

**Escenarios para la Demanda y Oferta de Cobre en el Siglo XXI****Gustavo Lagos C.C. y Helmut Henríquez****Centro de Minería  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Abril, 2003****Tabla de Contenidos**

Tabla de Contenidos.....	1
1- Introducción .....	2
2- Metodología .....	3
2.1- Modelo para Estimar la Demanda .....	3
2.2- Modelo para Estimar la Intensidad de Uso del Cobre.....	4
2.3- Estimación del Crecimiento Económico y de la Población .....	5
2.4- Modelos para Estimar la Producción Primaria y Secundaria .....	8
3- Resultados.....	13
3.1- Estimación de la Intensidad de Uso del Cobre.....	13
3.2- Estimación de la Demanda de Cobre .....	16
3.3- Estimación de la Producción de Mina y Reciclaje .....	18
4- Discusión y Conclusiones.....	21
Agradecimientos .....	24
Referencias .....	24

## 1- Introducción

La motivación principal para realizar este trabajo fue el estudio realizado por R. Ayres (Ayres, 2001) sobre varios escenarios de oferta y demanda de cobre para el presente Siglo. De acuerdo a dicho estudio, uno de los mayores desafíos de la industria del cobre durante el Siglo XXI no sería la escasez de demanda sino que la potencial escasez de oferta. Ayres también plantea la predominancia en demanda de cobre por parte de Asia, Latinoamérica, e incluso Africa, por sobre los países de la OECD. Finalmente, Ayres estudió la producción primaria y secundaria de cobre para abastecer la demanda de los diversos escenarios, concluyendo que la producción primaria seguiría siendo requerida en igual proporción a la actual para abastecer dicha demanda al menos hasta mediados del presente Siglo.

Resulta de gran importancia tener una mayor comprensión sobre las potencialidades de largo plazo que se ofrecen a Chile en cuanto a su rol en la producción de cobre de mina. Más aún, desde la perspectiva de Profesor Universitario de una carrera de Ingeniería de Minas, es clave convencerse que lo que se enseña efectivamente tiene el futuro que muchos dicen que el cobre tiene en Chile.

Este trabajo se propuso varios objetivos. El primero fue verificar las proyecciones de demanda de cobre en el Siglo XXI realizadas en el estudio de Robert Ayres, segundo, crear un nuevo escenario caracterizado por un cambio estructural de la demanda de cobre, y tercero, analizar el efecto de estos escenarios sobre la oferta de cobre primario y secundario. En particular se comparó el método utilizado por Ayres para estimar la oferta de cobre primario y secundario con el método usado por Escala (Escala, 2000) y por Lagos y Andía (Lagos, 1997).

Se estudió también, cuan sensibles eran los resultados obtenidos a las variaciones de los principales parámetros considerados, específicamente, el crecimiento de la población, el crecimiento económico, y la intensidad de uso del cobre en las diversas regiones.

La segunda sección del trabajo describe la metodología utilizada para estimar la demanda y la oferta de cobre. Se discute los escenarios de crecimiento de población y económico, los que son extraídos de estudios de las Naciones Unidas y de otros organismos internacionales. En la sección tres, se discute los principales indicadores de demanda, oferta, e intensidad de uso del cobre en el Siglo XX, y se expone los resultados obtenidos para el Siglo XXI. Finalmente, la sección cuatro realiza una discusión y elabora las conclusiones del trabajo, especialmente en lo que se refiere a Chile.

En este trabajo se evita usar el concepto de “Consumo” de cobre, por cuanto el cobre no se consume sino que se utiliza. Al final de su vida útil, el cobre se recicla o se descarta en botaderos de mina y basurales municipales. En el Siglo XX, el uso de cobre fue de 454

millones de toneladas y Janice Jolly (Jolly, 2001) estima que en 1998 había aproximadamente 210 millones de toneladas de cobre en uso. Este valor representa 14 veces la demanda anual de cobre en el mundo en 2002. Una pequeña fracción del cobre se pierde desde la perspectiva de su recuperación posterior debido a la dispersión. Entre el cobre dispersado al medio ambiente se cuentan los productos químicos, tales como sulfato de cobre aplicado para fines industriales y agrícolas, el cobre disuelto de techos y cañerías, el cobre en polvo producto del uso de balatas de frenos en autos y de las líneas eléctricas de trenes, y otros tipos de procesos similares. Se estima que el cobre dispersado de esta forma no supera el 1% del cobre que ingresa al mercado cada año. El cobre dispersado en procesos de recuperación, tales como la fusión de concentrados, la purificación de escorias, o la disposición de relaves, podría ser recuperable en algún momento del futuro, cuando existan las tecnologías que hagan económicamente atractivas estas opciones. Por otro lado existe mucho cobre que ha sido dispuesto en botaderos industriales y municipales, el que eventualmente también podría ser recuperable en el futuro, junto a otros metales. De aquí que estas dos últimas categorías no sean contabilizadas como parte del cobre dispersado.

*En otras palabras, el mundo tiene en la actualidad la misma cantidad de cobre que existió siempre y que existirá durante la vida del planeta. La explotación y el uso del cobre sólo han variado su distribución.*

## **2- Metodología**

### **2.1- Modelo para Estimar la Demanda**

En este trabajo se adopta un modelo de demanda (D) de un commodity en que esta depende del producto la intensidad de uso, IU, de dicho commodity y el Producto Interno Bruto, PIB, de la región considerada (Tilton, 1990).

$$D = IU \cdot \text{PIB} \tag{1}$$

En esta ecuación la intensidad de uso se define como la demanda de cobre dividida por el PIB de la región considerada. La IU es función de los efectos del precio y de la tecnología sobre la demanda, y por tanto da cuenta también de las potencialidades de la oferta.

En este trabajo elegimos uno de los modelos desarrollados para intensidad de uso, el que se basa en la Hipótesis de Intensidad de Uso (Malenbaum, 1973, Tilton, 1990), la que considera que la IU es proporcional al producto interno bruto. Este supuesto ha sido demostrado como válido para varios commodities, y en particular para varios metales, en diversos períodos históricos (Tilton, 1990), y permite estimar la Intensidad de Uso conociendo el crecimiento económico per cápita de los países. Ello será analizado en

mayor profundidad en la próxima sección. En la sección 2.3 se describe las estimaciones adoptadas para el crecimiento económico y poblacional.

## 2.2- Modelo para Estimar la Intensidad de Uso del Cobre

En la segunda mitad del Siglo XX se comenzó a observar que el crecimiento de la demanda de cobre por parte de los países más industrializados era inferior a la de aquellos países de menor desarrollo, por cuanto estos últimos estaban aún en una fase de instalación de infraestructura básica, tal como electricidad, agua potable, construcción de caminos, puentes, industrias, y obras pesadas en general, todas las que requerían importantes cantidades de cobre. En cambio los países industrializados, ya tenían dicha infraestructura y su mayor uso de cobre estaba basado en la adquisición de bienes de consumo por parte de la población.

Tilton, Radetzky y otros autores (Tilton, 1990) analizaron la intensidad de uso del cobre y de otros metales hasta mediados de los 80. A partir de este análisis se confirmó que la IU a del cobre alcanzaba un límite superior cuando las necesidades industriales de la economía habían sido satisfechas. Esta conclusión había sido alcanzada por la OECD en 1974 (OECD, 1974). Los países con un considerable nivel de desarrollo tenían altos niveles de IU pero la tendencia de la IU era a la baja, mientras que en los países en desarrollo esta tendencia era hacia el aumento. Ello llevó a elaborar una curva con forma de campana como modelo para la evolución de la IU. Una exhaustiva discusión de los factores que afectan la Intensidad de Uso en países desarrollados y en desarrollo se encuentra en Tilton (1990).

Tanto Van Vuuren (2000) como Ayres (2001) adoptaron el modelo de curva con forma de campana, denominada usualmente la curva de Kuznets. En base al trabajo de Van Vuuren, Ayres desarrolló la siguiente ecuación para la IU, la que es usada en este trabajo:

$$IU(y(t)) = \frac{a}{y(t) + \frac{b}{y(t)^c}} * d^{t-t_0} \quad (1)$$

En que  $y(t)$  es el PIB/cápita (miles US\$/cápita),  $a$  está dado en kg/cápita, representa el uso per cápita asintótico y se considera 10 para los países desarrollados<sup>1</sup> (OECD). El parámetro “b” (miles de US\$/cápita)<sup>2</sup>, está dado por el producto interno bruto per cápita al cuadrado. Los valores de los parámetros  $a$  y  $b$  están descritos en Ayres (2001). El parámetro “d” es un factor de escalamiento de la intensidad de uso. Es 1 cuando esta no

---

<sup>1</sup> Los Estados Unidos alcanzó un valor aproximado a 10 kg/cápita en la década de los

cambia en el tiempo, y se considera 0.9975 para un escalamiento hacia abajo a una tasa de 0,25% cada año (partiendo en 1999). En este último escenario, la Intensidad de Uso el 2010 para los países de la OECD será un 97% de su valor inicial, el año 2025, d será un 93%, y así sucesivamente, hasta 2100, en que la IU será 77% de la intensidad de uso de 1998. El exponente  $c$  es un parámetro que se considera 1. En el período 1960-2000, la intensidad de uso creció 4 veces en Asia, 2,5 veces en América Latina y Africa, decreció en un 40% en los países de la OECD, y en cerca de 60% en la región denominada REF. Para el mundo, la IU decreció 29%, desde 0,63 a 0,45 kg/KUS PPP de 1990, en este período<sup>2</sup> (Ayres, 2001).

