanda de agua se obtuvo principalmente de informes de sustentabilidad de diversas compañías y de otras fuentes bibliográficas.

## ii. Escenarios futuros

Disponibilidad hídrica: Un componente importante de este estudio es la estimación de disponibilidad hídrica futura. La proyección climática, en base a escenarios únicos, y las proyecciones futuras de disponibilidad hídrica fueron analizadas para el período 2010 - 2040. En el marco básico utilizado para este análisis, la disponibilidad futura de agua es una función de las condiciones climatológicas futuras. Hay una amplia variedad de condiciones climatológicas que dependen de los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y del modelo climático global (MCG) utilizado para simular las condiciones climáticas globales futuras asociadas a estos escenarios de emisiones. En base al conjunto de MCG disponibles (se utilizaron 21 modelos en el último informe IPCC) se ha decidido utilizar las proyecciones basadas en el Modelo Hadley Center (HadCM3) de la Oficina Meteorológica del Reino Unido,

Este modelo representa correctamente las condiciones climáticas en América del Sur en base a los resultados del trabajo de *downscaling* (reducción de escala) efectuado por los grupos de investigación del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil (INPE) y al Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile. Los resultados de este modelo también se están usando en los Estudios Económicos Regionales Sobre Cambio Climático en América Latina (RECCS) que se están desarrollando como un trabajo coordinado entre la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) el Banco Interamericano de Desarrollo (IADB) y los Gobiernos del Reino Unido, Dinamarca y España.

Existen también diferentes escenarios de emisiones de GEI asociados a los diferentes niveles de proyecciones de condiciones económicas y población para el futuro (SRES). En base al enfoque a mediano plazo del análisis (2010-2040) y considerando las recientes tendencias en las emisiones GEI, se han escogido los resultados del escenario de altas emisiones A2<sup>61</sup>. El periodo de tiempo considerado en el análisis es de 30 años, entre el 2010 y 2040. Debido a que la minería es una actividad económica basada en un recurso agotable, no es recomendable proyectar condiciones para marcos de tiempo mayores.

Con estos cambios tanto en la temperatura como en las precipitaciones, se modificaron las condiciones base para estimar las condiciones climáticas futuras de cada cuenca. Con estas nuevas condiciones climáticas y usando las mismas formulas presentadas en las secciones anteriores es posible estimar la disponibilidad de agua futura (no indicada aún).

Eventos extremos: El resultado mensual de los eventos de precipitaciones pasadas y futuras obtenido de los Modelos de Clima Global no se adapta correctamente a los cambios de estimación en las condiciones climáticas extremas debido a su resolución gruesa espacial y temporal. Por lo tanto, se decidió no utilizar esta información para inferir cambios en este aspecto crítico.

Demanda hídrica futura: En un comienzo se pretendía que este proyecto estimara la demanda hídrica futura en base a consideraciones relacionadas con proyecciones de producción a largo plazo. Sin embargo, la falta de datos confiables y comparables de cuestionarios e Informes de Sustentabilidad impide su desarrollo.

---

<sup>61</sup> Para el periodo de tiempo considerado, las proyecciones climáticas presentan una leve desviación, por lo tanto no es demasiado relevante qué escenario de emisión se utilice.

### iii. Evaluación de los impactos generados por el cambio climático, oferta y demanda de agua

Se requiere hacer una comparación de las proyecciones de oferta y demanda para estimar los impactos del cambio climático en las actividades mineras de América del Sur. Las proyecciones de disponibilidad hídrica se basan en la metodología explicada anteriormente. Sin embargo, no fue posible, dentro del alcance de este proyecto, realizar las proyecciones de demanda hídrica. A pesar de esto, se puede asumir que en las faenas mineras que presentan escasez de agua antes del 2040, se habrán implementado las mejores tecnologías disponibles (BAT) para la recuperación de agua de acuerdo con la tecnología actualmente en uso en 2009. Por lo tanto, el consumo de agua debería ser el que corresponde a BAT. Es importante considerar que independiente de la tecnología utilizada, es muy probable que la demanda de agua aumente en el futuro, especialmente si se considera que en el pasado reciente se ha producido un crecimiento constante de la producción minera anual de 2,5%.

El uso de la estimación de demanda hídrica es mayor para los casos de cobre, zinc y níquel, debido a que se considera la disminución en las leyes de mineral y el aumento en la relación estéril a mineral, ambos factores que influyen en la demanda hídrica por tonelada de metal producido. En el caso del oro, la cantidad de material explotado es irrelevante en comparación con las industrias masivas como el caso del cobre, níquel, zinc, hierro y carbón. Esta puede ser una de las razones de por qué los indicadores de demanda hídrica por tonelada de metal son tan altos para el caso del oro. En el caso del carbón y el hierro, la ley de mineral y la relación de estéril a mineral no juegan un rol tan clave como en las otras industrias y por lo tanto las estimaciones deberían ser más simples.

## B. Metodología de Mitigación

La conciencia ambiental y los altos precios de la energía han contribuido a las significativas mejoras en la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al proceso de extracción y beneficio en la industria minera. Esta industria ha apuntado a las mejores prácticas y tecnologías operacionales para reducir el consumo de energía y contribuir a la rentabilidad general en la cadena de suministros. Sin embargo, en muchas de las regiones del estudio propuesto, las tendencias de crecimiento en el sector de energía han llevado a un aumento en las emisiones indirectas asociadas al consumo de electricidad debido a que la demanda ha sido satisfecha con la generación basada en combustibles fósiles. Este estudio analizará las oportunidades de reducir emisiones utilizando mecanismos internacionales tales como el Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM) del Protocolo de Kyoto, para generar ingresos externos a través de la venta de bonos de carbono. El análisis fue realizado en base a las siguientes metodologías.

### 1. Emisiones Mineras y de Gases de Efecto Invernadero

#### i. Fuentes de Emisiones

*Fuentes de emisiones directas:* Las emisiones directas incluyen aquellas producidas durante los procesos de extracción y beneficio. Existen diferentes fuentes de emisiones directas asociadas a los procesos de producción mineros, tales como:

- › Emisiones fugitivas de metano de las vetas de carbón subterráneas

- › Consumo de combustibles fósiles para los procesos de perforación, chancado, molienda, electrorefinado y transporte
- › Combustibles fósiles utilizados por la industria minera, compuestos principalmente por diesel, gasolina, petróleo combustible pesado, gas natural, carbón, carbón coke, etc.

Fuentes de emisiones indirectas: Entre las emisiones indirectas se incluyen aquellas asociadas a los productos utilizados por la industria minera, como es el caso de la electricidad. Debido a que la industria minera es un gran consumidor de electricidad, ésta representará un componente muy importante de las emisiones de gases de efecto invernadero en regiones con un alto factor de emisiones del sistema interconectado atribuido a la electricidad generada con combustibles fósiles.

