

# INFORME FINAL

## ESTUDIO “Incluyendo el agotamiento de los recursos naturales en las cuentas nacionales: evidencia peruana del periodo 1994-2011”

Autor del estudio: Carlos Orihuela (investigador UNALM)<sup>1</sup>

Lima, julio del 2013

Financiado por:



Operado por:



Con la participación de:



---

<sup>1</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina

## ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO .....	3
1 INTRODUCCIÓN.....	4
2 MARCO CONCEPTUAL .....	6
3 EL MODELO.....	9
4 MEODOLOGÍA.....	12
4.1 Sector minero .....	13
4.2 Sector hidrocarburos .....	15
4.3 Degradación ambiental.....	16
4.4 Capital humano.....	17
5 RESULTADOS .....	17
6 CONCLUSIONES.....	21
7 RECOMENDACIONES DE POLÍTICA.....	24
REFERENCIAS .....	26
ANEXOS .....	32
ANEXOS INFORMATIVOS.....	33
ANEXO INFORMATIVO 1 .....	34
ANEXO INFORMATIVO 2.....	35
ANEXO INFORMATIVO 3.....	37
ANEXOS METODOLOGICOS.....	38
ANEXO METODOLOGICO 1 .....	39
ANEXO METODOLOGICO 2.....	58
ANEXO METODOLOGICO 3.....	59
ANEXOS ECONOMETRICOS.....	63
ANEXO AE-1 .....	64
ANEXO AE-2.....	64
ANEXO AE-3.....	65
ANEXO AE-4 .....	66
ANEXO AE-5.....	66
ANEXO AE-6.....	66
ANEXO AE-7 .....	67
ANEXO AE-8.....	67
ANEXO AE-9.....	67
ANEXO AE-10.....	68
ANEXO AE-11.....	68
ANEXO AE-12.....	68

## **RESUMEN EJECUTIVO**

La economía peruana se encuentra en la senda óptima del crecimiento, a pesar del agotamiento de los recursos naturales, lo cual es fruto -básicamente- del buen manejo económico, de la favorable coyuntura mundial de precios de los metales y de la riqueza geológica peruana.

La presente investigación pretende determinar una medida de ingreso nacional que incorpore la pérdida de capital natural, degradación ambiental y capital humano, a fin de obtener una medida más apropiada para la toma de decisiones. Para ello se utilizó el modelo de Hamilton (1994, 2000).

Así, los resultados para el periodo 1994-2011 indican que las medidas de ingreso tradicionales en el Perú han sido sobrestimadas en un rango de 4-10% dependiendo del año.

Finalmente, se concluye que para potenciar las posibilidades de crecimiento futuro en el país, se requiere revisar e implementar una política integral sobre los recursos naturales y, en general, de todos los recursos de la economía.

## 1 INTRODUCCIÓN

Desde tiempos de la colonia, la economía peruana ha dependido fundamentalmente de la extracción y venta de recursos naturales. Esta dependencia ha sido creciente a lo largo de los siglos, la cual en los últimos tiempos se ha acrecentado con la subida de los precios metales. Ello se ha traducido en mayores ingresos al Estado y una creciente dinámica alrededor de los sectores extractivos, sobretodo del sector minero. Al mismo tiempo significa que los recursos naturales, principalmente hidrocarburos y metales, serán extraídos y eventualmente agotados, y por ende es necesario no solo su uso óptimo sino también reinvertir eficientemente sus rentas.

Una gestión inadecuada de los recursos naturales podría peligrar la satisfacción de necesidades de las próximas generaciones: ¿Cuáles son las implicancias del eventual agotamiento de estos recursos para el crecimiento económico en el largo plazo? Por ello, es necesario evaluar el desempeño económico de estos sectores. Una forma de medir este desempeño y de los sectores que la conforman es mediante las medidas de ingreso tradicionales, tales como el Producto Interno Bruto y el Producto Nacional Neto (de ahora en adelante, PIB y PNN respectivamente).

En el caso de los sectores extractivos, los PIB y PNN sectoriales consideran la extracción de recursos naturales solo como ingreso y no como consumo de capital. Si tales recursos constituyen activos naturales entonces también deben ser sujetos de depreciación o agotamiento, detalle que es omitido por el actual Sistema de Cuentas Nacionales. Por ende, las medidas de ingreso tradicionales no reflejan el real desempeño de los sectores extractivos.

Esto es particularmente importante en un país altamente dependiente de la extracción y venta de recursos naturales como el Perú, cuyas exportaciones de recursos naturales concentraron más del 77 % del total (BCRP, 2013). Si el Estado considera una medida de ingreso sobrestimada, su decisión podría conllevar a políticas inadecuadas, como por ejemplo, priorizar la extracción de un recurso natural en desmedro, quizá, de su conservación.

Las medidas de ingreso (PIB, PNN) que incorporan la depreciación natural e incluso la degradación ambiental se denominan "*medidas de ingreso verde*".

En la literatura económica existen diversos modelos -principalmente utilizando control óptimo- para calcular tales medidas como Hartwick (1990) y Hamilton (1994; 1996), así como diversas metodologías para estimar sus componentes (por ejemplo, para calcular la depreciación de un recurso natural no renovable se usan los métodos propuestos por El Serafy (1989), Adelman (1990), entre otros). Por este motivo, los resultados para una misma medida de ingreso verde pueden ser sustancialmente diferentes dependiendo de la aplicación de una u otra metodología.

El objetivo de esta investigación es incorporar la depreciación natural y degradación ambiental en las cuentas nacionales a fin de obtener una medida de ingreso nacional peruana más apropiada para la toma de decisiones. El periodo de estudio es 1994-2011.

Es importante destacar la activa participación de la Dirección Nacional de Cuentas Nacionales del Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI y la Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural del Ministerio del Ambiente- MINAM durante el proceso de elaboración del presente estudio<sup>2</sup>; además del financiamiento del Fondo de Estudios y Consultorías Belga Peruano.

---

<sup>2</sup> Ver lista de actores de instituciones de gobierno involucrados en el estudio, en el Anexo Informativo 1

## 2 MARCO CONCEPTUAL

### *Regla de Hartwick y rentas*

Generalmente los recursos naturales ganan una renta la cual constituye un excedente económico que los países deben potencialmente utilizar para financiar el consumo y/o inversión. Esta es una elección crucial para países cuya economía depende en gran medida de estos recursos, como el Perú.

Hartwick (1977) identificó teóricamente una condición entre las rentas<sup>3</sup> provenientes de los recursos y la sostenibilidad económica (mantenimiento no decreciente del nivel de vida de la sociedad). Basándose en el hipotético caso de un país que produce un único recurso no renovable, en donde sus rentas son las únicas fuentes de inversión en la economía, el autor demuestra que en este caso extremo, el país puede mantener -a perpetuidad- un nivel constante de consumo per-cápita siempre y cuando invierta una cierta fracción de las rentas en otras formas de capital.<sup>4</sup> Esta condición es conocida como la *Regla de Hartwick*.

Esta regla propone que un país debe reinvertir las rentas de sus recursos naturales para diversificar su actividad económica en otras más dependientes del trabajo y capital físico. Tales actividades deberían mantener la economía aún cuando disminuya el stock de recursos naturales.