La simpleza de este modelo de Intensidad de Uso constituye su principal fortaleza. Sus dos debilidades principales consisten, primero, en que el modelo no da cuenta del cambio producido en la IU en algunos países desarrollados a partir de 1990, y segundo que las nuevas tecnologías y la sustitución no dependen primariamente de los cambios de ingreso per cápita. La primera debilidad de este modelo será analizada en mayor detalle en la sección 3.1.

### 2.3- Estimación del Crecimiento Económico y de la Población

Para estimar la **población mundial** y el Producto Interno Bruto se recurrió a proyecciones elaboradas por la ONU y la IIASA (Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados), las que posteriormente fueron utilizadas por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático<sup>3</sup> (IPCC, 2000). Al igual que lo hecho por Ayres (2001), se consideran cuatro regiones en el mundo: la OECD<sup>4</sup>, los países del ex Pacto de Varsovia (REF), Asia<sup>5</sup>, y Africa y Latioamérica (ALM). Estos escenarios están basados en diversas tasas de fertilidad, de esperanza de vida y de crecimiento económico, parámetros que dependen de cada región y del año considerado. Por ejemplo, para Latino América se considera que 2,48 hijos por mujer es una baja tasa de fertilidad en 2000, mientras que una alta tasa es de 3.1. También para América Latina, se considera que una baja esperanza de vida para hombres en 2000 es de 66,8 años, mientras que una alta esperanza de vida es 67,8 años.

---

<sup>2</sup> Datos de Ayres, 2001, medidos en kg de cobre por miles de dólares PPP (con "Purchasing Power Parity, PPP", es decir, medidos en dólares con igual poder de compra) de 1990. El PIB por región, medido en dólares PPP es igual a la suma de los PIB de los países, medidos en dólares PPP. Por ejemplo, para Chile, el PIB en dólares PPP, de acuerdo a estimaciones del Banco Mundial, fue de 143 billones de dólares y el PIB per cápita, medido en dólares PPP para el mismo año, fue de 9.418. El mérito de medir el PIB en dólares PPP es que efectivamente compara el poder de compra de las economías de los diversos países.

<sup>3</sup> El IPCC fue creado conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), con la finalidad de evaluar la información científica, técnica y socioeconómica pertinente para la comprensión del riesgo de cambio climático inducido por los seres humanos

<sup>4</sup> La OECD en 1990 estaba formada por Los EEUU, Canadá, los países de Europa Occidental, Australia, Nueva Zelandia y Japón.

<sup>5</sup> Excluye a los países Asiáticos miembros de la OECD en 1990

En cuanto al crecimiento económico, a diferencia de Ayres (2001), se consideró sólo dos escenarios, uno de una tasa de crecimiento promedio mundial de aproximadamente 1% (denominado bajo, B), y un segundo escenario de una tasa de crecimiento promedio mundial de aproximadamente 1.5% (denominado medio, M). Como se aprecia en la Figura 2, las tasas de crecimiento difieren notoriamente de acuerdo a la región considerada.

De esta forma, se consideran dos escenarios generales para el crecimiento poblacional y económico, los que son citados siempre en referencia a 3 parámetros: tasas de fertilidad (baja (B) o media (M)), esperanza de vida (baja (B) o media (M)), y crecimiento económico (bajo (B) o alto (A)). Por ello los escenarios tienen tres letras (MMM o bien BBA), una correspondiente a cada parámetro.

La Figura 1 muestra escenarios de crecimiento poblacional bajo y medio. En el primer escenario, la población mundial alcanzaría un máximo de aproximadamente nueve mil millones de habitantes hacia el año 2050. En el Escenario medio, la población alcanzaría un máximo de aproximadamente once mil millones de habitantes en el Siglo XXII.

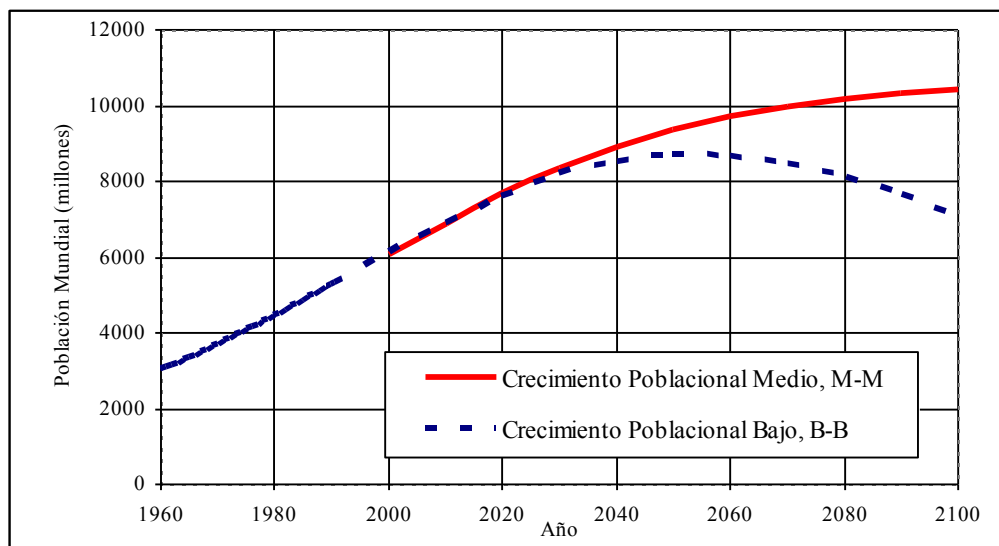


Figura 1: Crecimientos poblacionales bajo y medio para el Siglo XXI de acuerdo al IPCC.

la Figura 2 muestra el crecimiento del PIB por regiones en el escenario de crecimiento poblacional y económico medio (MMM). Se observa que América Latina, África y los países de la ex órbita Soviética aumentan las tasas de crecimiento económico durante los próximos 40 años, y que posteriormente estas comienzan a reducirse. Conviene recordar que estos países sufrieron una fuerte crisis económica tras la caída del Muro de Berlín. Una de las cifras que expresa esta crisis fue la reducción del consumo de cobre desde 2 millones de toneladas en 1988 a 581 mil toneladas en 1994. Hacia fines del presente

siglo, las tasas de crecimiento económico de todas las regiones estarían entre 1 y 1,5% anual.

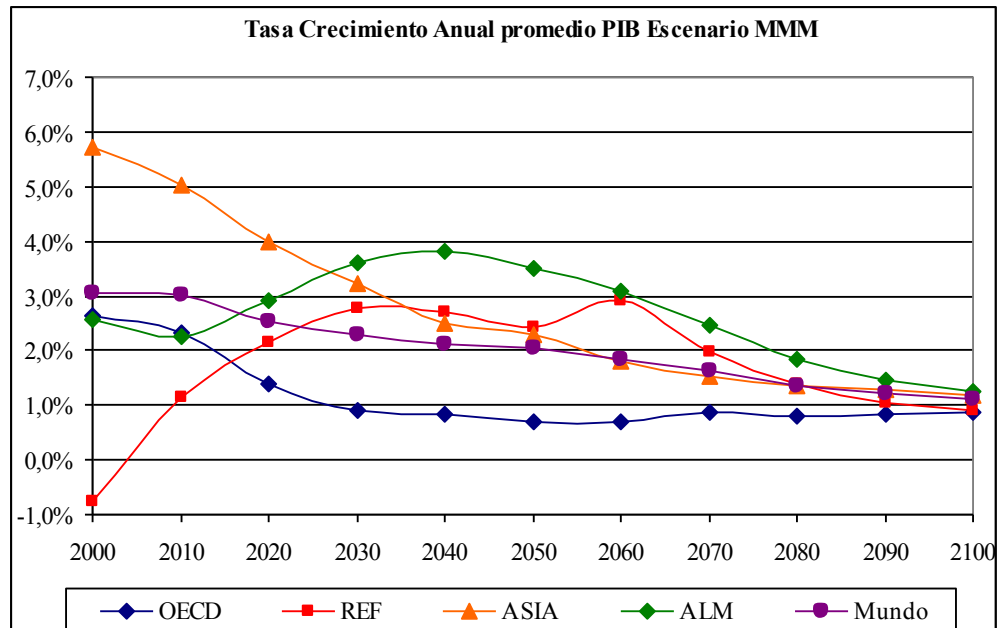


Figura 2: Tasas de crecimiento anual promedio del PIB por regiones considerando un escenario de crecimiento poblacional y económico medio. Fuente: IPCC, Ayres, 2001

La Figura 3 muestra los datos históricos y proyecciones del PIB al año 2100 en dos escenarios (MMM y BBA). Se observa que la proyección que hizo las Naciones Unidas (BBA) es optimista, por cuanto el descenso de la tasa de crecimiento del PIB mundial entre 1960 y 2000 es mayor al descenso de las proyecciones. En ambos escenarios, el crecimiento económico a fines del Siglo XXI llegaría a menos de 1,5%.