## ii. Métodos para Estimar Emisiones

Métodos para estimar emisiones directas: Las emisiones directas fueron estimadas para cada sector minero en cada país del estudio. La recopilación de los datos sobre emisiones relativos a procesos mineros específicos permitirán la identificación de oportunidades a nivel macro, de acuerdo con los potenciales mecanismos de compensación de carbono vigentes. EcoSecurities utilizará el siguiente procedimiento:

- › Recopilación de datos a través de cuestionarios y entrevistas en terreno a compañías mineras. La cuantificación de las emisiones provenientes de fuentes no fugitivas abordará el consumo de combustibles fósiles de la maquinaria que consume grandes volúmenes de energía y usará los factores de emisiones de carbono para estimar el total de las emisiones.
- › En los casos en que no existen datos específicos sobre emisiones, se hicieron aproximaciones en base a la escala de las operaciones mineras y a las cifras relativas al consumo de combustibles fósiles a nivel nacional.
- › Los datos fueron comparados con otras fuentes como el *Carbon Disclosure Project – CDP* (Proyecto de Divulgación del Carbono).

Métodos para estimar las emisiones indirectas: Las emisiones indirectas fueron cuantificadas principalmente en base al consumo de electricidad de los procesos mineros.

- › Los datos sobre consumo de electricidad fueron recopilados de los cuestionarios y entrevistas a las compañías mineras.
- › El uso de las bases de datos de EcoSecurities sobre Factores de Emisiones de Carbono (CEF) para la electricidad suministrada por el sistema interconectado en cada uno de los países incluidos en el estudio.

## iii. Monitoreo y elaboración de informes de las emisiones

Protocolos GEI: Diferentes protocolos de cuantificación GEI usados por las compañías para informar las emisiones de gases de efecto invernadero. Dependiendo de los requerimientos para la elaboración de informes GEI, las compañías pueden utilizar las siguientes metodologías para cuantificar sus emisiones GEI:

- › Protocolo GEI del Instituto de Recursos Mundiales (WRI) y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD)
- › ISO 14064-1
- › Factores de intensidad de emisiones por defecto IPCC

Elaboración de Informes de Emisiones GEI: Es posible que los países requieran que las compañías informen sus respectivos niveles de emisiones anuales de gases de efecto invernadero para el inventario nacional. Existen diversos lineamientos para que las compañías mineras informen voluntariamente las emisiones GEI, por ejemplo:

- › *Carbon Disclosure Project (CDP)*
- › Iniciativa Global para la Elaboración de Informes (GRI)
- › Informes de Sustentabilidad
- › Informes Anuales

El estudio analizará el estado de los procesos de monitoreo y elaboración de informes GEI

## **2. Oportunidades de Reducción de Emisiones**

### **i. Producción e intensidad de las emisiones**

Cambios en los procedimientos: El estudio analizará de qué manera los cambios de procedimientos en las prácticas operacionales pueden afectar la intensidad general de los gases de efecto invernadero por unidad de producción. Los cuestionarios y entrevistas a las compañías mineras se usarán para identificar qué iniciativas está desarrollando la industria para mejorar la eficiencia en todo el proceso de producción. Esta sección abordará, en particular, la forma en que se optimizan las tecnologías para reducir las emisiones y de qué manera la intensidad de las emisiones se compara con los diferentes procesos utilizados en la industria (por ej., electrorefinado vs. electrowinning).

### **ii. Opciones tecnológicas para reducir las emisiones directas e indirectas**

Eficiencia energética: La eficiencia energética representa una de las mayores oportunidades de reducción de emisiones para la industria minera y contribuye a su rentabilidad general. La información se recopilará a través de cuestionarios y entrevistas a compañías mineras para evaluar las actuales estrategias implementadas con el fin de mejorar la eficiencia general de los procesos.

Cambio de combustible: Esta medida representa un gran potencial de reducción de emisiones, especialmente en las regiones con acceso a gas natural y a fuentes de energía bajas en carbono como la biomasa o los residuos orgánicos. El estudio incluirá una descripción general del potencial de uso de combustibles bajos en carbono en el proceso minero y de generación de energía.

Energía renovable: El desarrollo de energía renovable es un método utilizado para reducir emisiones indirectas en el sector energético. Entre las muchas formas de energía renovable, la hidroelectricidad sustenta un potencial significativo para satisfacer las necesidades de energía de la industria minera. El uso de los modelos hidrológicos producidos para este estudio, permitió establecer dónde es posible aumentar la capacidad hidroeléctrica.

- › En las compañías que dependen considerablemente de la capacidad de generación eléctrica obtenida de las centrales térmicas, la co-combustión de biomasa ofrece una oportunidad enorme de lograr reducciones de emisiones indirectas de GEI. Esta oportunidad fue investigada a través de entrevistas realizadas a las compañías y los

ministerios. Los datos relativos a las instalaciones de producción de energía fueron obtenidos de bases de datos internacionales.

- › Otras formas de energía renovable fueron evaluadas tales como la energía geotérmica y solar para reemplazar la generación de energía cautiva en faenas mineras que dependen en gran medida de los combustibles fósiles.

Captura y almacenamiento de carbono (CCS): La captura y almacenamiento de carbono representa una oportunidad de largo plazo para generar electricidad baja en carbono en base a combustibles fósiles. El informe investigará el sector de la energía en cada país y establecerá si hay potencial para utilizar CCS en la mitigación de emisiones GEI en base al ritmo de desarrollo de la tecnología.

### **3. Mecanismos para capitalizar las reducciones de emisiones**

#### Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM)

- › Evaluación del estado: Se usarán cuestionarios y entrevistas a las compañías mineras para evaluar el estado actual de los proyectos CDM en el sector minero y se incluirán las consideraciones entregadas.
- › Protocolos de línea base y monitoreo: Cada proyecto considerado según lo establecido en CDM debe seguir una metodología específica de línea base y monitoreo. (<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/approved.html>). El estudio incluirá una evaluación de las metodologías actualmente aprobadas para evaluar las oportunidades de lograr ingresos provenientes del desarrollo de proyectos de reducción de emisiones.
- › Pautas para la aprobación de proyectos: Donde existen posibles oportunidades de proyectos, el estudio explicará el procedimiento que las compañías mineras pueden seguir para calificar a la acreditación de reducciones de emisiones según lo establecido por las Naciones Unidas.

Enfoque sectorial para lograr reducciones de emisiones: El informe analizará los enfoques sectoriales para cuantificar las reducciones de emisiones en el sector minero. Este enfoque combina el uso de *benchmarks* de intensidad de GEI y las cifras de producción para considerar de qué manera los mejoramientos en la cadena de suministro fueron cuantificados como adecuados para las reducciones de emisiones. Estos enfoques fueron propuestos para la industria del cemento y se analizarán de manera similar en el estudio.