El supuesto crucial de la regla es asumir un alto grado de sustitución entre el capital natural y otros capitales, de ahí que la validez empírica del resultado sea cuestionable. Por ello Solow (1992) argumenta que la Regla de Hartwick constituye un patrón de referencia adicional para evaluar el consumo de corto y mediano plazo. La reinversión de rentas no necesariamente conllevará a un nivel de consumo que pueda ser mantenido a perpetuidad aunque es más probable lograrlo si éstas no son destinadas totalmente al consumo actual.

La Regla de Hartwick sugiere una forma de determinar si un país está invirtiendo lo suficiente para mantener su consumo: evaluar si la inversión neta, definida como la diferencia entre todas las adiciones y sustracciones de todas las formas de capital, es

---

<sup>3</sup> Estos recursos pueden no percibir esta renta si tienen problemas de libre acceso.

<sup>4</sup> Esta fracción es llamada "renta Hotelling total".

positiva. Las adiciones deberían incorporar no solo inversión neta en capital físico sino también incrementos en los stocks de capital humano y recursos naturales. Las sustracciones deberían incluir todas las reducciones de los diferentes tipos de capital: depreciación de capital físico, humano y natural.

De esta forma, para un país rico en recursos naturales, el consumo de capital natural constituye una variable crucial para evaluar la Regla de Hartwick.

### *Ingreso Nacional Neto y consumo de capital natural*

Weitzman (1976) demostró que, bajo una senda óptima de una economía dinámica y competitiva, el PNN medido como la suma del consumo e inversión de un periodo dado, iguala al valor presente del consumo a lo largo de la senda en mención. Este producto debe incluir los cambios en todos los stocks de capital de la economía, incluyendo los recursos naturales. En otras palabras, el verdadero<sup>5</sup> producto nacional es simplemente la cantidad que un planificador elegiría en cada periodo a fin de maximizar el valor presente del consumo.

Este valor puede ser entendido no solo como una medida de ingreso sino también de riqueza (Hamilton, 1996). El hallazgo de Weitzman ha sido entonces el enlace entre el producto nacional neto y la medición apropiada del consumo de otros capitales. Una implicancia es que el PNN debería ser no decreciente, lo cual garantizaría un consumo sostenible o una mejora del bienestar social. Adicionalmente, el cálculo adecuado del producto nacional neto permitiría evaluar la fracción del ingreso convencional atribuido al agotamiento de recursos naturales. Esto a su vez, permite establecer una tasa de crecimiento de la economía más precisa.

Cabe mencionar que aún cuando una medida de ingreso sea inclusiva y adecuadamente estimada, no sería un indicador de *desarrollo sostenible* puesto que tal medida solo ofrece una corrección o ajuste del ingreso en un momento dado y no permite inferir mucho sobre el *desarrollo* futuro.<sup>6</sup> De esta forma, el PNN sería una buena medida de bienestar social, aún cuando pueda no ser un buen indicador de sostenibilidad (Aronsson et al., 1997).

---

<sup>5</sup> El término *verdadero*, en este contexto, es equivalente a "inclusivo", en el sentido que debería considerarse todas las formas de capital que conforman la economía

<sup>6</sup> Por ello, Dasgupta y Máler (2001) propusieron el indicador *inversión genuina* como el más apropiado para evaluar el *desarrollo sostenible*.

### *Cuentas Nacionales y Cuentas Verdes (Ambientales)*

El Sistema de Cuentas Nacionales (SCN) provee medidas ampliamente utilizadas como el PIB y el PNN, siendo la primera la más utilizada, no obstante, la segunda brinda una mejor imagen del ingreso, al deducir el consumo de capital fijo. Al margen de las omisiones clásicas de estas medidas<sup>7</sup>, el SCN omite indicadores como el agotamiento de los recursos naturales (depreciación natural) y la degradación o daño ambiental.

Una forma de incorporar tal agotamiento y degradación es mediante el Sistema de Contabilidad Ambiental y Económico Integrado (SEEA, por sus siglas en inglés). No obstante, este nuevo sistema aun no ha podido ser generalizado debido, entre otras causas, a las limitaciones de información y capacidades, poco interés de las autoridades, y sobre todo, falta de consenso sobre las metodologías de valoración de la degradación y el agotamiento de los recursos naturales. Por ello, el SEEA es prácticamente utilizado como un sistema *paralelo* aunque eventualmente complementario para la toma de decisiones.

La inclusión de la depreciación natural y degradación ambiental en las medidas tradicionales de ingreso constituyen medidas de ingreso verde. La literatura de estas últimas medidas es relativamente abundante, excepto en Latinoamérica. Los autores coinciden en la corrección del PNN (Weitzman, 1976; Repetto et al. 1989; Hartwick, 1990) en el sentido que éste debe incluir otras formas de capital (natural y humano) a fin de obtener una medida apropiada del ingreso.

Algunos países ya han realizado primeras aproximaciones a nivel macro. Repetto et al. (1989) y Vincent & Rozali (2005) aplicaron estudios para valorar la depreciación del sector petrolero en Indonesia y Malasia. El primer autor encontró que el PIB convencional sobrestimaba en casi 4% al incluir la depreciación de los recursos naturales (principalmente, petróleo y forestales). Sin ir muy lejos, Figueroa y Calfucura (2002) hicieron lo propio en Chile, en donde para el periodo 1985-1997 estimaron que el 3% del ingreso correspondió a la depreciación de los recursos naturales y a los costos de la contaminación atmosférica.

---

<sup>7</sup> El PIB solo registra las retribuciones a factores de la producción que son transados en el mercado.



En el Perú, se han efectuado estudios similares pero a nivel sectorial. Los trabajos iniciales fueron Tamayo (1994) y García (1995) para los sectores hidrocarburos y pesca, respectivamente. Pasco-Font et al. (1996) y Orihuela y Ponce (2004) hicieron lo propio para el sector minero. Recientemente, Orihuela (2008) y Figueroa et al. (2010) deducen no solo la depreciación natural sino también la degradación ambiental de la medida de ingreso sectorial (PIB) de hidrocarburos y minería para los periodos 1992-2007 y 1992-2006, respectivamente. Todos ellos coinciden que los actuales PIB sectoriales sobrestiman sus respectivas medidas de ingreso verdadero (ver sección 5).

### 3 EL MODELO

Hamilton (2000) propone un modelo de ingreso (*ingreso verde*) que incluye no solo la depreciación natural sino también la degradación ambiental generada por la extracción de un recurso natural, el cual es comentado a continuación.

Se asume una simple economía cerrada<sup>8</sup> con un solo recurso utilizado como insumo en la producción de un bien agregado que puede ser consumo, invertido en otros activos, como capital humano o para mitigar la contaminación de manera que  $F(K, R, N) = C + \dot{K} + a + m$ , donde  $F$  es el nivel de producción, el cual depende del capital artificial  $K$ , del recurso utilizado ( $R$ ) y del capital humano ( $N$ ), siendo  $a$  el gasto de mitigar la contaminación, y  $m$  la inversión en capital humano (gastos corrientes en educación).

La función  $q(m)$  transforma los gastos de educación en capital humano que no se deprecia, de manera que  $\dot{N} = q(m)$ , lo cual equivale a un incremento en el capital humano. El insumo trabajo es fijo y por ende no es incluido en la función de producción.