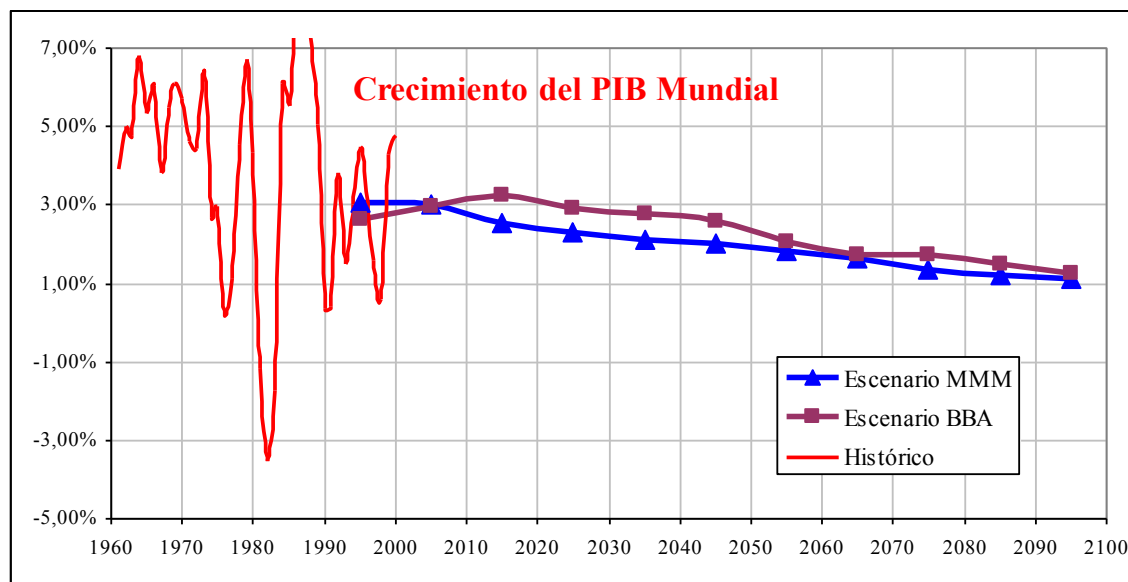


Figura 3: Crecimiento del Producto Interno Bruto Mundial (Base dólares PPP de 1990) desde 1960 a 2000 y Proyección del mismo hasta el año 2100 según los escenarios MMM y BBA. Fuentes: Ayres, 2001, y Base de Datos del Banco Mundial, la que proporciona PIB en dólares PPP corrientes de los EEUU. Estos fueron transformados a Base 1990 utilizando el deflactor del PIB de los EEUU<sup>6</sup>.

Numerosos observadores o analistas dirían en la actualidad que no parece posible que América Latina, y menos Africa, logren un desarrollo económico relevante en las próximas 4 décadas, aunque no habría que descartar que algunos países de estos continentes logran dicha meta. *El objeto de este trabajo, sin embargo, no es predecir el futuro, sino estudiar potenciales escenarios de crecimiento económico y de población y sus consecuencias para el mercado del cobre.* Si el crecimiento económico de América Latina y Africa durante la primera mitad del presente siglo fuese menor a lo definido en el escenario medio, MMM, ello significaría que el crecimiento de la demanda se retardaría, en cuyo caso las tasas de crecimiento de la demanda de cobre de estos continentes hacia el 2100 podrían ser algo mayores a lo indicado.

## 2.4- Modelos para Estimar la Producción Primaria y Secundaria

La oferta de cobre se origina a partir de cobre de mina y reciclado de cobre, o chatarra vieja. Esta última se refiere al cobre que alcanzó el final de su vida útil y que usualmente debe ser fundido y refinado nuevamente para extraer las impurezas antes de ingresar al mercado. No se considera en el reciclado que entra a los mercados la chatarra descartada en los procesos de fabricación y semi elaboración, denominada “chatarra nueva”, la que, salvo en una pequeña fracción, no necesita ser refinada nuevamente sino que vuelve inmediatamente a los procesos de fabricación, sin ser transada en las bolsas.

<sup>6</sup> el uso del deflactor del PIB de los EEUU genera una diferencia de 21,8% entre dólares PPP de 1990 y de 2002, por lo que la IU mundial de un año determinado, medida en dólares PPP de 2002, es un 21,8% menor que la IU de 1990. El uso del deflactor del Índice de los Consumidores de los EEUU., IPC, genera una diferencia de 25% entre los mismo años, mientras que el deflactor de los productores del mismo país (IPM), genera una diferencia de 11%. Ya que en este caso se está analizando el efecto del PIB sobre la IU, se decidió usar el deflactor del PIB.



De acuerdo a las estadísticas de producción disponibles, durante la primera mitad del Siglo XX la casi totalidad de la demanda de cobre era provista por cobre de mina. Es conveniente recordar que en 1900 la demanda mundial de cobre fue de sólo 450 mil toneladas, por lo que si había reciclaje este era muy pequeño en cantidad. El reciclaje surge como factor importante en las estadísticas de oferta de cobre recién hacia fines de la Segunda Guerra Mundial, cuando la demanda de cobre alcanzaba un poco más de 2 millones de toneladas.

Desde 1960 la producción de mina ha abastecido en promedio el 84,3% de la oferta, como se aprecia en la Figura 10, logrando máximos en torno al 87% y mínimos en torno al 82,5%.

¿Por qué el cobre secundario no ha sido más importante en abastecer la demanda hasta ahora?. El origen está en dos motivos.

El primero y más importante es que la cantidad de chatarra vieja que reaparece en el mercado al cumplirse la vida útil del producto del cuál provino, es muy inferior a las necesidades de demanda actual. Diversos autores tienen estimaciones diferentes de la vida media de los productos de cobre durante su utilización, ya sea como cables, cañerías, circuitos, adornos, bobinas para motores, etc. El Bureau de Minas de los Estados Unidos estimaba la vida útil del cobre en 16,4 años (US Bureau of Mines, 1974), el Instituto del Cobre de Alemania (DKI, 1990) consideraba 33 años, Henstock (Henstock, 1997) 20 años, Huysmans (Huysmans, 1997) 38 años, sin considerar maquinaria industrial y bienes de consumo. En este trabajo se adoptó la vida media estimada por Janice Jolly (Escala, 2000) de 27 años. Esta cifra está compuesta por la vida media de cada producto. Jolly considera cinco sectores, la construcción (en la que hay numerosos productos, al igual que en los otros sectores), el transporte, la maquinaria industrial, los bienes de consumo, y el sector eléctrico y electrónico. Cuando se considera el peso relativo de cada uno de estos sectores industriales en la composición total del mercado del cobre, la estimación varía levemente, desde 27 a 29 años.

Si la chatarra vieja que llegó al mercado en el año 2000, por ejemplo, tuvo una vida media de 29 años, ello significa que esa chatarra comenzó a ser utilizada en 1971, cuando la demanda mundial fue 7,3 millones de toneladas. Por tanto, debería esperarse que la chatarra que llegó al mercado en 2000 fuese igual a esta cantidad, menos la fracción de cobre que se disipó y se perdió. El cobre disipado corresponde a los compuestos químicos, la disolución de cañerías y techos, el desgaste de las balatas, y de líneas eléctricas aéreas de trenes y otros vehículos eléctricos. En este trabajo se considera que el cobre disipado durante la vida de los productos es 1% del total de la demanda anual. Jolly (2001) y Ayres, (2001) concluyen que la disipación es menor que 1%. Adicionalmente, cuando la chatarra vieja reaparece en el mercado debe ser fundida y refinada, lo que conlleva una pérdida de 3,05 y 0,26% respectivamente (Ayres, 2001). Es decir, en total las pérdidas serían de 4,3%. De aquí que en el año 2000 debiera haber en

el mercado secundario 7,0 millones de toneladas. Esta cantidad, de estar disponible, lograría abastecer sólo el 45,6% de la demanda del año 2000, la que fue de 15,3 millones de toneladas. Este trabajo denominará a este factor como **“brecha generacional”** del cobre (ver Figura 4).

Pero la chatarra vieja que fue reciclada en 2000 fue de sólo 2.14 millones de toneladas, es decir menos de un tercio de la chatarra que estimamos como “disponible” para reciclaje. A esta segunda brecha, la llamaremos **“brecha ambiental”**, porque los costos de separación, recuperación y transporte hasta los lugares de tratamiento son más altos que el costo de disposición final. Por ello se ha ido acumulando un stock impresionante de cobre y otros metales en los botaderos industriales y domiciliarios a través del mundo, principalmente en los países desarrollados. En 1998 estimamos que este stock sería del orden de 250 millones de toneladas<sup>7</sup>, superior al stock de cobre en uso en el mundo, el que Jolly (2001) estimó en 210 millones de toneladas (ver Tabla 2).

En suma, en las próximas décadas - el reciclaje de cobre tiene un techo, constituido por la Brecha Ambiental, y la producción de mina tiene un piso, constituido por la Brecha Generacional.

---

<sup>7</sup> Consideramos aquí, solo una pérdida de 1,26% debido a disipación y a pérdidas en refinera. No consideramos las pérdidas debido al cobre en escorias de fundición (3,05%).