Transacciones de emisiones de carbono: El informe estimará la oportunidad económica de capitalizar los mercados internacionales del carbono, usando los actuales índices de precios spot en la comercialización de los bonos de carbono dentro de la Unión Europea.

## Anexo 2 Resultados de la Recopilación de Datos

Las siguientes secciones resumen los resultados de los datos recopilados en cada uno de los países incluidos en el estudio.

### i. Argentina

Los datos fueron recopilados para los siguientes sectores mineros en Argentina: cobre, oro y plata. Las respuestas recibidas para cada sector se indican a continuación como un aporte porcentual a la producción total del país (usando cifras del 2007):

- › Cobre: 87% (respuesta de 1 compañía)
- › Oro: 49% (respuesta de 2 compañías)
- › Plata: No hay respuestas

Debido a que los datos obtenidos de compañías mineras en Argentina durante la etapa de recopilación de datos fueron insuficientes, no fue posible realizar una evaluación exhaustiva de las respuestas entregadas por las compañías.

### ii. Chile

Se recopilaron datos para los siguientes sectores mineros en Chile: cobre, oro y hierro. Las respuestas recibidas para cada sector se indican a continuación como un aporte porcentual a la producción total del país (usando cifras del 2007):

- › Cobre: 15% (respuestas de 2 compañías)
- › Oro: 16% (respuesta de 1 compañía)
- › Hierro: No hay respuestas

Debido a que no se recibieron respuestas de las compañías del sector minero del oro y el hierro, los resultados se concentran en una evaluación de las respuestas del cuestionario recibidas de las compañías de la industria del cobre.

### iii. Colombia

Se recopilaron datos para los siguientes sectores mineros en Colombia: oro, carbón, y níquel. Las respuestas recibidas para cada sector se indican a continuación como un aporte porcentual a la producción total del país (usando cifras del 2007):

- › Oro: 17,5% (respuestas de 1 compañía)
- › Carbón: 70% (respuestas de 2 compañías: 1 cuestionario completo y uno parcialmente completo)
- › Níquel: No hay respuestas

Debido a que no se recibieron respuestas de las compañías del sector del níquel y sólo una compañía minera de oro respondió, los resultados se basan en una evaluación de las respuestas recibidas de las compañías de la industria del carbón.

### iv. Perú

Se recopilaron datos de los siguientes sectores mineros en Perú: cobre, oro y zinc. Las respuestas recibidas para cada sector se indican a continuación como un aporte porcentual a la producción total del país (usando cifras del 2007):

- › Cobre: 59% (respuestas de 2 compañías)
- › Oro: 59% (respuestas de 2 compañías)
- › Zinc: 28% (respuestas de 2 compañías)

Debido a que hubo una baja respuesta de las compañías mineras del sector del zinc, los resultados se concentran en una evaluación de las respuestas del cuestionario recibidas de compañías mineras de la industria del cobre y oro.

## Anexo 3 Procesos de Explotación

---

En las siguientes secciones se analizan los principales procesos de explotación dentro de la industria minera.

### 1. Extracción

La extracción de cobre, níquel, zinc, oro, carbón y hierro es similar, independiente si es a rajo abierto (explotación en superficie) o subterránea. En la minería subterránea existen varios métodos de explotación<sup>62</sup>.

La caracterización del mineral es crucial debido a que normalmente determina la selección de todas las operaciones de explotación, desde la tronadura hasta el proceso final.

La explotación es seguida por el chancado primario, donde rocas de gran tamaño se fracturan tronándolas para reducir su tamaño y transportarlas al proceso de chancado secundario y a veces, terciario con el fin de reducir aún más el tamaño de las partículas<sup>63</sup>.

La demanda de agua para la minería del cobre, zinc y níquel, depende, entre otras, de la variación de las leyes del mineral y de la relación de estéril a mineral en el tiempo. Ambos factores influyen en la demanda de agua por tonelada de metal producido. Para el caso del oro, la cantidad de material extraído es irrelevante en comparación con las industrias “masivas” como el cobre, níquel, zinc, hierro y carbón.

La mayor parte del hierro se extrae de depósitos de minerales oxidados, principalmente hematita y magnetita<sup>64</sup>. En el caso del carbón y el hierro, la ley de mineral y la relación estéril a mineral no juega un rol tan preponderante como en otras industrias ya que la ley inicial del mineral es muy alta. Por lo general, las leyes de mineral de hierro y carbón son levemente menores que las de mineral puro. Por ejemplo, la ley de mineral en la mina Romeral en Chile es de 47% en el caso del hierro<sup>65</sup>. Por lo tanto, los métodos de separación de estos minerales son mucho más simple que en el caso del cobre, níquel, zinc y oro.

Las leyes de mineral de cobre y níquel varían desde una fracción porcentual hasta un 1 a 2%<sup>66</sup>. El níquel se explota en Colombia a partir de minerales de laterita<sup>67</sup>, mientras que los yacimientos del mineral de cobre contienen en su mayoría sulfuros, pero además una variedad de minerales de cobre oxidados<sup>68</sup>.

Las leyes han descendido históricamente para todos los minerales de baja ley<sup>69</sup> y continuarán descendiendo en el caso del cobre, níquel, zinc y oro. Los minerales de zinc en Perú usualmente contienen leyes de mineral comparativamente altas (hasta un 9% el zinc, hasta 4% el plomo y hasta 0,5% el cobre).

---

<sup>62</sup> Manual de Ingeniería Minera SME, 1992

<sup>63</sup> Rosenqvist, 2004

<sup>64</sup> Thorpe & Bell, 1971

<sup>65</sup> CAP, 2008

<sup>66</sup> IPT Mining: Cobre, 2002

<sup>67</sup> Limonita níquelífera: (Fe, Ni)O(OH) y garnierita (hidrosilicato de níquel).

<sup>68</sup> Biswas & Davenport, 2002

<sup>69</sup> IPT Mining: Aspectos Generales, 2002



Las leyes para los minerales de oro son al menos 10 y a veces hasta 30 veces menores que en el caso del cobre y el níquel<sup>70</sup>. Por lo tanto, el consumo de agua por tonelada de oro extraído es muchísimo mayor que el consumo de agua específico para el cobre y el níquel<sup>71</sup>.

En la minería a rajo abierto, la relación estéril - mineral generalmente aumenta en la medida que la profundidad del rajo aumenta. Esto no sucede en todos los rajos, ya que en muchos casos el cuerpo mineralizado mineral se ubica en la cima de una montaña y las laderas de las montañas favorecen el acceso al cuerpo mineralizado. En estos casos, la relación estéril - mineral podría permanecer constante durante la vida útil de la mina.

Usualmente, a mayores leyes de mineral se requiere menos agua en la etapa de procesamiento. La relación estéril - mineral puede afectar el uso de agua, si usa agua para reducir el polvo en la faena minera<sup>72</sup>.