Las emisiones de contaminantes ( $e$ ) dependen no solo de los niveles de producción y mitigación (de manera que  $e = e(F, a)$ ) sino también del nivel de contaminantes acumulados en un stock  $X$  de tal forma que  $\dot{X} = e - d(X)$ , donde  $d$  es la cantidad de disipación natural del stock contaminante. El flujo de servicios ambientales  $B$  está

---

<sup>8</sup> Hamilton (2000) incorpora una identidad adicional al modelo para considerar el sector externo, sin embargo, ello no cambia el resultado del modelo para economía cerrada.

negativamente relacionado al tamaño del stock de contaminación, de manera que  $B = \alpha(X)$ , siendo  $\alpha_X < 0$ .

El recurso  $S$  crece a una tasa  $g$  y es agotado por una extracción  $R$ , de forma que  $\dot{S} = -R + g(S)$ . Se asume que la utilidad de los consumidores es una función del consumo y servicios ambientales, de tal forma que  $U = U(C, B)$ .

Asumiendo que el planificador social desea maximizar la riqueza, se desprende que la función objetivo está dada por (1):

$$\max_C \int_0^{\infty} U(C, B) e^{-rs} ds \quad (1)$$

sujeto a cuatro restricciones:

$$\dot{K} = F - C - a \quad (2)$$

$$\dot{X} = e - d \quad (3)$$

$$\dot{S} = -R + g \quad (4)$$

$$\dot{N} = q(m) \quad (5)$$

Para este modelo, el valor corriente de la función Hamiltoniana, la cual es maximizada en cada punto del tiempo, está dada por:

$$H = U + \gamma_K \dot{K} + \gamma_X \dot{X} + \gamma_S \dot{S} + \gamma_N \dot{N} \quad (6)$$

donde  $\gamma_K, \gamma_X, \gamma_S, \gamma$  y  $\gamma_N$  son los precios sombra (en útiles) del capital, contaminación, recursos y capital humano, respectivamente. Resolviendo el problema se obtiene una expresión equivalente al PNN corregido (7):

$$PNNA = C + \dot{K} - (1 - be_F)F_R(R - g) - b(e - d) + q/q_m \quad (7)$$

Los dos primeros términos del lado derecho ( $C + \dot{K}$ ) equivalen al PNN convencional ( $PNN$ ). Nótese que  $1/q_m$  es el costo marginal de crear una unidad de capital humano. Asimismo,  $b$  es el costo marginal de mitigar la contaminación, el cual equivale al costo marginal social de emisiones contaminantes y también al nivel de impuesto pigouviano para maximizar bienestar (Hamilton, 1996). Definiendo renta marginal del recurso como  $n \equiv (1 - be_F)F_R$ , entonces (7) se reescribe como (8):

$$PNNA = PNN - n(R - g) - b(e - d) + q/q_m \quad (8)$$

De esta forma, el PNN convencional debe ser ajustado mediante la resta del agotamiento neto de recursos naturales y los daños marginales de la acumulación neta de contaminación pero incluyendo las inversiones en capital humano (quinto término del lado derecho de (8)).

Una limitante de este modelo es la omisión de los nuevos descubrimientos, lo cual es relevante para una economía que depende en gran medida de los recursos no renovables. El aumento del stock de estos recursos también debería reflejarse en la medida de ingreso.

Por ello, y basado en Hamilton (1994), se adiciona una nueva restricción al modelo:  $\dot{M} = D$ , siendo  $D$  los nuevos descubrimientos del recurso no renovable y  $\dot{M}$  son los descubrimientos acumulativos. De esta forma, se define  $h(D, M)$  como la función de costos de descubrimiento, el cual no solo depende del nivel de descubrimientos corrientes sino también de los descubrimientos acumulados (donde  $h_D > 0$  y  $h_M > 0$ ) y  $f(R)$  es la función de costo de extracción del recurso no renovable.

Incorporando al modelo la restricción adicional y adicionando las dos últimas funciones en (2), el resultado será (9):

$$PNNC = PNN - n(R - g) - b(e - d) + q/q_m + h_D D \quad (9)$$

El último término del lado derecho de (9) es equivalente a los nuevos descubrimientos valorados por su costo marginal de descubrimiento. Evidentemente, para el caso de recursos no renovables se asume que  $g \equiv 0$  y  $h_D D \equiv 0$ .

Cabe señalar que generalmente no hay información disponible sobre nuevos descubrimientos por metal o hidrocarburo ni su respectivo costo marginal. Una gruesa aproximación del término ( $h_D D$ ) es la inversión en exploración, atajo utilizado por Figueroa et al. (2002). Esta inversión ya es deducida en el *PNN*, de manera que incorporarla generaría un problema de doble contabilidad, sin embargo debe considerarse que esta inversión es solamente una gruesa aproximación a un valor buscado y por ende, no debe ser considerado como tal.

#### 4 MEODOLOGÍA

La expresión (9) es utilizada para el caso de los principales sectores extractivos de recursos naturales del Perú. Esta priorización se efectúa conforme a su contribución al PIB total solo se considera el sector minería e hidrocarburos.

Este estudio no considera el sector forestal, puesto que su contribución al PIB es mínima,<sup>9</sup> pero al margen de ello, no se dispone de información sobre precios sombra (o que permita inferirla) ni sobre la evolución de los stocks forestales.

Tampoco se considera la pesca marítima (de anchoveta), puesto que si bien los niveles de extracción están disponibles, no se tiene información sobre la tasa de crecimiento anual de la biomasa. Es de esperar que las capturas (extracción) anuales permitidas por la normatividad sectorial<sup>10</sup> hayan sido obtenidas en base a criterios biológicos (tasa de regeneración) de manera que el crecimiento neto sea cercano a cero. De ser así, la depreciación/apreciación sería mínima, y su eventual incorporación en los resultados de este estudio no debería ser significativa.<sup>11</sup>

---

<sup>9</sup> La escasa participación del sector forestal en el PIB total tiene que ver en cierta forma con la extracción ilegal cuyo producto no logra ser registrado en las cuentas nacionales. Esto ha conllevado, en parte, a que este sector no posea una cuenta sectorial independiente como el resto de sectores extractivos, El valor agregado de este sector está incluido en el sector agricultura.

<sup>10</sup> El Decreto Legislativo 1084 establece la Ley sobre límites máximos de captura por embarcación, cuyo objetivo es establecer el mecanismo de ordenamiento pesquero aplicable a la extracción de los recursos de anchoveta y anchoveta blanca, modernización y eficiencia, promover su desarrollo sostenido como fuente de alimentación, empleo e ingresos, y asegurar un aprovechamiento responsable de los recursos hidrobiológicos, en armonía con la conservación de la biodiversidad. De ser así, las cuotas de captura deben tener por objetivo la sostenibilidad del recurso pesquero, lo cual se logra con la tasa de captura máxima sostenible.

<sup>11</sup> Para el año 2012, el PIB pesquero peruano concentró apenas el 0,37% del PIB total (BCRP, 2013).

Asimismo, este estudio no incluye la depreciación del terreno agrícola debido a la falta de información sobre tasas de erosión en las zonas agrícolas más relevantes del país (en función a su ingreso).<sup>12</sup> Dadas estas tres omisiones, la medida de ingreso a obtener en este estudio constituye una primera aproximación al ingreso verde.