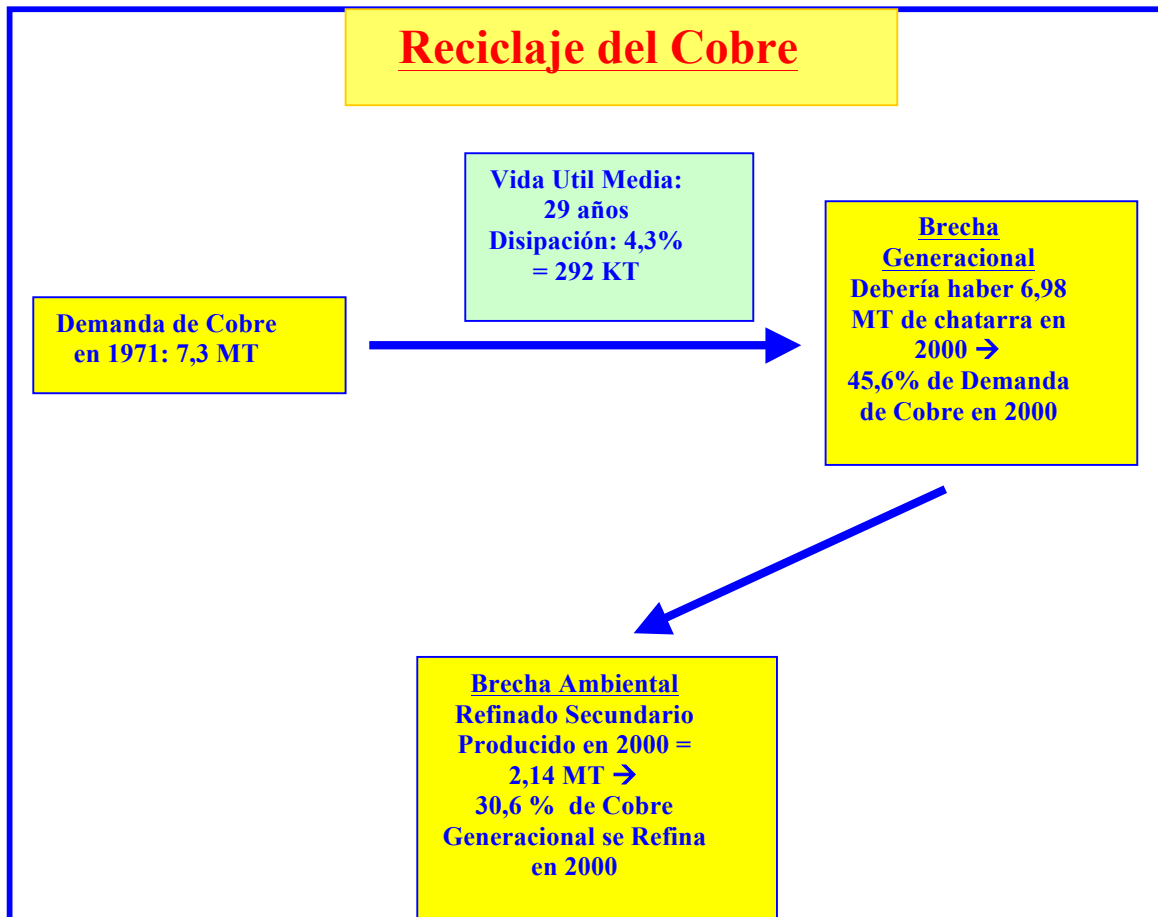


Figura 5: Ejemplo de la Brecha Generacional y Ambiental en el reciclaje de cobre

En este trabajo utilizamos la metodología de Escala (2000) y comparamos sus resultados con aquellos obtenidos con la metodología de Zeltner (1999), utilizada también por Ayres (2001). La Figura 6 muestra los fundamentos de estas metodologías. Volviendo al ejemplo de la Figura 5, la metodología de Escala considera que el cobre contenido en productos usados en el año 1971 reapareció en el año 2000. El cálculo se hace contabilizando la vida útil en cinco sectores (Jolly, 2001), la construcción (45 años), el transporte (15 años), la electricidad (40 años), la maquinaria industrial (20 años) y los bienes de consumo (15 años). De aquí que los resultados del cálculo de chatarra vieja cada año involucra un conocimiento de la distribución del consumo por estos cinco sectores desde 1955 en adelante. Debido a esto, los resultados de vida media total para la chatarra vieja que debería emerger al mercado cada año es distinta que si se hace el cálculo del ejemplo citado anteriormente, en que se considera una vida útil para todos los productos de cobre. El porcentaje que cada sector pesa en el mercado mundial han variado sustancialmente entre 1970 y 1996: la construcción ha crecido desde 21 a 42%, el transporte se ha mantenido constante en 12%, los bienes de consumo se redujeron desde 21 a 9%, la maquinaria industrial se redujo desde 17 a 13%, y el sector eléctrico y

electrónico se redujo desde 29 a 24%. Estos porcentajes se consideran constantes hacia el futuro en el modelo de Escala, adoptando los valores que citamos para 1996.

El método de Zeltner considera, en cambio, que la chatarra vieja que entra al mercado, utilizado en un año determinado, por ejemplo 1971, reaparece en el mercado en dos momentos distintos, el primero correspondiente al fin de la vida útil de los productos de corta duración (Automóviles, televisores, electrodomésticos, etc.), y el segundo momento, al fin de la vida útil de los productos de larga duración, los que utilizan la mayor cantidad de cobre (cables eléctricos, maquinaria industrial, cañerías, techos, etc.). Además, el modelo de Zeltner considera que la reaparición de los productos en los mercados tiene una distribución normal en que la media representa el promedio de vida de dichos productos.

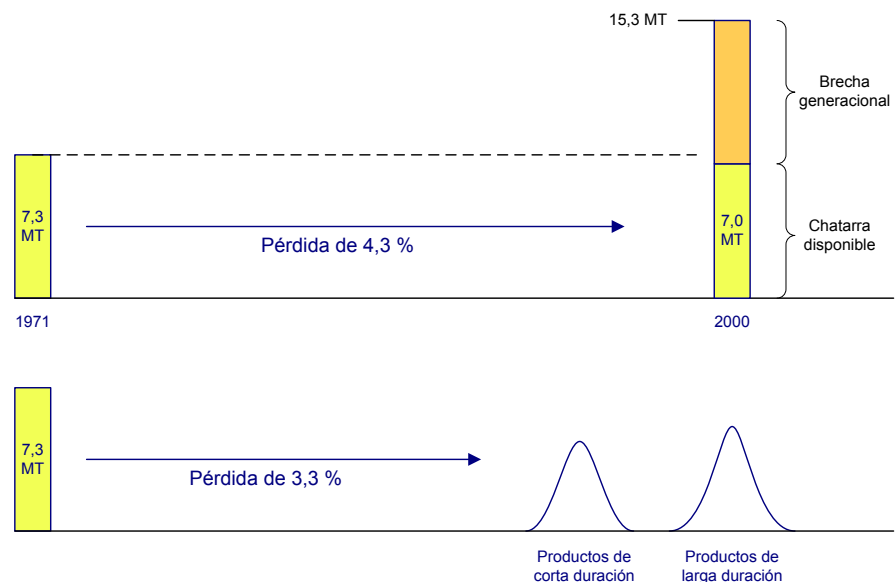


Figura 6: Modelos de Escala (arriba) y Zeltner (abajo) para estimar la Brecha Generacional del Cobre. En el ejemplo, los productos son usados en el mercado en 1971 y reaparecen discretamente en el modelo de Escala y en forma continua en el modelo de Zeltner.

El modelo de Escala considera una vida útil constante de los productos de cobre hacia el futuro, mientras que de acuerdo al modelo de Ayres, se consideran dos vidas medias en los próximos cien años. Las cifras de vida útil citadas en la literatura, tal como se discutió, oscilan fuertemente y no tienen una tendencia determinada.

Finalmente, en el modelo de Escala consideramos, en un escenario, que la razón entre la chatarra vieja refinada y la chatarra vieja disponible es 38,1%, valor promedio observado para el mundo en los últimos 30 años. Cabe agregar que esta razón tuvo una tendencia a permanecer constante desde 1985, oscilando entre 34 y 42%, pero siempre volviendo a la media indicada. Contrariamente a lo que pueda creerse, la OECD y los Estados Unidos

muestran valores inferiores para esta razón, de 36,5 y 29,1%, respectivamente, y mientras la tendencia en la OECD es a mantenerse constante, en los Estados Unidos la tendencia era claramente a la baja desde 1995 en adelante. En todo caso, la presunción en uno de los escenarios adoptados en este trabajo, es que esta razón permanece constante, lo que permite apreciar el piso para el reciclaje de chatarra vieja en el futuro, pero posiblemente no el techo, debido a que las políticas ambientales de minimización de residuos, especialmente en Europa, podrían tener un efecto en aumentar la razón entre la chatarra vieja refinada y la chatarra vieja (estimada) disponible. En la sección 3.3 se volverá a discutir este aspecto, el que resulta clave en la modelación. El modelo de Ayres (2001) presume un leve aumento de esta razón en el tiempo.

Existe información puntual respecto a pérdidas generadas debido al tratamiento indebido de residuos, tales como el que está reportado en Alemania, en donde hasta un 35% del cobre utilizado en automóviles era transferido junto a desechos destinados a plantas incineradoras, y por tanto terminaba dispersado en las cenizas de incineración de dichas plantas. En este trabajo no hacemos una consideración de este tipo, por cuanto existe evidencia que una parte importante del cobre y de otros metales presentes en automóviles se recupera hasta en un 90% en los procesos más eficientes, y que el resto de los metales van a botaderos industriales. En este trabajo no se consideraron pérdidas debido a recolección, y transporte.

Los antecedentes anteriores permiten apreciar el carácter incierto de los cálculos que estamos realizando. Los estudios detallados de la generación de chatarra se han publicado sólo en los Estados Unidos (US Bureau of Mines, 1974, Jolly, 2001) y Suecia (Landner et al, 1999), y atañen cifras concernientes a dichos países. Aún así, las cifras discrepan fuertemente, sobre todo en cuanto a las pérdidas de material y su destino. Este tema, permanece, en consecuencia, como uno de los menos estudiados en el mundo del cobre, a pesar de su alta importancia para el futuro del metal.