## **2. Molienda y otros procesos del concentrado**

La extracción del carbón incluye procesos de limpieza gravitacional, mientras que el hierro en general no presenta procesos de recuperación, ya que tiene altas leyes de mineral y se vende en pellets, a la industria siderúrgica<sup>73</sup>. Por lo tanto, el consumo de agua por tonelada de metal producido es muchísimo menor (por lo general, menos de 1 m<sup>3</sup>/ton de metal producido) en el caso del hierro y el carbón en comparación con el cobre, zinc, níquel y oro.

El carbón se chanca después de la tronadura de manera que el material valioso se separa de la ganga mediante la separación por gravedad. El material de baja densidad se convierte en carbón limpio, mientras que el material de alta densidad es rechazado (roca). El material de mediana densidad se conoce como *middling* (partículas mixtas). La minería del carbón emplea diferentes métodos de separación por gravedad. En general, se requiere flotación para separar las partículas finas de carbón de la ganga<sup>74</sup>. En Colombia, el carbón extraído de la mina debe ser lavado antes de cargarlo en tren y enviarlo a un puerto para su exportación<sup>75</sup>.

Los sulfuros primarios y usualmente los sulfuros secundarios se procesan mediante flotación, fundición y electrorefinado, mientras que los óxidos, carbonatos, cloruros, silicatos y otros minerales que contienen oxígeno se procesan por lixiviación, extracción por solventes y electro-winning. Los sulfuros secundarios, que contienen mayoritariamente azufre y metal pueden ser tratados mediante lixiviación y extracción por solventes, sin embargo, en general es preferible seleccionar el proceso tradicional debido a que las reservas económicas de los sulfuros secundarios son frecuentemente significativamente menores con respecto a las reservas de sulfuros primarios en cualquier cuerpo mineralizado<sup>76</sup>.

---

70 ITP Mining: Oro & Plata, 2002

71 La memoria anual de Barrick Gold 2008 indica que las leyes promedio de mineral fueron 0,047% en el 2008. Estas leyes son de 10 a 20 veces menores que las de las minas de cobre.

72 Manual de Ingeniería Minera SME, 1992

73 Thorpe & Bell, 1971

74 Barwick & Barwick, 2001

75 BHP, 2008

76 Biswas & Davenport, 2002

Para los sulfuros, la molienda es necesaria después de realizar el chancado terciario. La molienda es necesaria ya que el mineral que está incrustado en la roca debe ser liberado mecánicamente antes de ser separado por flotación por espuma. Lo mismo se aplica a los óxidos de níquel. La flotación consiste en que el mineral liberado y la roca molida se sumergen en reactores que contienen agua, reactivos de flotación y aire inyectado. El aire crea burbujas y los reactivos de flotación inducen a la superficie de la burbuja a absorber los minerales, mientras que la roca que no contiene mineral no se adhiere a la burbuja y sedimenta para formar los denominados relaves. Debido a que en la actualidad las leyes de mineral típicas para el cobre, zinc y níquel son menores al 1% en la mayoría de las minas en todo el mundo, los relaves constituyen más del 99% de la masa del material que llega al molino, representan residuos y son conducidos a los tranques de relaves.

Los concentrados de cobre, zinc y níquel contienen el mineral desnudo y casi no incluyen ganga, por lo tanto, las leyes de concentrado pueden variar desde el 25 al 60% del metal<sup>77</sup>.

Los molinos, también denominados plantas de concentración, contienen diversos tipos de molinos de molienda, celdas de flotación en serie que recuperan hasta un 98% de los minerales, hidrociclones que permiten la clasificación del material molido de acuerdo con el diámetro de las partículas y muchas veces, varias celdas de recuperación de flotación donde se obtienen subproductos de mineral de manera selectiva. Por ejemplo, las minas de cobre que contienen minerales de molibdeno, incluyen circuitos de flotación donde se flotan y se separan óxidos de molibdeno de los minerales que contienen cobre<sup>78</sup>.

El mineral de cobre más común recuperado por flotación es la calcopirita, un mineral complejo donde el cobre, hierro y azufre se encuentran firmemente adheridos. El producto de la flotación es un concentrado y la forma más eficiente de romperlo y por lo tanto, de separar el cobre del hierro y el azufre, es mediante la fundición<sup>79</sup>.

La recuperación de agua de los relaves y concentrados después de la flotación es crucial en muchas operaciones donde el agua es escasa. Las tecnologías más avanzadas para recuperar agua incluyen el transporte y la disposición final de los relaves secos, mientras que hasta hace una década el transporte de estos relaves se realizaba en una pulpa que contenía una cantidad abundante de agua. Algunas operaciones mineras en el mundo ahora han comenzado a incorporar el transporte de relaves secos por correas transportadoras hacia el depósito de relaves<sup>80</sup>. Si la mina se encuentra a mayor altura que los tranques, lo que generalmente ocurre, entonces la correa transportadora se desplaza por gravedad lo que se utiliza para generar electricidad.

En el procesamiento del cobre, níquel y zinc la mayor parte del agua se consume durante los procesos de chancado y molienda, donde estas etapas representan entre un 80 y 90% del total de agua consumida en los concentrados. El agua utilizada durante la molienda se redujo para el procesamiento del cobre en Chile en un 29% en el período 2000-2006<sup>81</sup>.

---

<sup>77</sup> ITP Mining: Cobre, 2002; Biswas & Davenport, 2002; Rosenqvist, 2004; Bodsworth, 1994

<sup>78</sup> ITP Mining: Cobre, 2002; Biswas & Davenport, 2002; Rosenqvist, 2004; Bodsworth, 1994

<sup>79</sup> Bodsworth, 1994

<sup>80</sup> Davies & Rice, 2004

<sup>81</sup> Según lo informado por la Comisión Chilena del Cobre, Buenas Prácticas y Uso Eficiente de Agua en la Industria Minera, 2008, Santiago, Chile.

Generalmente el oro se recupera mediante conminución (chancado y molienda), flotación, lixiviación por cianuro y mediante el Proceso Merrill Crowe o por la absorción de oro por carbón activado<sup>82</sup>.

### 3. Fundición y Electrorefinado

El cobre y el níquel se funden a temperaturas superiores a los 1000 grados centígrados para descomponer la estructura de minerales de sulfuro contenida en los concentrados<sup>83</sup>. Los subproductos de la fundición de cobre en general son el hierro, que reacciona con la escoria de silicato inyectada a los hornos, y el azufre que evoluciona como gas y debe ser capturado para transformarlo en ácido sulfúrico o en azufre elemental<sup>84</sup>. Las fundiciones modernas contienen muchos reactores y las mejores tecnologías disponibles pueden capturar alrededor del 99,99% del azufre que, de otra manera, sería emitido a la atmósfera.