Para la aplicación de la expresión (9) se requiere información del PNN, la cual está disponible en INEI (2013a), no obstante, para completar gran parte de la expresión (9) fue necesario efectuar diversas estimaciones. A continuación se comenta la forma de estimación de los componentes (precio sombra, niveles de extracción, valor de los nuevos descubrimientos, entre otros) de la expresión (9) por cada sector en análisis.

#### **4.1 Sector minero**

La actividad minera peruana es polimetálica basándose en la extracción, concentración/refinación (según sea el metal) y venta de oro, plata, cobre, plomo, zinc, estaño, y hierro, los cuales constituyen los principales metales comerciales que representan el grueso de los ingresos y valor agregado sectorial.

Si bien la información sobre los niveles de extracción de tales metales está disponible en MINEM (2012), no existe información de los respectivos precios sombra, de manera que éstos tuvieron que ser estimados.

Los precios de mercado de los metales de contenido fino están disponibles, sin embargo, el grueso de la producción minera metálica peruana corresponde a concentrados. Además, algunas empresas mineras peruanas venden diferentes productos de un mismo metal, y por ende, éstos tienen diferentes precios, los cuales tampoco están disponibles, y por tanto, también tuvieron que ser estimados.

##### *Precios*

Para superar este problema, se calculó un precio promedio ponderado por cada metal, el cual equivale a la división del valor de la exportación del metal entre la sumatoria del

---

<sup>12</sup> Sin embargo, su incorporación podría resultar significativa puesto que el sector agropecuario concentró el año 2012 el 7% del PIB total (BCRP, 2013)

volumen de sus productos exportados. El BCRP (2013) proporciona la información que permite estimar estos precios para los metales en análisis durante todo el periodo en estudio.

Puesto que lo importante es obtener el precio sombra (diferencia entre precio de mercado y costo marginal de extracción) y no el valor en sí del precio de mercado y/o costo marginal de extracción, resulta preferible utilizar este precio ponderado. Además, el precio sombra refleja el beneficio marginal percibido por la extracción del metal, lo que no se puede obtener usando solo el precio de mercado.

### *Costo marginal de extracción*

Ni los costos medios ni los costos marginales de extracción estuvieron disponibles. Para estimarlos fue necesario construir -mediante técnicas econométricas- funciones de costo total por metal para luego derivar el costo marginal respectivo por año. Para inferir el costo total anual de extracción se utilizó la diferencia de ingresos (por ventas) y beneficios (antes de impuestos) de las empresas mineras más representativas en la producción de cada metal. Esta información fue obtenida principalmente de las memorias de empresas mineras y de su información financiera disponible.

Al respecto, durante inicios de los 90s el Perú generó reformas sustanciales no solo para atraer grandes inversiones mineras sino también en el establecimiento de instrumentos de gestión ambiental como los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) y los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA). Los costos del diseño y funcionamiento de estos instrumentos están incluidos en los costos de las empresas mineras, de manera que el costo marginal a obtener debería incluir una aproximación de las externalidades generadas por la extracción de metales.

Lo que debería incluirse en el precio sombra minero o deducirse del ingreso verde es el valor del daño ambiental ocasionado por la extracción minera y no los costos de mitigación asociados (Vincent y Rozali, 2005). Sin embargo, dada la disponibilidad de información, solo fue posible considerar los costos de mitigación como una gruesa aproximación de los daños mencionados. Estos costos ya están incluidos en los costos totales de extracción de las empresas mineras que fueron consideradas en este estudio.

La forma de estimación de la función de costo total de extracción por cada metal se presenta en el Anexo Metodológico 1.

## 4.2 Sector hidrocarburos

El valor agregado del sector hidrocarburos está vinculado a la extracción y venta de petróleo crudo (líquidos) y gas natural. Para el caso del petróleo crudo, Ego-Aguirre (2012) estimó la función de costo total de la industria petrolera peruana para el periodo 1996-2009 en la zona costera y selva, en base a la cual es factible inferirse los costos marginales de extracción por zona. Los resultados se presentan en el Anexo Metodológico 2.

Puesto que el estudio de Ego-Aguirre (2012) ofrece información financiera sectorial agregada, es factible inferir un precio promedio  $P_{PETROLEO}$ , a partir de los ingresos sectoriales ( $IT_{PETROLEO}$ ) y la producción de petróleo,  $Q_{PETROLEO}$ . Formalmente,  $P_{PETROLEO} = IT_{PETROLEO}/Q_{PETROLEO}$ .

En el caso del gas natural, este ha sido extraído de forma conjunta con el petróleo. A partir de la puesta en marcha del Proyecto Camisea (2004), el gas natural es obtenido como un producto principal. La mayor parte de la producción nacional de gas proviene del proyecto en mención, de manera que la información de sus precios y costos marginales de extracción es representativa.

Conforme a Apoyo (2007) el valor actual de los beneficios proyectados para el periodo 2004-2010 asciende a 5,322 US\$ millones, los cuales comprenden los ahorros generados en los consumidores directos del gas y los consumidores de energía eléctrica.<sup>13</sup> Naturalmente, deben adicionarse los beneficios vinculados a la extracción de gas que son percibidos por la empresa Pluspetrol. Ambos beneficios actualizados equivalen al precio sombra multiplicado por la cantidad de gas extraída durante el periodo señalado.

Para convertir los resultados de Apoyo (2007) en cifras anuales, fue necesario calcular la anualidad correspondiente mientras que la información sobre beneficios de la empresa fue obtenida a partir de sus memorias anuales.

---

<sup>13</sup> Nótese que estos beneficios equivalen a las externalidades positivas del sector hidrocarburos, las cuales deben ser consideradas en el precio sombra.

### 4.3 Degradación ambiental

En general, la degradación ambiental puede agruparse sobre dos grandes componentes ambientales: aire y agua. En el Perú poco se ha estudiado sobre el costo económico de la degradación de estos componentes como resultado de la extracción de recursos naturales, principalmente, mineros, hidrocarburos e incluso forestales.

Este costo se mide generalmente a través del impacto en la salud asociado a los niveles de concentración de ciertos elementos contaminantes en el aire como  $PM_{10}$ ,  $SO_x$ ,  $NO_x$ , etc. Para ello, usualmente se aplica el método transferencia de beneficios. Algunos autores que aplicaron este método son: Sánchez (1998), Ostro (2004), y Croitoru (2010) para Chile, Estados Unidos y Jordania, respectivamente.

En el Perú se han realizado pocos estudios al respecto, limitándose a calcular el costo económico anual para Lima Metropolitana debido a la concentración de cierto nivel de  $PM_{10}$ .<sup>14</sup> Para el año 2001, Kröger (2002) estimó el costo de reducir la concentración de  $PM_{10}$  de 119 a 50  $\mu g/m^3$ . Miranda (2006) hizo lo mismo para el año 2005, estimando la reducción de esa concentración de 93 a 50  $\mu g/m^3$ .

Aparte del  $PM_{10}$ , Loyola y Soncco (2007) calculan el beneficio económico de la reducción de plomo en la sangre de la población infantil en una localidad de la provincia Callao. Con respecto al componente agua, solo Herrera y Millones (2011) calculan el costo de la contaminación ambiental minera sobre los recursos hídricos en el Perú para los años 2008 y 2009.

#### *Efectos de la concentración de PM10 en la salud*

Los efectos de la concentración de  $PM_{10}$  la salud humana se estiman en base a las funciones dosis-respuesta que evalúan la relación entre el incremento del número de casos anuales de mortalidad y morbilidad ante un incremento de  $PM_{10}$ . Mayor detalle y resultados en el Anexo Metodológico 3.