### **3- Resultados**

#### **3.1- Estimación de la Intensidad de Uso del Cobre**

Se consideran tres escenarios para proyectar la variación de la intensidad de uso del cobre. En el primero, denominado de alta intensidad de uso<sup>8</sup> (HIU), la IU depende exclusivamente de cambios en la población y en el PIB, en el segundo, denominado de baja Intensidad de Uso<sup>9</sup> (LIU), la IU se reduce en 0,25% anual en los países de la OECD, debido a factores tecnológicos, y en el tercero, denominado de muy alta intensidad de uso (XHIU) existe un crecimiento intrínseco de la IU en 0,25% anual. Estas tres tasas de crecimiento de la IU permiten configurar seis escenarios al combinar las tasas de

---

<sup>8</sup>  $d = 1$  en la ecuación 1.

<sup>9</sup>  $d = 0,9975$  en ecuación 1

crecimiento de la IU con los dos escenarios de crecimiento poblacional y económico (MMM-XHIU, MMM-HIU, MMM-LIU, BBA-XHIU, BBA-HIU, y BBA-LIU).

La Figura 6 muestra la Intensidad del Uso del Cobre histórica y proyectada de acuerdo a cuatro de estos seis escenarios para el Siglo XXI. Se observa que en 1990, la IU termina su comportamiento decreciente de las tres décadas anteriores y comienza a crecer, hasta 2000. La hipótesis de una IU decreciente para el cobre en los países desarrollados fue cuestionada en los años 90, ya que esta experimentó un aumento de 10% en los Estados Unidos entre 1991 y 1998, empujando, de esta forma, el crecimiento de la IU de la OECD en estos años. Las razones de tal comportamiento, sin embargo, no están claras, habiendo varias hipótesis para explicar dicho fenómeno. Una de las hipótesis fue que el aumento de IU en la OECD en los 90 fue debido a la acción de promoción y de defensa de los mercados que realizó la industria (mediante la Internacional Copper Association, ICA, la que agrupa a las grandes empresas mineras y semimanufactureras de cobre mundiales) en estos años y que sumó aproximadamente unos 55 millones de dólares. Esta hipótesis está lejos de estar demostrada, sin embargo, y corresponde a ICA, pero también a Chile como país, poder sustanciar cuál es el efecto de la defensa y promoción de los mercados sobre el uso del cobre. Otra hipótesis que se esgrimió, pero que parece haber sido abandonada, es que había habido un cambio en los patrones de inventarios en los Estados Unidos durante los 90. Una tercera hipótesis es que este cambio fue motivado por el aumento del consumo de Asia, y en particular por China.

A la fecha de publicación de este trabajo, estamos lejos de concluir un análisis de los factores que pueden haber inducido el cambio de la IU en los países desarrollados después de 1990. Sin embargo, se puede adelantar que la intensidad de uso del cobre no creció en todos los países de la OECD durante los 90. Por ejemplo, en los Estados Unidos la IU creció desde desde 0,28 a 0,32 kg/1000 US\$ PPP (moneda expresada en dólares PPP del 2002) entre 1991 y 1998, pero decreció a 0,3 en el año 2000<sup>10</sup>. En Alemania la IU creció desde 0,46 kg de cobre/1000 US\$ PPP de 2002 en 1990 a 0,62 en 2000, aunque debido a la reunificación, el verdadero aumento ocurrió después de 1996 y se observaba una fuerte tendencia creciente aún en el año 2000. En Japón, en cambio, la IU decreció desde 0,53 kg de cobre/1000 US\$ PPP en 1985 a 0,38 en 2000. Finalmente, y a modo de ejemplo, el Reino Unido comenzó la década de los 90 con una IU de 0,25 y la terminó con aproximadamente 0,22, aunque tuvo un fuerte aumento en los años intermedios. Entonces, no existe evidencia definitiva que el patrón de uso del cobre haya variado en forma permanente en la última década del Siglo XX, sino que mas bien hubo fuerzas de mercado que impulsaron este cambio, y que hay algunos índices de que la situación en el futuro podría volver a reflejar el modelo de la campana para la IU, en que los países desarrollados tienden a decrecer su intensidad de uso. Desde esta perspectiva no parece justificable elaborar un modelo distinto al de la campana para la Intensidad de Uso del Cobre, por ahora.

---

<sup>10</sup> En estos cálculos se utilizó la base de datos del PIB, expresado en dólares de los EEUU PPP corrientes, deflactados con el deflactor PIB de los EEUU

Es importante mencionar que otros “commodities”, tales como el algodón hace varias décadas y el aluminio más recientemente (Van Vuuren, 1999), vieron revertida en forma estructural, su tendencia en Intensidad de Uso, pero ello podría no ser aplicable o lograble en forma prolongada para commodities como el cobre.

En todos los escenarios, la IU del Cobre comienza a reducirse a partir de 2040 o 2050. Otra conclusión a la que nos conduce la Figura 6 es que las variaciones de población y el crecimiento económico son más importantes en la demanda futura de cobre que la tendencia intrínseca en intensidad de uso, ya que salvo en el escenario con muy alta IU, la demanda comienza reducirse en el presente Siglo. Ello se debe al uso del modelo de campana para la IU, para el que, sin embargo, no hay datos suficientes en la actualidad como para reemplazarlo por un modelo en que la IU en los países desarrollados deja de reducirse en el tiempo (ver Figura 8).

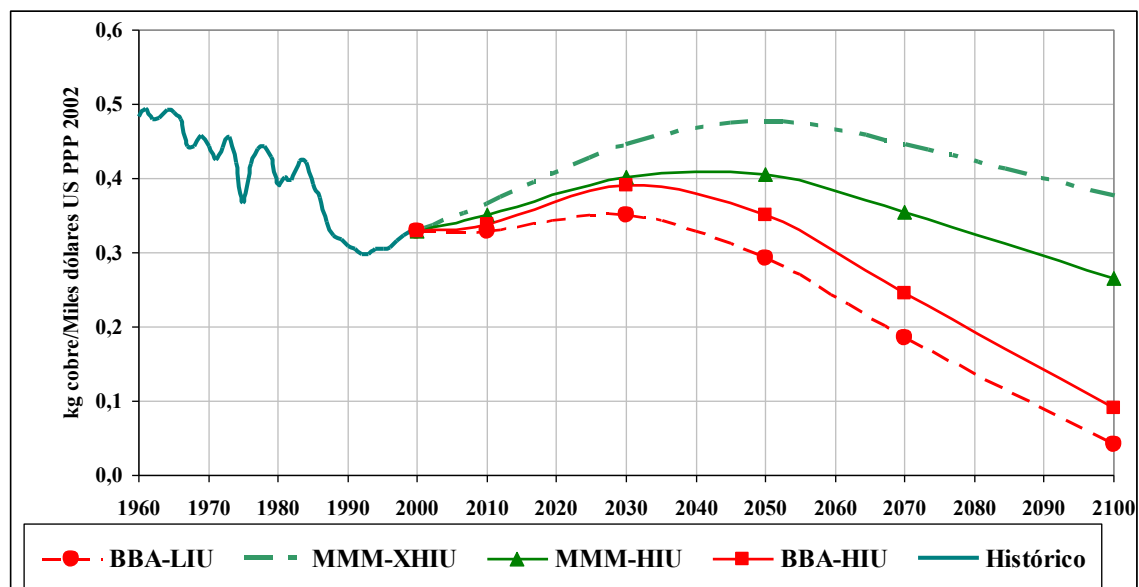


Figura 6: Intensidad de Uso del Cobre: Histórica y Proyectada en el Siglo XXI, PIB obtenido de base de datos de Naciones Unidas. El valor de PIB expresado en dólares corrientes fue deflactado con el deflactor del PIB de los EEUU, para obtener dólares PPP del año 2002, los que se usaron para obtener la curva histórica de la IU.

La Figura 7 muestra el uso per cápita del cobre. Se observa que el crecimiento de esta variable entre 1960 y 2000 fue extremadamente baja, lo que lleva a pensar que tal vez las predicciones para el futuro son demasiado optimistas. En estos escenarios, el uso del cobre alcanzaría entre 7 y 11 kg de cobre per cápita en 2100, comparado con los poco más de 2 kg/cápita actuales.

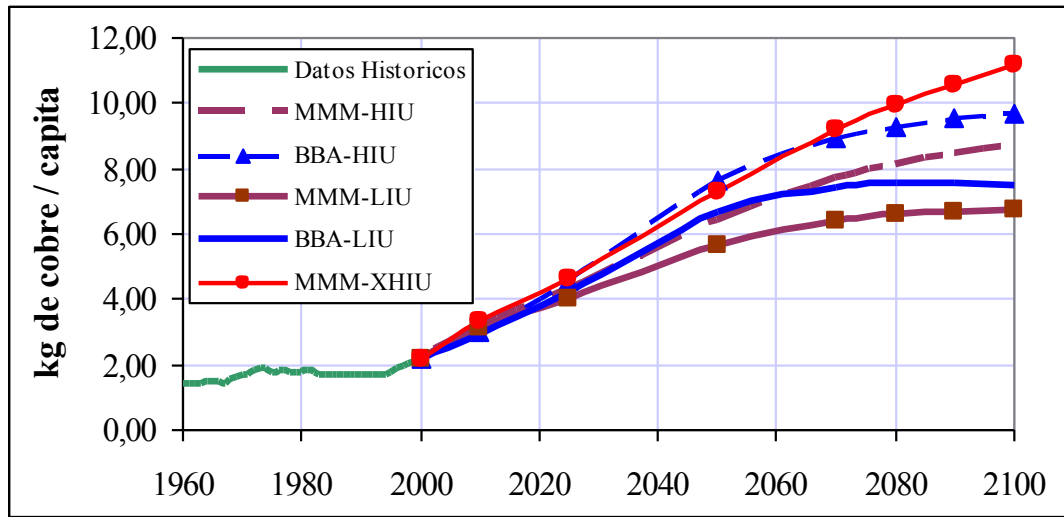


Figura 7: Intensidad de Uso, kg de cobre per cápita

### 3.2- Estimación de la Demanda de Cobre

En cuanto a la demanda mundial de cobre, en el Siglo XX esta aumentó a un ritmo promedio de algo más de 3,5 % anual. Este crecimiento fue, en promedio, un 3,6% en la primera mitad del siglo y 3,4% en la segunda mitad. En el primer y tercer cuarto de siglo fue de 4,6 y 4,1 % respectivamente, mientras que en el segundo y último cuarto del Siglo fue de 2,6%. Hubo grandes variaciones en la demanda en períodos cortos. Las mayores reducciones se produjeron después de comenzar las dos guerras mundiales, y con la gran depresión a partir del año 1929. Después del término de ambas guerras y de la depresión, la demanda de cobre se recuperó en períodos de tres a cuatro años.