El metal fundido sedimenta en los hornos y generalmente es cubierto por escoria de silicato que flota encima debido a la diferencia de densidades<sup>85</sup>. Existen muchos productos que resultan de la fundición del cobre, incluyendo el cobre blister (cerca de 99,7% de cobre), cobre refinado (99,8% de cobre) y los ánodos (99,9% de cobre). Los últimos son electro-refinados para obtener metal con una pureza de hasta 99,9999%. En el caso del cobre, se requieren cátodos puros para fabricar cables y conductores eléctricos. Los primeros, el blister y el cobre refinado se venden directamente para aplicaciones que no requieren un metal de alta pureza<sup>86</sup>.

La fundición de níquel en Colombia genera gránulos de ferroníquel de alta pureza y bajo contenido de carbono que se usan exclusivamente en la producción de acero inoxidable.

Generalmente los minerales de zinc<sup>87</sup> se tuestan para producir óxido de zinc, con la recuperación de dióxido de azufre como ácido sulfúrico. El tostado puede ser seguido por la fundición a 950 °C, reduciendo el óxido de zinc con el carbono para producir metal de zinc. De manera alternativa, los óxidos de zinc se pueden lixiviar con ácido sulfúrico. El licor se convierte luego en metal mediante electro-winning<sup>88</sup>.

El oro, la plata, el selenio, el telurio, el renio y otros metales escasos se generan en los cenos anódicos durante el electro-refinado. Estos subproductos pueden tener un valor significativo y contribuir de manera muy importante a la rentabilidad de las operaciones mineras<sup>89</sup>.

<sup>82</sup> ITP Mining: Oro & Plata, 2002

<sup>83</sup> Davenport, Jones, King & Partelpoeg, 2001

<sup>84</sup> Biswas & Davenport, 2002

<sup>85</sup> Biswas & Davenport, 2002

<sup>86</sup> Davenport, Jones, King & Partelpoeg, 2001

<sup>87</sup> Exceptuando los silicatos, carbonatos o espinelas de zinc, que no necesitan pasar por el tostado para ser recuperados.

<sup>88</sup> Rosenqvist, 2004

<sup>89</sup> Bodsworth, 1994

#### **4. Lixiviación, Extracción por Solventes y Electro-winning**

Los minerales oxidados de níquel y cobre generalmente se recuperan por lixiviación, extracción por solventes y electro-winning, produciendo un cátodo como producto final. Los cátodos se venden a un precio establecido por las principales bolsas de metales del mundo.

La lixiviación consiste en la adición de ácido sulfúrico diluido a las plataformas de lixiviación, donde se disuelve el metal contenido en la roca. El producto de la lixiviación de cobre y níquel es una solución que contiene pocos gramos por litro de metal. El proceso de electro-winning<sup>90</sup> requiere tener una solución de alta concentración de metal de manera que el proceso sea rentable desde el punto de vista económico. El electro-winning consiste en romper la molécula de agua mediante la aplicación de una diferencia de voltaje entre un cátodo y un ánodo en una celda electroquímica. El oxígeno evoluciona en el ánodo y el metal es depositado en el cátodo. Debido a que el agua debe separarse en el proceso de electro-winning, ésta es una de las etapas que consume más energía en el procesamiento de metales<sup>91</sup>.

Se requiere la extracción por solventes para elevar la concentración de metal en la solución. Este proceso consiste en mezclar una solución acuosa que contiene metal con una solución orgánica que contiene reactivos que pueden extraer selectivamente el metal de la fase acuosa. Luego una segunda etapa de este proceso consiste en el contacto entre la solución cargada con metal orgánico y una nueva solución acuosa que contiene una alta concentración de ácido sulfúrico. El metal valioso se extrae en esta etapa, desde la solución orgánica a la solución acuosa, pero esta vez la concentración de metal en la solución es al menos diez veces mayor que antes de la extracción por solventes.<sup>92</sup> El agua empleada en la lixiviación de cobre, extracción por solventes y electro-winning se redujo en un 57% en Chile en el período 2000-2006<sup>93</sup>.

Se puede recuperar oro mediante lixiviación por cianuro y luego mediante el proceso Merrill Crowe o por absorción por carbón activado. El producto de estos procesos es metal doré, que consiste en más de un 90% de metal. Por lo tanto, los tratamientos del oro siguen un camino distinto al del cobre, níquel y zinc<sup>94</sup>.

#### **5. Otros factores que afectan el uso del agua**

Las industrias del cobre, níquel, zinc y oro usualmente no se encuentran integradas de manera vertical y por lo tanto, el uso de agua por unidad de metal producido debe indicar claramente los procesos a los que se refiere y en especial, a los productos de estos procesos.

Un aspecto clave para estimar el uso de agua por tonelada de metal son los subproductos generados en el proceso. La producción de níquel puede generar oro, plata y cobre como

<sup>90</sup> El electrorefinado es bastante diferente a la electro-winning, ya que el metal valioso está contenido en el ánodo, y lo único que se requiere es aplicar un pequeño voltaje de manera que el ánodo se disuelva y el metal puro se deposite en el cátodo. En el proceso de electrorefinado, el agua no se separa.

<sup>91</sup> Biswas & Davenport, 2002; Rosenqvist, 2004

<sup>92</sup> Biswas & Davenport, 2002

<sup>93</sup> Comisión Chilena del Cobre, 2008

<sup>94</sup> ITP Mining: Oro & Plata, 2002

subproductos; la extracción de zinc en general tiene plomo, oro y plata como subproductos. El cobre puede tener oro, plata, molibdeno como subproductos importantes. La producción de oro puede tener plata y otros metales preciosos como subproductos. Las fundiciones de níquel, zinc y cobre generan ácido sulfúrico como subproducto. Una de las preguntas clave es cuánta agua se debe asignar a la extracción y al procesamiento de los subproductos. En base a tonelada unitaria, el uso de agua y energía en la producción de un subproducto es a menudo irrelevante. En cuanto al valor, en general es muy relevante, ya que los subproductos pueden empujar los costos hacia valores negativos. Este trabajo no considerará asignar usos de agua a los subproductos, ya que no se dispone de datos suficientes para hacer este tipo de distinción.

Generalmente los cátodos y el metal doré se transportan en trenes o camiones, lo que no involucra el uso directo de agua. Cuando el producto es un mineral, entonces el transporte al puerto puede hacerse mediante correa transportadora, tren o camiones, e involucra pequeñas cantidades de agua en el caso del hierro y cantidades un poco mayores en el caso del carbón. En algunos casos, el mineral es transportado mediante un mineroducto a una planta de tratamiento que se encuentra a menor altura. Cuando el producto es un concentrado, lo que resulta común en el caso de varias minas de cobre en Chile y Perú ubicadas a gran altura por sobre el nivel del mar, el transporte se realiza mediante mineroductos a los puertos de embarque. Esto involucra importantes cantidades de agua (aproximadamente 70%<sup>95</sup> por volumen). Se pueden encontrar ductos similares en las principales minas de cobre. A menos que se bombee el agua desde el puerto a la planta de tratamiento, el reciclaje de agua disminuye significativamente en estos casos.