#### *Efectos de la contaminación ambiental sobre el agua*

---

<sup>14</sup> Presumiblemente escasez de literatura nacional sobre costos ambientales radique en la falta de información sobre funciones dosis-respuesta en el campo de la salud o recursos hídricos. Otra causa podría ser la falta de estadísticas o evolución temporal de monitoreos ambientales en las principales ciudades.



Si bien se conocen los impactos que generan las actividades extractivas básicamente, minería e hidrocarburos, poco se ha trabajado sobre la estimación económica de tales impactos. Una contribución ha sido el estudio de Herrera y Millones (2011), quienes basados en una muestra representativa de empresas mineras y empleando el modelo de la frontera de posibilidades de la producción estimaron que el costo de la contaminación hídrica para el año 2008 fue 815 US\$ millones corrientes (= 359 US\$ millones constantes 1994).

La limitación de este resultado es que no valora el impacto de la contaminación hídrica sobre el ambiente *per se* (es decir, el daño ambiental) sino el costo de oportunidad hipotético de los agentes mineros por cumplir la normativa sectorial (límites máximos permisibles). Dada la ausencia de mayor información, este resultado fue utilizado, extrapolándosele al resto del periodo mediante regla de tres simple a partir del PIB real minero. Se reconoce que el valor obtenido sobrestima el verdadero valor de la degradación ambiental.

#### **4.4 Capital humano**

La información de inversión en capital humano está disponible. Una gruesa aproximación es el gasto que destina el Estado para la educación en el Perú. Sin embargo, esta técnica omite las inversiones realizadas por agentes privados, como aquellas realizadas por los sectores minería e hidrocarburos en conocimiento geológico (gasto en exploraciones) lo cual ya estaría internalizado en la expresión (9). El gasto estatal en educación (en US\$ 1994) durante el periodo de estudio oscilo entre 5-9 millones de dólares, de manera que su contribución a (9) no es significativa.<sup>15</sup>

### **5 RESULTADOS**

Todos los resultados fueron convertidos a dólares constantes del año 1994 usando el deflactor implícito del PIB sectorial correspondiente (Cuadro 1). La mayor parte del valor de la depreciación natural corresponde a la depreciación minera. Nótese que el valor de la degradación ambiental es proporcionalmente reducido en

---

<sup>15</sup> Como cualquier tipo de capital, también debería ser sujeto de depreciación, no obstante su incorporación no sería significativa.

comparación a cualquier tipo de depreciación natural. Esta brecha debería reducirse en la medida que se midan y valoren económicamente los efectos ambientales generados por las actividades extractivas. Debe recordarse que la metodología aplicada para valorar la degradación ambiental, si bien es consensuada en la literatura, es una gruesa extrapolación de otras realidades.

**Cuadro 1: Valor de la depreciación natural por sector y degradación ambiental (1994 US\$ millones)**

Año	Depreciación natural				Degradación ambiental		
	Minera	Petróleo	Gas	Total	Aire	Agua	Total
1994	1395	790	Nd	2185	20	136	155
1995	1679	756	Nd	2435	19	145	165
1996	2797	726	Nd	3523	19	155	175
1997	1750	606	Nd	2355	32	172	204
1998	2888	375	Nd	3263	34	179	214
1999	2670	440	Nd	3110	32	208	240
2000	2398	542	Nd	2940	38	267	305
2001	3054	384	Nd	3438	37	239	276
2002	3366	347	Nd	3713	18	270	288
2003	3544	336	Nd	3880	46	287	333
2004	2803	376	404	3583	51	302	353
2005	3765	444	410	4619	70	324	394
2006	2723	506	410	3638	163	327	490
2007	4015	544	412	4971	60	335	395
2008	5711	750	410	6871	99	359	459
2009	4625	449	414	5488	67	357	424
2010	3803	587	423	4813	40	346	387
2011	3978	558	427	4963	25	338	363

Nd: no disponible

No se incluye la contribución del capital humano la cual oscila entre US\$ 4-9 millones.

El valor económico de la depreciación minera tiende a reducirse en términos absolutos y relativos en los últimos años del periodo en análisis, lo cual es explicado por la menor extracción y venta del grueso de metales comerciales, así como con el aumento de los ingresos de otras actividades económicas, como el comercio, el cual ha desplazado los ingresos de la minería, de manera que esta aparente menor dependencia de la economía con respecto a la actividad minera es engañosa.

Los resultados de este estudio permiten inferir que una fracción equivalente al 4-10% del ingreso convencional (PIB) ha correspondido al agotamiento de los recursos naturales y la degradación ambiental (Cuadro 2). Esta fracción ha sido decreciente en los últimos años del horizonte analizado, lo cual es explicado por el mayor aporte de otras actividades económicas en el ingreso y no necesariamente debido a una mejor eficiencia en el uso de los recursos naturales.

**Cuadro 2: Medidas tradicionales y corregidas (US\$ 1994 millones)**

Año	Medidas tradicionales		Medidas corregidas		Sobrestimación (%) del	
	PIB	PNN	PIBC	PNNC	PIB	PNN
1994	44808	42164	42239	39595	6.08	6.49
1995	48665	45648	45844	42827	6.15	6.59
1996	49891	46648	46039	42796	8.37	9.00
1997	53315	49850	50637	47172	5.29	5.68
1998	52965	49310	49546	45892	6.90	7.45
1999	53449	49761	49961	46273	6.98	7.54
2000	55026	51174	51598	47746	6.64	7.18
2001	55144	51008	51255	47119	7.59	8.25
2002	57910	53625	53710	49425	7.82	8.50
2003	60248	55910	55799	51462	7.97	8.64
2004	63246	58756	59109	54619	7.00	7.57
2005	67564	62767	62384	57587	8.30	9.00
2006	72793	67771	68447	63424	6.35	6.85
2007	79276	73806	73720	68250	7.54	8.14
2008	87048	81216	79512	73679	9.48	10.23
2009	87798	81828	81969	75999	7.11	7.67
2010	95520	89215	90547	84243	5.49	5.90
2011	102122	95586	97199	90663	5.07	5.43

Elaboración propia

Los resultados de este estudio parecerían ser relativamente bajos en comparación a otros estudios (Cuadro 3). Esto puede ser explicado por algunos motivos.

Por un lado, este estudio no incorpora, por ejemplo, la degradación del suelo, la cual podría ser relevante. No todos los estudios incorporan capital humano, sobre todo aquellos publicados durante los 80s.

El detalle relevante recae en la forma de cálculo del precio sombra.<sup>16</sup> Los estudios utilizan en su estimación el costo medio como proxy del costo marginal de extracción (es decir, asumen economías de escala en los sectores extractivos). Ello porque resulta muy difícil encontrar o calcular los costos marginales de extracción.