La Figura 8 muestra la demanda histórica de cobre en el siglo XX y las proyecciones para el Siglo XXI, en diversos escenarios. A simple vista, en la Figura 8, parecería que la demanda en el Siglo XXI crecería más rápido que la del siglo anterior. Sin embargo el crecimiento proyectado para el año 2100 es mas bien mediocre cuando se lo compara con el Siglo XX (ver Tabla 1).

La reducción de las tasas de crecimiento económico del mundo durante el presente siglo, tienen la más importante de las consecuencias para la demanda de cobre, como lo señala la Figura 8. A fines del presente siglo, incluso en el escenario de una IU constante para los países desarrollados, (en 2100 casi todos los países serían desarrollados en estos escenarios), la demanda de cobre estaría pronta a llegar a un máximo de entre 90 y 100 millones de toneladas anuales. En los escenarios de baja IU, el máximo de demanda ya se habría alcanzado entre 2070 y 2080.

	<b>Histórico</b>	<b>BBA - HIU</b>	<b>MMM-HIU</b>	<b>BBA-LIU</b>	<b>MMM-LIU</b>
--	------------------	------------------	----------------	----------------	----------------



% Promedio crecimiento de la demanda entre años 2000-2100		1,79	1,51	1,53	1,25
% Promedio crecimiento de la demanda entre años 2000-2050		2,75	2,95	2,49	2,69
% Promedio crecimiento de la demanda entre años 1900-2000	3,5				
% Promedio crecimiento de la demanda entre años 1900-1950	3,6				
% Promedio crecimiento de la demanda entre años 1950-2000	3,4				

Tabla 1: Porcentajes promedio del crecimiento de la demanda de cobre: 1900-2100

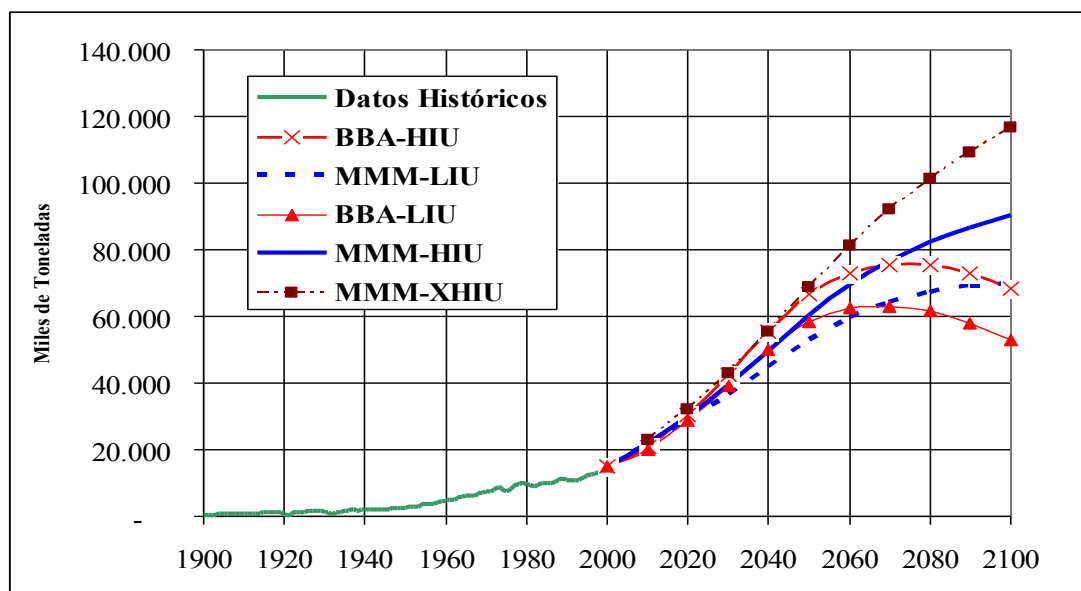


Figura 8: Demanda histórica de cobre 1900-2000 y demanda proyectada de cobre en cuatro escenarios en período 2000-2100.

La importancia de la IU, única variable de este modelo en que la que se puede ejercer alguna influencia en la demanda futura de cobre señala claramente que si el esfuerzo que haga la industria, y Chile como principal productor mundial, tienen como resultado un cambio positivo en el comportamiento de la IU, ello imprime una urgencia a los programas de defensa y promoción de los mercados.

Una pregunta que ha surgido a raíz de estos escenarios es si el mundo será capaz de proveer 60 millones de toneladas de cobre a precios razonables hacia mediados de siglo, y hasta 100 millones de toneladas hacia fines de siglo.

### 3.3- Estimación de la Producción de Mina y Reciclaje

Tal como se desprende de la metodología descrita en la sección 2.4, una de las estimaciones que se realizan en este trabajo consideran que la brecha ambiental (chatarra vieja refinada/chatarra vieja estimada disponible) se mantiene constante, mientras que la brecha generacional (chatarra vieja estimada disponible/demanda de cobre) varía de acuerdo al modelo de Escala.

La Figura 9 muestra la razón entre la chatarra vieja reciclada o refinada y la demanda mundial de cobre en el escenario de una brecha ambiental constante. Se observa que esta razón, denominada tasa de reciclaje por Ayres (2001) y otros autores, permanece fundamentalmente constante en los próximos 50 años, debido al crecimiento de la demanda. Sólo en escenarios en que el mundo crece a tasas muy pequeñas, como las observadas en nuestras proyecciones, esta razón puede aumentar. Desde esta perspectiva, *la producción de cobre primario o de mina tiene su futuro asegurado en el próximo medio Siglo*. El escenario con muy alta IU (XHIU) es el que tiene menor refinado secundario respecto a la demanda total, confirmando nuevamente que altas tasas de crecimiento de la demanda favorecen la producción de mina, ya que la brecha generacional no puede reducirse en dichas circunstancias.

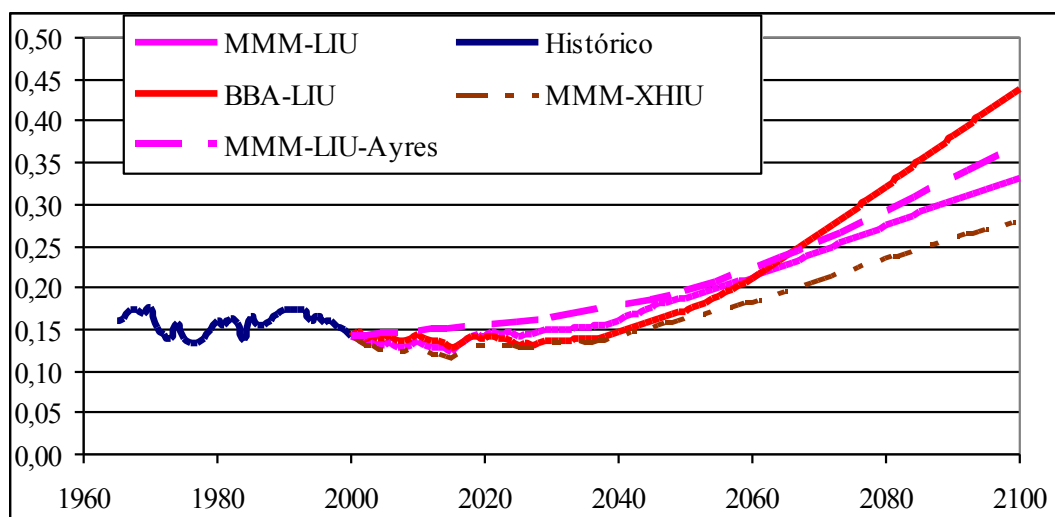


Figura 9: Porcentaje de la Tasa de Reciclaje o Producción de Refinado Secundario con respecto al Consumo Total de Cobre calculado según el método de Escala. Se compara con uno de los resultados de Ayres (2001).