Estos factores hacen que el análisis de las Mejores Tecnologías Disponibles para la recuperación y reciclaje de agua sea mucho más complejo para las minas.

Como se analizó previamente, el uso del agua se ve afectado por variables intrínsecas y externas a los minerales y las minas. El uso del agua para un mineral en particular se puede comparar con el agua utilizada para ese mismo mineral en otras minas y ubicaciones, siempre que se consideren todas las variables mencionadas. Los valores del uso del agua incluidos en los Lineamientos para la *Global Reporting Initiative* – GRI (Iniciativa de Reporte Global) son la base para que las compañías elaboren los informes de sustentabilidad<sup>96</sup>. En el caso de las compañías mineras, los indicadores hídricos comúnmente citados en los informes de las compañías son agua dulce y volumen total de agua utilizada. Por ejemplo, los Lineamientos GRI no especifican si el agua dulce incluye o no aguas lluvia. Por lo tanto, aquellas compañías que no consideran las aguas lluvia como agua dulce tienen índices más altos de reciclaje de agua. Existen otros factores que son considerados de manera distinta por las compañías informantes al reportar el consumo de agua. En resumen, se concluye que los Informes de Sustentabilidad constituyen un avance muy importante con respecto a la situación que existía a comienzos de esta década cuando no se elaboraban estos informes, sin embargo, aún no entregan datos para hacer un estudio comparativo del consumo de agua por parte de las empresas mineras.

---

<sup>95</sup> Información de Mineroducto, Minera Escondida.

<sup>96</sup> BHP Billiton, 2008; Barrick, 2008

Además, aún si todas las compañías mineras consideraran las mismas definiciones para el consumo de agua dulce y total, no sería posible realizar un estudio comparativo con los datos entregados por los Informes de Sustentabilidad, ya que no se les exige a las compañías informar separadamente el consumo de agua para sus operaciones unitarias. Por ejemplo, el uso de agua en el proceso tradicional de recuperación de cobre (explotación-chancado-flotación-fundición-electrorefinado) es distinto al uso del agua en el proceso de lixiviación (explotación-chancado-lixiviación-extracción por solventes-electro-winning), aunque las compañías informan ambos procesos en conjunto.

## Anexo 4 Descripción General de los Datos del Cuestionario para las Entrevistas

---

Durante el curso de las entrevistas a las compañías mineras e instituciones gubernamentales, fue posible recopilar algunos datos básicos para el estudio. El propósito de darle un enfoque basado en entrevistas fue permitirle a las compañías mineras participar en el estudio, y por ende de los resultados. Debido a limitaciones de tiempo y presupuesto, sólo unas pocas compañías seleccionadas fueron entrevistadas. Cuando fue posible, se entrevistó a las compañías mineras que conjuntamente comprenden el 50% del aporte porcentual a la producción total del país.

### Entrevistas a compañías mineras

- › **Información de Contacto:** Nombres, números y otros detalles de contacto de las partes interesadas.
- › **Descripción General de las Operaciones:** Información, como por ejemplo, número de faenas mineras, producción anual de carbón, participación de mercado del sector, mercados de exportación claves, etc. recopilada con el fin de obtener una perspectiva macro de las operaciones de la compañía minera.
- › **Consumo de Energía:** Datos recopilados sobre el tipo y cantidad de energía consumida por la compañía minera. Cualquier iniciativa como las medidas de eficiencia energética implementadas por la compañía.
- › **Disponibilidad y Demanda de Agua Dulce:** Esta parte del cuestionario recopilará datos sobre diversas cantidades y fuentes hídricas utilizadas por la compañía, procesos de manejo de agua y procedimientos de extracción de agua.
- › **Emisiones de Gases de Efecto Invernadero:** Se recopilarán datos sobre los tipos, cantidades y procedimientos de elaboración de informes para las emisiones GEI.
- › **Condiciones Climáticas Severas:** Se recopilarán datos sobre daño por acción del viento, inundaciones, derrumbes y descargas para evaluar los costos potenciales de estos eventos para la compañía minera.
- › **Suministro de Energía:** Se determinará el nivel de conocimiento de los proveedores de energía y de los tipos de energía utilizados en las faenas mineras.
- › **Contabilización y Regulación de Emisiones GEI:** Se analizan los datos sobre los inventarios y procedimientos actuales de contabilización de emisiones GEI, la regulación vigente (si la hubiere) y se analizará la regulación de oportunidades en otros países.

### Entrevistas con los ministerios de gobierno

- › **Información de Contacto:** Nombres, números y otros detalles de contacto de las partes interesadas.
- › **Energía y Cambio Climático:** Se recopilan datos sobre la capacidad total de electricidad del país, fuentes de energía, lineamientos de elaboración de informes GEI y conocimiento de la regulación internacional vigente.
- › **Disponibilidad y Demanda de Agua Dulce:** Esta parte del cuestionario recopilará datos sobre las diversas cantidades y fuentes hídricas utilizadas por la compañía, procesos de manejo de agua y procedimientos de extracción de agua.

- › **Vulnerabilidades Físicas:** Se recopilan datos sobre los tipos de implicancias físicas relacionadas con el cambio climático que las compañías mineras pueden esperar, por ej., inundaciones, aumento en el nivel de los mares, etc.



## Anexo 5 Siglas

AAU	<i>Assigned Amount Unit</i> (Unidad de Cantidad Atribuida)
ACM	Approved Consolidated Methodology (Metodología Consolidada Aprobada)
AMS	<i>Approved Small-scale Methodology</i> (Metodologías Aprobadas de Pequeña Escala)
APEC	<i>Asia-Pacific Economic Cooperation</i> (Cooperación Económica Asia Pacífico)
BAT	<i>Best Available Technologies</i> (Mejores Tecnologías Disponibles)
CAMMESA	Compañía Administradora del Mercado Mayorista Electrico
CBM	<i>Coal Bed Methane</i> (Metano en Capas de Carbón)
CCGT	<i>Combined Cycle Gas Turbine</i> (Turbina de Gas de Ciclo Combinado)
CCS	<i>Carbon Capture and Storage</i> (Captura y Almacenamiento de Carbono)
CDM	<i>Clean Development Mechanism</i> (Mecanismo de Desarrollo Limpio)
CDP	<i>Carbon Disclosure Project</i> (Proyecto de Divulgación de Carbono)
CEF	<i>Carbon Emissions Factor</i> (Factor de Emisiones de Carbono)
CER	<i>Certified Emission Reduction</i> (Certificados de Reducción de Emisiones)
CMIA	<i>Carbon Market and Investors Association</i> (Asociación de Mercado e Inversionistas de Carbono)
CMM	<i>Coal Mine Methane</i> (Metano de Minas de Carbón)
COCHILCO	Comisión Chilena del Cobre
CODELCO	Corporación Nacional del Cobre
CONAM	Comisión Nacional del Medio Ambiente del Perú
CO <sub>2</sub> e	<i>Carbon Dioxide Equivalent</i> (Dióxido de Carbono Equivalente)
CREE	Centro Regional de Energía Eólica de Chubut, Argentina
CSR	<i>Corporate Social Responsibility</i> Responsabilidad Social Corporativa
DGA	Dirección General de Aguas
DNV	Det Norske Veritas
EB	Executive Board <i>Comité Ejecutivo</i>