<sup>16</sup> Cabe mencionar que los precios sombra estimados no tienen una tendencia definida, de manera que no pueden ser considerados como una aproximación de la escasez del recurso natural vinculado

**Cuadro 3: Medidas tradicionales y corregidas en otros países**

País	Periodo	Sector	% del PIB	Método	Autor	Recursos naturales	Ambiente
Brasil	1970-1988	Todos	9-89**	PN, CU	Young y da Motta (1995)	x	
Indonesia	1971-1984	Todos	25**	PN	Repetto et al. (1989)		
Portugal	1990-2005	Todos	15**	PN	Mota et al. (2010)	x	x
Kuwait	1977-1980	Todos	60-70**	PN	Stauffer (1986)	x	
Noruega	1978-1981	Todos	2-8**	PN	Stauffer (1986)	x	
Chile	1985-1997	Todos	3**	PN	Figuerola y Calfucura (2002)	x	x
Chile	1977-1996	Minería	20-40*	PN	Figuerola et al. (2002)	x	
Australia	1988-1992	Minería	29-45*	CU	Common y Sanyal (1998)	x	
Perú	1979-1993	Minería	1-30*	PN, CU	Pasco-Font et al. (1995)	x	
Perú	1992-2001	Minería	26-38*	PN	Orihuela y Ponce (2004)	x	
Perú	1992-2006	Minería	51-64*	PN	Figuerola et al. (2010)	x	x
<b>Perú</b>	<b>1994-2011</b>	<b>Minería &amp; Hidrocarburos</b>	<b>5-9</b>	<b>PN</b>	<b>Orihuela (2013)</b>	<b>x</b>	<b>x</b>

Elaboración propia

PN: precio neto; CU=costo del usuario

Conforme a los resultados de costos de este estudio (Anexo Metodológico) y de Ego-Aguirre (2012), los dos sectores extractivos considerados (hidrocarburos y minería) presentan economías de escala, en donde el costo medio de extracción es decreciente, de manera que al aumentar el nivel de la producción (extracción) el costo medio se reduce. Por ende, estimar el precio sombra utilizando costo medio de extracción hubiera conllevado a resultados de depreciación natural aun más bajos.<sup>17</sup>

Finalmente, los resultados de las medidas de ingreso de este estudio pueden ser considerados como subestimados ya que no se han incorporado otras formas de capital natural, tales como ecosistemas.

<sup>17</sup> Al no tener evidencia de presencia de economías de escala en los sectores extractivos de otros países, no es factible identificar la dirección del sesgo en sus resultados.

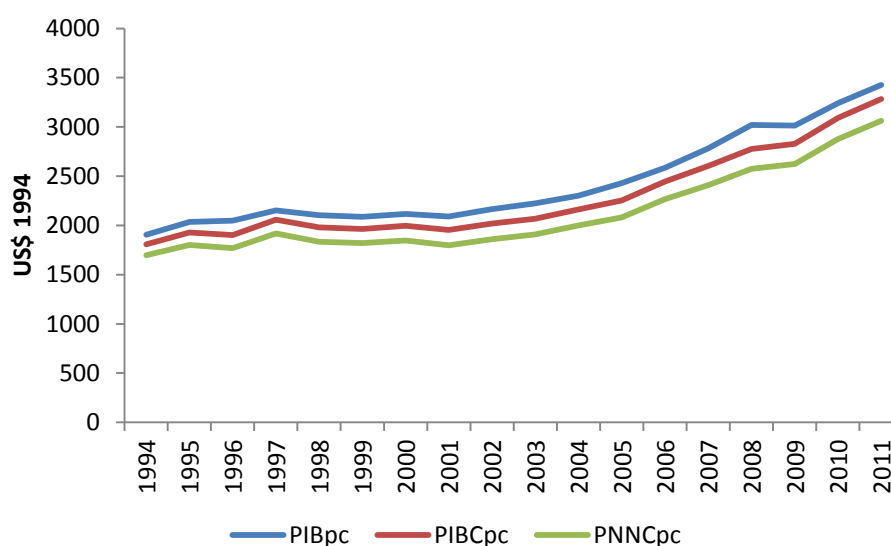
## 6 CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que la medida de ingreso convencional peruana ha estado sobrestimada durante el periodo de análisis. La fracción de sobrestimación osciló entre 4-10% dependiendo del año y de la medida de ingreso considerada (*PIB* o *PNN*).

Los países pueden mantener su nivel de consumo-per cápita solo si ellos pueden acumular stocks de capital renovable a tasas que al menos iguallen el agotamiento de los recursos no-renovables (Vincent y Rozali, 2005). Esto parece haber sido el caso peruano, al menos durante el periodo en análisis, aún en términos per-cápita (Grafico 1). El *PNN* corregido (verde) creciente evidencia que es posible mantener la tendencia. Sin embargo, esto no excluye la posibilidad que en el futuro cercano no sea posible.

Esto no depende principalmente del agotamiento de los recursos naturales sino del uso de las rentas provenientes de estos recursos. Si estas rentas no son reinvertidas apropiadamente en el largo plazo y si la economía peruana no se ha diversificado, las posibilidades de mantener el consumo se reducirían.

**Grafico 1: Medidas tradicionales y corregidas en términos per-cápita (pc)**



Fuente: Elaboración propia

*Reinversión de rentas de los recursos naturales*

Las rentas de los recursos naturales no solo deben ser óptimas (es decir, aquellas que maximizan el flujo descontado de ingresos que percibiría el Estado) sino también reinvertidas apropiadamente en otras fuentes de capital. Hay evidencia que estas rentas no son óptimas, al menos para la minería (Orihuela, 2007). Presumiblemente, aún cuando estas rentas -en parte- son reinvertidas en capital artificial y posiblemente en capital humano, no son reinvertidas adecuadamente, lo cual escapa al objetivo de este estudio.<sup>18</sup> Por lo tanto, serían necesarios mayores estudios que corroboren esta hipótesis.

### *Perspectivas hacia el futuro*

Los recursos naturales más importantes del Perú -en función a su contribución a los ingresos que generan- son los mineros y aquellos que provienen de los hidrocarburos, cuyas rentas son las más significativas. Si las rentas de estos recursos no están siendo reinvertidas apropiadamente, ¿Cuál es la implicancia para el crecimiento económico futuro?

Es evidente que los niveles de extracción durante el periodo en estudio, principalmente de metales, han llegado a altos niveles, nunca antes registrados, lo cual sugiere una depreciación acelerada del capital natural no renovable. Es innegable que este agotamiento de los recursos no renovables ha generado al mismo tiempo una mejora en el bienestar y un aporte al crecimiento económico del país, no solo por las reinversiones -escasas- de las rentas de los recursos naturales, sino por el efecto multiplicador que -principalmente- el sector minero genera en la sociedad. La cuantificación de este impacto escapa al alcance del estudio, aunque sería una tarea pendiente.

Este agotamiento debe estar siendo compensado con la incorporación de otras formas de capital a la base productiva o stock total de capital de la economía. Esta hipótesis también debería ser contrastada en futuros estudios.

La riqueza natural peruana depende en gran medida de la riqueza mineral. El agotamiento de reservas probadas es superado una y otra vez con el hallazgo de

---

<sup>18</sup> Boza (2006) encuentra que las rentas de la minería son destinadas a gastos irrelevantes para el desarrollo de las comunidades en donde el metal es encontrado.

ricos yacimientos (en gran medida de oro, cobre y zinc). Afortunadamente, el Perú es todavía un país muy rico en estos recursos y en la medida que lo siga siendo, el efecto de las (inadecuadas) reinversiones de las rentas de los recursos naturales será opacado. Evidentemente, esto es muy peligroso para el futuro crecimiento de la economía.