En la Figura 9 se observa que las Tasas de Reciclaje estimadas por el método de Escala son aproximadamente un 3 a un 5% inferiores que las estimadas por Ayres (2001) mediante el método de Zeltner (1999). Se observa también que el método de Escala refleja la tendencia a la baja que venía ocurriendo para la tasa de reciclaje desde mediados de la década de los 90. Ello se debe a que habría menos chatarra vieja disponible en relación al total de la demanda ya que esta última aumentó muy rápido

durante esta década, y que este efecto duraría hasta cerca del año 2015. Otro factor en la reducción de la oferta de chatarra vieja en los últimos años fue la reducción del precio del cobre, ya que los costos de recuperación de la chatarra vieja “compleja”<sup>11</sup> son con frecuencia superiores que el precio en estos períodos. Un último factor señalado por Jolly (2001) para la reducción de refinación de chatarra vieja es el cierre de fundiciones secundarias en los Estados Unidos ocurrido entre 1998 y 2001.

Cabe mencionar que la brecha ambiental se ha ido reduciendo en los países desarrollados en la última década. Mientras en 1970 sólo se reciclaba el 30% del cobre, en 1999 la tasa de reciclaje de cobre en algunos de estos países se acercaba a 40%, empujada por las fuertes regulaciones ambientales. El plomo, siendo el metal bajo mayor presión para ser reciclado, ha alcanzado tasas de cerca de 70% de reciclaje en los países desarrollados. La Unión Europea propicia en la actualidad una política de minimización de desechos que incluye una obligatoria y drástica reducción de los desechos industriales y domiciliarios, incentivos para los productores que producen menos desechos, normas de diseño y etiquetado para productos reciclables, adquisición de materiales reciclables por parte del gobierno, desarrollo de mercados de materiales reciclables, e incentivos para aquellos productores que tomen responsabilidad sobre el reciclaje de los productos.

Por ello se diseñó un escenario en que la brecha ambiental se reduce en el futuro, como lo muestra la Figura 10. Mientras un escenario máximo de producción de mina (igual al de la Figura 9) considera que la brecha ambiental se mantiene constante en el Siglo XXI, el escenario mínimo para producción de mina considera una reducción lineal de la brecha ambiental a razón de 1% anual a partir de 2004, llegando a un tope de 80%. Es decir, se considera que el máximo de chatarra vieja recuperable con respecto a la chatarra disponible cada año es 80%. Esta cifra, de hecho, es bastante superior a lo que Jolly (2001) considera como recuperable.

La Figura 10 muestra que el escenario con mayor requerimiento de cobre de mina es el MMM-XHIU en que la brecha ambiental sigue siendo proporcional a la actual ( $CVR/CVD=38,1\%$ )<sup>12</sup>. En este escenario la producción de mina seguiría aumentando hasta 2100, llegando a poco más de 80 millones de toneladas en dicho año. En el escenario MMM-HIU con la brecha ambiental constante, se llega también a un aumento continuo de la producción hasta algo más de 64 millones de toneladas en 2100. En todos los otros escenarios, la producción de mina alcanza un máximo en el curso del Siglo XXI. Dicho máximo, en varios escenarios es de unas 55 millones de toneladas anuales.

Es importante analizar el escenario BBB-LIU de mínima producción de mina, ya que en este la producción de mina alcanza un máximo de algo menos de 40 millones de toneladas, en 2050, y posteriormente disminuye a 6 millones de toneladas en 2100. Ello

---

<sup>11</sup> Chatarra difícil de separar y con bastantes impurezas, lo que encarece su recuperación.

<sup>12</sup>  $CVR$  = chatarra vieja refinada;  $CVD$  = chatarra vieja estimada disponible

se debe a que en este escenario, la demanda comienza a reducirse entre 2060 y 2070, lo que causa entre 2070 y 2100 que la chatarra vieja disponible sea mayor que la demanda. Al haber más chatarra disponible para ser reciclada, es de suponer que habría más oferta de chatarra vieja reciclada. Cabe agregar también, que en el escenario MMM-LIU de mínima producción de mina, la demanda de cobre de mina sería bastante modesta, llegando a un máximo de unos 35 millones de toneladas en 2060 para reducirse posteriormente a poco más de 20 millones de toneladas en 2100.

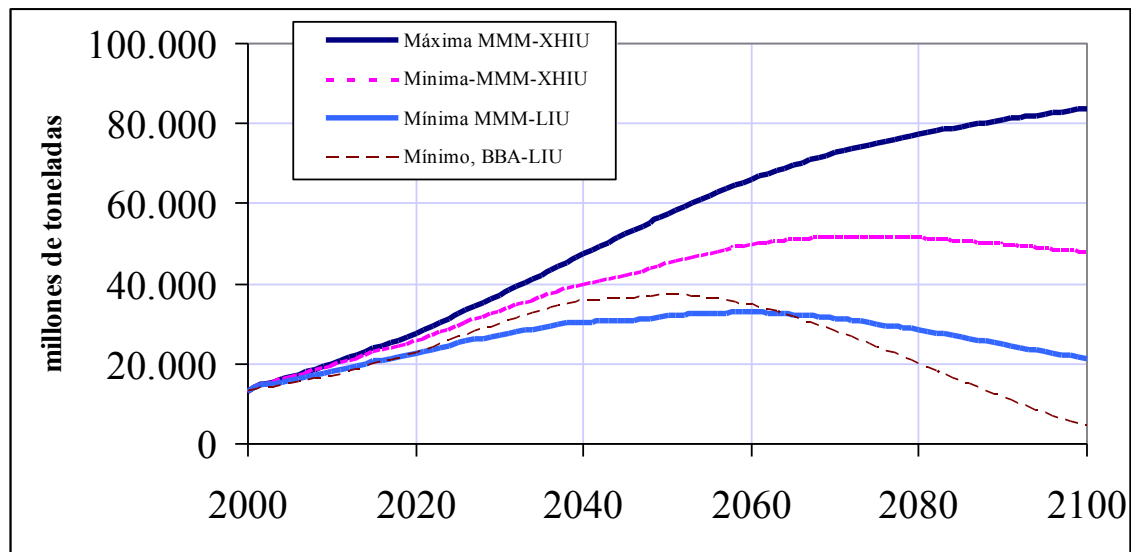


Figura 10: Escenarios para la producción de Cobre de Mina. En escenario máximo (MMM-XHIU) la brecha ambiental se mantiene constante, mientras que en todos los escenarios mínimos se considera que la brecha ambiental comienza a reducirse a razón de 1% a partir de 2002, hasta llegar a un 80% de la chatarra vieja reciclada con respecto a la chatarra vieja disponible.

Variable	Unidades	Cantidad	Referencia
Recursos de Cobre en la Corteza Terrestre	MT	1,5 *10 <sup>9</sup>	Tilton, 1977
Reservas de Cobre	MT	380	Tilton, 2003
Demanda Total de Cobre en el Siglo XX	MT	464	World Bureau of Metal Statistics
Producción de Cobre Primario en el Siglo XX	MT	411	World Bureau of Metal Statistics
Producción de Cobre Secundario (Chatarra Vieja) en el Siglo XX *	MT	52	resta entre consumo y producción primaria
Stock de Cobre en Uso en el mundo en 1996	MT	210	Jolly, 1997
Cobre en Botaderos en el mundo en 1996	MT	250	este trabajo
Vida media del cobre en uso, 1996	años	27	Jolly, 1997
Demanda Total de Cobre en el Siglo XXI escenario MMM-HIU	MT	5673	este trabajo
Demanda de Cobre en el Siglo XXI escenario MMM-LIU	MT	4821	este trabajo
MT: millones de toneladas; * La Producción total de cobre secundario (Chatarra Vieja) fue estimada como la diferencia entre la Demanda de Cobre y la Producción de Mina. Esta cifra es posiblemente una subestimación de la chatarra vieja refinada.			

Tabla 2: Principales indicadores para la producción, demanda, y stocks de cobre en los Siglos XX y XXI.

#### 4- Discusión y Conclusiones

¿Que diría un observador en 1900 que es informado que la producción de cobre de mina en el año 2000 será de 13.1 millones de toneladas (en 1900 era de 452 mil toneladas anuales) y que la demanda total de cobre en el Siglo XX será de 464 millones de toneladas? No sabemos. Pero una de las reacciones posibles entonces, es que hubiese pensado que sin haberse instaurado aún la tecnología de flotación, era inconcebible que hubiese reservas y tecnologías para poder suministrar al mundo estas cantidades de cobre a precios razonables. *Cien años después, sin embargo, uno de los mayores problemas que afecta a la industria mundial de cobre es la sobre oferta.* No se cumplieron las predicciones de tantos ilustres que pronosticaron el agotamiento de las reservas de cobre y de otros metales, entre ellos el informe Paley (1952), y el informe del Club de Roma (Meadows, 1972).

Nosotros, observadores situados en 2003, no conocemos, por supuesto, cual será la demanda de cobre en el futuro. Pero algunos de los escenarios que se han elaborado parecen plausibles. Entonces algunas de las preguntas de hoy son: ¿Será capaz la industria de proveer cerca de 5 mil millones de toneladas de cobre de mina a precios razonables durante el Siglo XXI, es decir algo más de 10 veces la producción del Siglo

XX? (ver Tabla 2). Será capaz la industria minera de proveer hasta 80 millones de toneladas anuales en 2100, es decir casi seis veces más que en 2001?

Respecto a las *reservas* conocidas de cobre<sup>13</sup>, en este trabajo se supone que ocurrirá lo mismo que durante el Siglo XX, en que a pesar que los grandes nuevos yacimientos fueron cada vez más difíciles de ser descubiertos, la innovación en tecnologías de exploración permitió no sólo descubrir suficientes nuevos yacimientos como para proveer la oferta necesaria para satisfacer la creciente demanda de cobre, sino que en determinados períodos, las reservas comprobadas de cobre aumentaron, en vez de disminuir (Banco Central, 2001). Además, se demostró que la disponibilidad de reservas explotables depende primariamente de la inversión que se haya realizado en exploración (Lagos, 2000), y no como se cree usualmente, en la cantidad de depósitos existentes, los que serían prácticamente ilimitados<sup>14</sup>.