EC	European Commission (Comisión Europea)
ETS	<i>Emissions Trading Scheme</i> (Esquema de Comercialización de Emisiones)
ECLAC	<i>Economic Commission for Latin America and the Caribbean</i> (Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL)
EIA	<i>Energy Information Administration</i> (Administración de Información de Energía)
FONAM	Fondo Nacional del Medio Ambiente de Perú
GHG	<i>Greenhouse Gas</i> (Gases de Efecto Invernadero)
GRI	<i>Global Reporting Initiative</i> (Iniciativa de Reporte Global)
HFC	Hidrofluorocarbono
IADB	<i>Inter American Development Bank</i> (Banco Interamericano de Desarrollo - BID)
INPE	<i>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais</i> (Instituto Nacional de Investigación Espacial)
ITP	<i>Industrial Technologies Program</i> (Programa Industrial de Tecnologías)
JI	<i>Joint Implementation</i> (Implementación Conjunta)
KP	<i>Kyoto Protocol</i> (Protocolo de Kyoto)
LDC	<i>Least Developed Country</i> (País Menos Desarrollado)
LNG	<i>Liquefied Natural Gas</i> (Gas Natural Licuado)
N <sub>2</sub> O	<i>Nitrous Oxide</i> (Óxido Nitroso)
NGO	<i>Non Governmental Organisation</i> (Organismo No Gubernamental)
MEM	<i>Ministry of Energy and Mines of Peru</i> (Ministerio de Energía y Minas de Perú)
MWh	Megawatt Hora
PDD	<i>Project Design Document</i> (Documento de Diseño del Proyecto)
PFC	Perfluorocarbono
POCLIM	<i>Climate Change and Air Pollution</i> (Cambio Climático y Contaminación Atmosférica)
PRONUREE	Programa Nacional para el Uso Racional y Eficiente de la Energía de Argentina
RECCS	<i>Regional Economic Climate Change Studies</i> (Estudios Económicos Regionales sobre Cambio Climático)
REDI	<i>Colombia Recent Economic Developments in Infrastructure</i> (Desarrollos Económicos Recientes en Infraestructura en Colombia)

SENAMHI	Servicio Nacional Meteorológico e Hidrológico de Perú
SAG	<i>Semi-Autogenous Grinding</i> (Molienda Semi-Autógena)
SEIN	Sistema Eléctrico Interconectado Nacional
SF6	Hexafluoruro de Sulfuro
SRES	<i>Special Report on Emissions Scenarios</i> (Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones)
SIC	Sistema Interconectado Central de Chile
SIN	Sistema Interconectado Nacional de Colombia
SING	Sistema Interconectado del Norte Grande de Chile
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> – (Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático)
UPME	<i>Ministry of Mines and Energy in Colombia</i> (Ministerio de Minas y Energía de Colombia)
US DOE	<i>United States Department of Energy</i> (Departamento de Energía de EE.UU.)
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i> (Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable)
WRI	<i>World Resources Institute</i> (Instituto de Recursos Mundiales)
ZNI	<i>Local Interconnected Zones of Colombia</i> (Zonas Interconectadas Locales de Colombia)

## Anexo 6 Referencias

---

- AngloGold Ashanti. 2007:** Informe de País, Argentina 2007.
- AngloGold Ashanti. 2008:** Informe a la Sociedad, 2008, pg. 175.
- AngloGold Ashanti. 2008:** Informe Anual Cerro Vanguardia 2008.
- Antofagasta Plc. 2007:** Informe de Sustentabilidad, 2007, pgs. 55 – 68.
- Barrick. 2008:** Informe Anual, 2008.
- Barrick Gold Co. 2007:** Informe de Responsabilidad Mina Veladero 2007.
- Barrick 2008:** Informe Anual Completo.
- Barrick Sud America, 2007:** Informe de Responsabilidad 2007
- BHP. and Barrick. 2008:** Informe Anual 2008.
- BHP Billiton. 2007:** Informe de Sustentabilidad 2007 - Base Metals CSG (Resumen)
- BHP Billiton. 2007:** Informe de Sustentabilidad 2007.
- BHP Billiton. 2007:** Informe de Sustentabilidad Completo 2007
- BHP Billiton. 2008:** Informe Anual 2008.
- Biswas, A.K., y Davenport, W.G. 2002:** Metalurgia Extractiva del Cobre, 4ta ed., Pergamon, Julio 2002.
- Bodsworth, C. 1994:** La Extracción y Refinado de Metales (Crc Press Series N Materials Science and Technology), CRC, 1 ed., Junio 1994.
- CAP. 2008:** Memoria Corporativa, 2008.
- Capoor K. y Ambrosi P. 2008:** Estado y Tendencias del Mercado de Carbono 2007. Banco Mundial, Washington, D.C. Mayo 2008
- Cerrejon. 2007:** Informe de Sustentabilidad 2007.
- Cerro Matoso. 2003:** Informe de Sustentabilidad 2003.
- Comisión Chilena del Cobre. 2008:** Buenas Prácticas y Uso Eficiente del Agua en la Industria Minera, Santiago, Chile 2008.
- Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J.**

**Räisänen, A. Rinke, A. Sarr y P. Whetton, 2007:** Predicciones Climáticas Regionales. Cambio Climático 2007: Base Físico-Científica. Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H. L. Miller, Eds., Universidad de Cambridge

**CMP. 2006:** Informe de Responsabilidad Social y Ambiental 2006, pg. 27.

**CMP. 2006:** Informe de Responsabilidad Social y Ambiental 2006, pg. 30.

**CMP. 2007:** Informe de Responsabilidad Social y Ambiental 2007, pg. 38.

**Codelco. 2007:** Informe de Sustentabilidad 2007, pg. 123.

**Codelco. 2007:** Informe de Sustentabilidad 2007, pg. 127.

**Codelco. 2008:** Memoria Anual 2008.

**Collahuasi:** Informe de Desarrollo Sustentable, 06/07.

**Compañía Minera Doña Ines de Collahuasi SCM. 2008:** Reporte de Desarrollo Sustentable y Estados Financieros, 2008.

**Davies, M., y Rice, S. 2004:** Una alternativa para el manejo convencional de relaves – relaves filtrados “dry stack”, AMEC Earth & Environmental, Vancouver, Canadá 2004.