En conclusión, estamos en la senda óptima del crecimiento (a pesar del agotamiento de los recursos naturales), lo cual es fruto -básicamente- del buen manejo económico, de la favorable coyuntura mundial de precios de los metales y de la riqueza geológica peruana. Así, para potenciar nuestras posibilidades de crecimiento futuro se requiere revisar e implementar una política integral sobre los recursos naturales, y en general de todos los recursos de la economía.

Los efectos de un manejo inapropiado de las regalías de los recursos naturales podría generar impactos a corto plazo en nuestro país, ya que la economía peruana es muy dependiente de estos recursos. Los futuros gobiernos deben reinvertir estas regalías en otras formas de capital antes que nuestra riqueza geológica empiece a agotarse seriamente o para los momentos en que la minería ya no sea atractiva.

Actualmente, el Perú aún sigue siendo rico en todo tipo de recursos naturales.

## 7 RECOMENDACIONES DE POLÍTICA

Si el objetivo del Estado es que el consumo per-cápita sea no decreciente entonces debe considerar las siguientes recomendaciones. Primero que nada, el Estado debe estudiar si los aportes obligatorios por el uso de los recursos naturales (regalías) son óptimos. Todos los sectores extractivos deberían pagar una contraprestación por uso del recurso.

En segundo lugar, invertir *apropiadamente* estos aportes o regalías en otras formas de capital, lo cual no necesariamente ocurre en la actualidad. Es necesario disponer de estudios o propuestas, como por ejemplo, invertir en la generación de nuevas fuentes de energía, y actividades que generen un alto valor agregado.

Quizá lo básico sea empezar por generar información que permita llenar los vacíos actuales. Por ejemplo, actualmente no se dispone un inventario forestal ni estudios que hayan calculado tasas de erosión en los lugares agrícolas más representativos. Tampoco hay registros de monitoreo de las principales partículas contaminantes (en aire y cuerpos de agua) para todo el Perú.

El Estado debe generar los mecanismos -al menos mediante el uso de los fondos públicos provenientes de la extracción de recursos naturales- para fomentar la investigación y capacitación como parte de la inversión en capital humano. La implementación de los recientes programas de becas del Estado constituye no solo un clamor social sino también un buen punto de partida para generar el capital humano del futuro en el Perú.

En general, el Estado debe reducir las barreras burocráticas y fortalecer las capacidades institucionales para generar proyectos de inversión a todo nivel. No tiene sentido obtener mayores rentas de recursos naturales, si estas no pueden ser reinvertidas fácil y rápidamente. La reinversión de las rentas de estos recursos es muy baja puesto que las instituciones gubernamentales encargadas de esta tarea carecen de capacidades y gran parte del presupuesto anual no es ejecutado, y por ende, debe ser revertido al Gobierno Central, conforme a la normativa nacional.

Dada la falta de información, solo se consideraron los capitales naturales no renovables, omitiéndose el sector forestal e ignorándose otros tipos de capital cuya inclusión pueda ser relevante, como la tierra agrícola. Asimismo, se omiten las



inversiones extranjeras que hacen importantes contribuciones al consumo nacional. Es de esperar que esto no distorsione significativamente los resultados. La exclusión de la tierra agrícola es un problema potencialmente más serio. Futuros estudios deberían incorporar estas omisiones a fin de mejorar el indicador de ingreso en estudio.

## REFERENCIAS

Apoyo (2007). Proyecto Camisea: impacto sobre el mercado del gas natural y estimación de los beneficios económicos. Documento elaborado para el Banco Interamericano de Desarrollo. Apoyo Consultoría.

Aronsson, T., Johansson, P., Lofgren, K.G (1997): Welfare Measurement, Sustainability and Green National Accounting. Chetelham: Edward Elgar.

Arrow, K., Dasgupta, P., Goulder, L., Mumford, K., Oleson, K. (2007). "China, the U.S., and Sustainability: Perspectives Based on comprehensive Wealth". Working Paper No. 313. Stanford Center for International Development. Stanford University.

BCRP (2013). Memoria Anual 2012. Banco Central de Reserva del Perú. Disponible en: [www.bcrp.gob.pe](http://www.bcrp.gob.pe). Fecha: febrero 2013

Barrick (varios años). Memoria Anual. Disponible en: [www.barrick.com](http://www.barrick.com). Fecha de actualización: Enero 2012.

Boza, B. (2006): Canon minero ¿Caja chica o palanca para el desarrollo? Consorcio de Investigación Económica y Social / Ciudadanos al Día. Disponible en: [www.cies.org.pe](http://www.cies.org.pe)

Christensen, L. y Greene, W. (1976) "Economies of scale in U.S. electric power generation", The Journal of Political Economy, Vol. 84, N°4, pp. 655 - 676.

Common, M., Sanyal, K. (1998). Measuring the depreciation of Australia's non-renewable resources: a cautionary tale. Ecological Economics 26: 23-30

CONASEV (varios años). Estados de Ganancias y Pérdidas y Notas a los Estados Financieros de las empresas. Disponible en: [www.conasev.gob.pe](http://www.conasev.gob.pe). Fecha de actualización: Enero 2012.

Croituru L. (2010) The cost of environmental degradation. Case Studies from the Middle East and North Africa. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. Chapter 3, Air Pollution: The Case of Jordan. Página 37-51.

Dasgupta, P., Mäler, K-G. (2001): "Wealth as a Criterion for Sustainable Development". Beijer Discussion Paper Series N° 139. Beijer International Institute of Ecological Economics.

Ego-Aguirre, M. (2012). Economías de escala del sector petrolero peruano, periodo 1996-2010. Tesis para optar el grado de Magíster Scientiae en Economía de los Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Posgrado.

El Serafy, S. (1989): The proper calculation of income from depletable natural resources, en *Environmental Accounting for Sustainable Development*, Editores: Y. Ahmad, S., El Serafy, And E.Lutz, Washington, DC: World Bank.

Figueroa, E., Calfucura, E., Nuñez, J. (2002). Green national accounting: the case of Chile's mining sector. *Environment and Development Economics*. 7, pp. 215-239.

Figueroa, E., Calfucura, E. (2002). Depreciación del capital natural, ingreso y crecimiento sostenible: lecciones de la experiencia chilena. Documento de Trabajo N°138. Banco Central de Chile

Figueroa, E., Orihuela, C., Calfucura, E. (2010). Green accounting and sustainability of the Peruvian metal mining sector. *Resources Policy* (forthcoming).

García I. (1995). Contabilidad de los recursos naturales renovables: el sector pesquero peruano. Tesis de licenciatura en Economía. Lima: Facultad de Ciencias Sociales de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Hamilton, K. (1994) "Green adjustments to GDP," *Resources Policy*, vol. 20(3), pp 155-168

Hamilton, K. (1996). "Pollution and Pollution Abatement in the National Accounts". *Review of Income and Wealth*, Series 42, Number 1.

Hamilton, K. (2000) "Genuine Saving as an Sustainability Indicator". Paper No. 77. Environmental Economic Series, Environmental Department Papers, The World Bank.

Hamilton, K., Atkinson, G. (2006). Wealth, Welfare and Sustainability. Advances in Measuring Sustainable Development. Edward Elgar. Chetelham, UK. 201p.