No es extraño, entonces, comprobar que la vida útil de las reservas conocidas se haya mantenido constante o haya aumentado durante los últimos 50 años. Vida útil de las reservas minerales es el número de años que estas durarán si la demanda aumentara en un porcentaje determinado. Este tipo de estimación adolece, sin embargo, de dos debilidades fundamentales. En primer lugar no considera que cuando las empresas tienen reservas conocidas de 20 a 30 años de vida, existen pocos incentivos para realizar exploración, y es preferible diferir este gasto hasta que haya nuevas tecnologías de exploración que permitan descubrir yacimientos que en la actualidad no se pueden descubrir sino por golpes de suerte. Y segundo, porque las estimaciones de vida útil suponen que la razón entre oferta de cobre primario y secundario se mantendrá constante, cuestión que es equivocada en el largo plazo.

Ayres (2001), concluye que es poco factible que la industria logre suministrar estas cantidades de cobre a precios competitivos. Nuestra conclusión, basada en la tendencia del precio en los últimos 30 años, en el comportamiento de la vida útil de las reservas en el último medio siglo, y en la evidente capacidad de la industria para proveer más cobre de mina del demandado por el mercado, es que es posible que la industria proporcione la demanda requerida, a precios competitivos.

Por lo demás, los escenarios de producción de mina requerida muestran que salvo en los casos de máximas producciones para algunos de los escenarios (MMM-XHIU y MMM-

---

<sup>13</sup> entendidas estas de acuerdo a la definición clásica, es decir que las reservas de un metal es el tonelaje que es conocido y que puede ser extraído a costos que son inferiores al costo marginal del productor de mayor costo

<sup>14</sup> La totalidad de cobre que existe en la corteza terrestre fue estimada por Tilton (1977), y se concluye que al ritmo de uso del año 2000, estos recursos se agotarían en 100 millones de años, considerando que la producción primaria abastece el 100% de la demanda.

HIU), los requerimientos parecen más bien modestos, incluso comparados con la producción de mina de 2001 de alrededor de 13.5 millones de toneladas.

La teoría cultural de Thompson (Thompson, 1990) introduce tres perspectivas activas para formular el desarrollo sustentable: la individualista, la jerárquica, y la igualitaria. Está fuera de las posibilidades de este trabajo el discutir en detalle estas tres perspectivas. Baste decir, sin embargo, que el individualista es equivalente al “no preocupado u optimista” mencionado por Tilton (Tilton, 1996) en referencia a la depleción de los recursos naturales, mientras que el “igualitario” es el “preocupado o pesimista”. El Individualista enfatiza las posibilidades del desarrollo mediante la tecnología y la creatividad. Para él la naturaleza es benigna. El Igualitario, en cambio, enfatiza la importancia de las estructuras de grupo en lograr objetivos y valores comunes sin estructuras autoritarias. Para el Igualitario, la naturaleza es vulnerable. Varios autores, entre otros Van Vuuren (Van Vuuren, 1999) han utilizado esta teoría para elaborar escenarios futuros en diversos ámbitos de la sociedad.

Desde la perspectiva de la teoría cultural, este trabajo podría ser clasificado como individualista, ya que supone que no habrá limitaciones en la oferta, y que habrá tecnología para garantizar que dicha oferta se genere a precios que no susciten sustitución. Esto es, por lo demás, lo que ocurrió en el Siglo XX.

En cualquiera de los escenarios estudiados de producción de mina, Chile tiene un futuro potencial muy importante en el contexto mundial, ya que si ha de preservar su liderazgo en este terreno (cerca de 35% de la producción mundial), ello significaría aumentar la producción de cobre chileno al menos a 11.5 millones de toneladas en 2050. Si hay algún lugar de donde podrían provenir las reservas explotables económicamente para abastecer el mercado debería ser de Chile, con sus leyes de cobre privilegiadas y sus condiciones económicas, políticas y geográficas altamente competitivas. Si ha de ocurrir esto, el Estado de Chile debiera realizar un esfuerzo mucho mayor que el que ha realizado hasta ahora para incentivar la creación de tecnologías de producción competitivas, involucrando a toda la producción privada, y no solamente a Codelco como ha ocurrido en los últimos 10 años.

Otro elemento relevante que indican estos escenarios es que la diferencia entre hacer promoción para lograr aumentar la demanda, y la de dejar que el mercado “opere” podría hacer una diferencia de 20 millones de toneladas en 2050 y 60 millones de toneladas en 2100. Por ello es que una inversión modesta en promoción (la industria invirtió aproximadamente 2,7 millones de dólares por cada tonelada de mina producida anualmente, o bien 0,16% de las ventas netas en 2002), podría incrementarse considerablemente sin afectar la rentabilidad de la industria. Ello requiere, sin embargo dos condiciones. La primera es que los “Free Riders”, es decir aquellas grandes empresas que no contribuyen a este esfuerzo, se integren a él. Y segundo que se sustancie el efecto que dicha acción de promoción efectivamente tiene, cuestión que hasta ahora no se ha

producido. Corresponde al Internacional Copper Association hacer esto, pero también a Chile, como primer productor de cobre de mina del mundo.

Por último, quisieramos abordar la pregunta de cuando explotar el cobre Chileno. Los escenarios estudiados muestran que salvo los casos excepcionales, la producción de mina alcanzaría un máximo en el presente Siglo, que la producción secundaria debería ser más y más importante a partir de 2050, y que en consecuencia, guardar el cobre para después sería, posiblemente, desaprovechar un recurso que tenemos, y que posteriormente podría carecer de valor. Lo mismo que ocurrió con el Salitre, en que Chile se quedó con el recurso, el que ya carecía de valor relevante.

### **Agradecimientos**

Se agradece los comentarios a este trabajo recibidos de parte de John Tilton, Marcos Lima y Peter Knights.

### **Referencias**

Ayres, R. and I. Rade, 2001, *The Life Cycle of Copper, Its Co-Products and By-Products*, Report for the MMSD (Mining, Minerals and Sustainable Development), Center for the Management of Env. Resources, Fontainebleau, France.

Banco Central, 2001. “Cuantificación de los principales recursos minerales de Chile, 1985-2000”, Elaborado por Banco Central y Servicio Nacional de Geología y Minería.

DKI, 1990, German Copper Institute (DKI), *Recycling von Kupferwerkstoffen*, information printing, German

Donella H. Meadows et.al., *The Limits to Growth*, New Cork, Universe Books, 1972

IPCC, 2000, Intergovernmental Panel on Climate Change. *Special Report on Emissions Scenarios*, Cambridge

Escala S., 2000, *Equilibrio económico para la producción y reciclaje de cobre en el mundo*, Memoria de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile

Henstock, M., 1997, *The Potential and Limitations of Copper Recycling*, Proceedings of the World Copper Recycling Conference, International Copper Study Group, Brussels, March, 1997.

Huysmans, P., 1997, *The Recycling of Copper in the Production of master Alloys*, Proceedings of the World Copper Recycling Conference, International Copper Study Group, Brussels, March, 1997.



Jolly, 2001, The US copper\_base scrap industry and its by-products: an overview (Second Edition, unpublished), United States Geological Survey.

Lagos G. and M. Andía, “Copper Recycling and the Environment”, Proceedings of the World Copper Recycling Conference, International Copper Study Group, Brussels, March, 1997.

Lagos G.E. y M. Andía, 1999, “Recursos Mineros e Hidrocarburos (Capítulo 7)”, publicado en “Informe País: Estado del Medio Ambiente en Chile”, Colección Estado y Políticas Públicas, Universidad de Chile, 2000, pags 291- 324..

Landner L., and Linderstrom, L., 1999, Copper in Society and in the Environment, 2<sup>nd</sup> revised edition, Swedish Environmental Research Group (MFG) 1999.

Malenbaum, W., 1973, Material Requirements in the United States and Abroad in the Year 2000., Research project prepared for the National Commission on Materials Policy, Philadelphia, University of Pennsylvania.

OECD, 1974, Forecasting Steel Consumption, Paris.

Paley W., 1952, United States President’s Materials Policy Commission, Resources for Freedom, Volume I – Foundations for Growth and Security, Washington D.C., U.S. Government Printing Office, 1952).

Thompson, M., Ellis, R., Wildavsky, A., 1990, Cultural Theory. Westview Press, Boulder, CO, USA.

Tilton J., 1977, The Future of Non Fuel Minerals, The Brookings Institution, Washington D.C.

Tilton, J., 1990, World Metal Demand, Trends and Prospects, John Tilton, Editor, Resources for the Future, Washington DC., 1990.

Tilton, J., 1996, Exhaustible Resources and Sustainable Development, Two Different Paradigms, Resources Policy 22 (1-2), 91-97.

US Bureau of Mines, 1974, Recovery of Secondary Copper and Zinc in the United States, United States Department of the Interior, Bureau of Mines Information Circular, IC 8622, Washington D.C.

Van Vuuren, D. P., B. J. Strengers and H. J. M. de Vries, 2000, “Long\_term perspectives on world metal use: a system dynamics model”, Resources Policy 25, 2000 :239\_255.

Zeltner C., H.\_P. Bader, R. Scheidigger and P. Baccini, 1999 ``Sustainable metal management exemplified by copper in the USA'', Regional environmental change 1(1), November 1999 :31\_46.