**Davenport, W. G., Jones, D. M., King, M. J., Partelpoeg, E. H., Fundación Flash. 2001:** Análisis, Control y Optimización, Sociedad de Minerales, Metales y Materiales, Junio 2001.

**Dirección General de Aguas (DGA). 1987:** Balance Hídrico de Chile. Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Telecomunicaciones 1987.

**Freeport Mc-Moran Copper and Gold Inc. 2008:** Informe Anual 2008.

**Freeport Mc-Moran. 2006:** Indicadores Ambientales GRI, Agosto 2006, pg. 4.

**Freeport-McMoran Copper & Gold Inc. 2008:** Informe Anual, 2008.

**Freeport-McMoran Copper & Gold Inc. 2007:** Informe de Trabajo para el Desarrollo Sustentable 2007.

**Federer, C. A., Vorosmarty, C. and Feket, B. 1996:** Intercomparación de métodos para calcular la evaporación potencial en los modelos de balance hídrico regionales y globales. Investigación de Recursos Hídricos, 32(7), 2315-2321.

**Grupo Mexico. 2008:** Informe de Desarrollo Sustentable 2008.

**Gurmendi, Alfredo C. 2008:** "La Industria Minera de Perú " (PDF). *Anuario de Minerales 2006*. Estudio Geológico de EE.UU. (Mayo 2008).

**Houghton, J.T., Jenkins, G.J. & Ephraums, J.J. (Eds.), 1990:** IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático) Cambio Climático. Evaluación Científica IPCC, Cambridge University Press, pg. 1-40, 93-110, 131-173, 1990.

**Impactos sobre Cambio Climático 2008:** América del Sur, Met Office, 2008.

**IPCC. 2000:** Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones. 2000.

**Informe de Progreso Cerrejon. 2007:** Pacto Mundial 2007, pp. 35 – 37

**ITP Mining 2002:** Perfil Energético y Ambiental de la Industria Minera de EE.UU., Industria Minera: Cap. 1: Descripción General de la Minería en EE.UU., Diciembre 2002.

**ITP Mining 2002:** Perfil Energético y Ambiental de la Industria Minera de EE.UU.: Cap. 5: Cobre, Diciembre 2002.

**ITP Mining 2002:** Perfil Energético y Ambiental de la Industria Minera de EE.UU.: Cap 6: Plomo y Zinc, Diciembre 2002

**ITP Mining 2002:** Perfil Energético y Ambiental de la Industria Minera de EE.UU.: Cap. 7: Oro y Plata, Diciembre 2002

**Jianbiao Lu, J., Sun, G., McNulty, S.G., y Amatya, D.M., 2005:** Comparación de seis posibles métodos de Evapotranspiración para uso regional en el Sud-este de Estados Unidos, *Journal Of The American Water Resources Association*, 41 (3), 621-633.

**Kinross. 2008:** Tablas de Datos Regionales, 2008.

**Kinross Gold Co. y Compañía Minera Maricunga 2007:** Informe Técnico para la Mina de Oro Maricunga, Diciembre 2007

**Magrin, G., C. Gay García, D. Cruz Choque, J.C. Giménez, A.R. Moreno, G.J. Nagy, C. Nobre y A. Villamizar, 2007:** América Latina. Cambio Climático 2007: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Aporte del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 581-615.

**Met Office, 2008:** Impactos sobre Cambio Climático: América del Sur

**Minera Alumbreira. 2008:** Informe de Sustentabilidad 2008

**Minera Escondida. 2007:** Informe de Sustentabilidad, 2007.

**Minera Yanacocha SRL. 2006:** La Gestion del Agua en Yanacocha, 2006.

**Rosenqvist, T. 2004:** Principios de la Metalurgia Extractiva, Tapir Forlag, 2da ed., Abril 2004.

**Southern Copper Co. 2008:** Informe de Sustentabilidad 2008

**Manual de Ingeniería de Minas SME: ed. por Howard L. Hartman. 1992:** Sociedad de Minería, Metalurgia y Exploración, Littleton, Colo., 2da ed. vol. 1, 1992.

**Thorpe, M., Bell, J. 1971:** Minería del Hierro, Oxford University Press, 1971.  
Barwick, Jhon, Barwick, Jennifer, Minería del Carbón, Echidna Books, 2001

**Turc L., 1961:** Evaluación de los requerimientos de agua para riego. Fórmula climática simplificada y actualizada. An. Agro., 12 (1): 13-49.

**Indicadores de Desarrollo del Banco del Mundial, 1º de Julio, 2009.**

**Whittington, H.W. & Gundry, S.W. 1998:** "Cambio Climático Global y Recursos Hidroeléctricos", *IEEEngineering Science & Technology Journal*, Marzo 1998.

**Informe de Producción de Xstrata, Enero 2009.**

**Xstrata Copper, División sur del Perú. 2008:** Informe de Sustentabilidad 2008.

**Yamana Gold Co. 2007:** Informe de Sustentabilidad, 2007.

## **Anexo 7 Descargo de Responsabilidad**

---

Este Informe ha sido preparado por EcoSecurities sólo para [la Oficina de Asuntos Exteriores y de la Mancomunidad Británica (FCO), Cambio Climático Regional, América del Sur] (el “Cliente”). EcoSecurities no otorga a terceros ni a ninguna entidad el derecho a utilizar la información contenida en este Informe, ni tampoco a ninguna persona salvo el Cliente, y no asume ninguna responsabilidad hacia terceros. El uso de este Informe estará sujeto a los términos y limitaciones del Contrato que rige la prestación de servicios, en base a los cuales se entregó este Informe.

Salvo según lo acordado expresamente por escrito entre EcoSecurities y el Cliente, no se acepta ni se garantiza, en forma expresa o implícita, la responsabilidad por parte de EcoSecurities ni por ninguno de sus funcionarios, empleados o agentes en lo que respecta a la precisión o integridad de este Informe ni a ninguna otra información verbal o escrita entregada al Cliente o a sus funcionarios, empleados, agentes o asesores quedando expresamente liberado de responsabilidad de acuerdo con lo legalmente estipulado.

Salvo según lo acordado expresamente por escrito entre EcoSecurities y el Cliente, EcoSecurities no se compromete a permitir al Cliente acceder a información adicional ni a actualizar este Informe cuando las opiniones o la información contenida en él sean modificados.

Este Informe es confidencial y ha sido preparado expresamente para el Cliente. Si este documento no es enviado directamente por EcoSecurities o el Cliente, su uso no está autorizado; se ruega devolverlo inmediatamente a EcoSecurities o al Cliente.

Este Informe no podrá ser reimpresso, vendido ni redistribuido (en su totalidad o en parte) sin el consentimiento escrito de EcoSecurities.