Hartwick, J. (1977). Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources. American Economic Review 67(5): 972-974

Hartwick, J. (1990): "Natural Resources, National Accounting and Economic Depreciation". Journal of Public Economics. Vol 43. pp.291-304

Herrera, P, Millones, O. (2011): ¿Cuál es el costo de la contaminación ambiental minera sobre los recursos hídricos en el Perú? Consorcio de Investigación Económica y Social-CIES-Pontificia Universidad Católica del Perú.

INEI (2003). Valor agregado de la minería metálica por componentes. Dirección de Cuentas Nacionales. Documento no publicado.

INEI (2008). Valor agregado bruto por tipo de ingreso según actividad económica 2001-2007 (precios corrientes). Dirección Nacional de Cuentas Nacionales. Documento no publicado.

INEI (2012a). Valor agregado bruto por tipo de ingreso según actividad económica 1994-2010. Dirección Nacional de Cuentas Nacionales. Documento no publicado.

INEI (2012b). Índice de precios de bienes del activo fijo: construcción de maquinaria y equipo especial para la industria, excepto para trabajar los metales y madera, de origen nacional e índice de precios de maquinaria y equipo: maquinaria para la explotación de minas y canteras y para obras de construcción, de origen nacional. Dirección Ejecutiva de Índice de Precios. Disponible en: [www.conasev.gob.pe](http://www.conasev.gob.pe). Fecha de actualización: Enero 2012

INEI (2012c). Índice de precios de energía, combustible. Dirección Ejecutiva de Índice de Precios. Disponible en: [www.conasev.gob.pe](http://www.conasev.gob.pe). Fecha de actualización: Enero 2012

Kröger, T. (2000). Descontaminación atmosférica en Lima Metropolitana: Beneficios en la salud - DIGESA (2000)

Lazkano, I. (2008) "Cost Structure and Capacity Utilisation in Multi-product Industries: An Application to the Basque Trawl Industry"

Loyola, R., Soncco, C. (2007): Valoración económica del efecto en la salud por el cambio en la calidad del agua en zonas urbano marginales de Lima y Callao. Consorcio de Investigación Económica y Social –CIES. Disponible en: [www.cies.org.pe](http://www.cies.org.pe)

MINEM (2011). Anuario. Disponible en [www.minem.gob.pe](http://www.minem.gob.pe). Fecha de actualización: Enero 2012.

Miranda J. (2006). Impacto económico en la salud por contaminación del aire en Lima Metropolitana (Lima - Callao). Instituto de estudios peruanos (IEP). Disponible en: <http://cies.org.pe/investigaciones/salud/impacto-economico-contaminacion>.

Mota, R., Domingos, T., Martins, V. (2010). Analysis of genuine savings and potential green net national income: Portugal 1990-2005. Ecological Economics 69, 1934-1942

Ollivier, T., Giraud, P. (2009). "Is Mozambican Growth Sustainable? A Comprehensive Wealth Accounting Prospect". Mines Paris Tech, CERNA. Munich Personal RepEc Archive.

Orihuela, C., Ponce, R. (2004): "Valorando los recursos naturales y su incorporación en las cuentas nacionales". Revista Apuntes, Vol 52, pp. 89-108. Fondo Editorial Universidad del Pacifico.

Orihuela, C. (2008): Sostenibilidad e ingreso del sector hidrocarburos peruano. Consorcio de Investigación Económica y Social-CIES. Disponible en: [www.cies.org.pe](http://www.cies.org.pe)

Ostro B. (2004). Outdoor Air Pollution: Assessing the Environmental Burden of Disease at National and Local Levels. Environmental Burden of Disease Series, No. 5. Geneva: World Health Organization.

Pasco-Font, A., Schroth, E., McCormick, E. (1996). Ingreso sostenible de la minera peruana. Investigaciones Breves 1. Lima: Consorcio de Investigación Económica y Social. Disponible en: [www.cies.org.pe](http://www.cies.org.pe)

Pearce, D., Atkinson, G. (1993): "Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of "weak" sustainability". Ecological Economics, Vol. 8, pp. 103-108.

Pezzey, J. (1989) "Economic Analysis of Sustainable Growth and Sustainable Development." Environment Department Working Paper 15, World Bank, Washington, DC.

Repetto, R., Magrath, W., Wells, M., Beer, C., Rossini, F. (1989). Wasting Assets: Natural Resources in the National Accounts. Washington: World Resources Institute

Repetto, R., Cruz, W., Solorzano, R., de Camino, R., Woodward, R., Tosi, J., Watson, V., Vasquez., A., Villalobos, C., Jimenez, J. (1991). Accounts Overdue: Natural Resources Depreciation in Costa Rica. World Resources Institute. Washington DC.

Samuelson, P. (1961) "The Evaluation of 'Social Income': Capital Formation and Wealth." En F. A. Lutz and D. C. Hague (eds.), The Theory of Capital. New York: St. Martin's Press.

Sánchez J. (1998). Estimación de los beneficios en salud del Plan de Descontaminación de Santiago. Estudio encargado por la CONAMA (Comisión Nacional de Medio Ambiente) de la Región Metropolitana

Stauffer, T.R (1986). Accounting for wasting assests: measurements of income and dependency in oil-rentier states. Journal of Energy and Development 11(1): 69-93

Tamayo, L. (1994). Los recursos naturales y el ingreso nacional. El caso del valor agregado petrolero 1979-1990. Mimeo.

Vásquez, A. (2005). La Organización Económica de la Industria de Hidrocarburos en el Perú: el Segmento Upstream del Sector Petrolero. Documento de Trabajo 8. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - OSINERG. Disponible en: [http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Estudios\\_Economicos/DT08-OEE-OSINERG1.pdf](http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Estudios_Economicos/DT08-OEE-OSINERG1.pdf)

Vincent, J., Rozali, M-A. (2005). Managing Natural Wealth. Environment and Development in Malaysia. Resources for the Future, Washington DC. Institute of Southeast Asian Studies (ISEAS), Singapore.

Weitzman, M (1976): On the Welfare Significance of National Product in a Dynamic Economy. Quarterly Journal of Economics. Vol. 90, pp. 156-162

World Bank (2003). World Development Indicators 2003, CD-ROM, World Bank, Washington, D.C.

World Bank (2006). Where is the Wealth of the Nations?. Measuring Capital for the 21st Century. Washington DC. USA. 188 p.

World Bank (2011). The Changing Wealth of Nations. Measuring Sustainable Development in the New Millennium. Environment and Development.221p.

World Commission (1987). Our Common Future. Oxford University Press. New York.

Young, C.E., da Motta, R. Measuring sustainable income from mineral extraction in Brazil. Resources Policy Vol 21 (2): 113-125.

Yanacocha (2008). Yanacocha: Responsabilidad Social. Balance Social 2007. Disponible en: [www.yanacocha.com](http://www.yanacocha.com). Fecha de actualización: Setiembre 2008.

# **ANEXOS**



## **ANEXOS INFORMATIVOS**

## ANEXO INFORMATIVO 1

### Lista de actores involucrados en el estudio

1. Guy Castadot – Representante de la CTB - Agencia Belga de Desarrollo
2. Veronique Gerard, Oficial de Programas de la CTB - Agencia Belga de Desarrollo
3. Jhonny Rengifo Dávila, Responsable de Carpeta de Bélgica, APCI19
4. Gabriela Elgegren, Agregado Adjunto, Embajada de Bélgica
5. Aníbal Sánchez, Sub Jefe, INEI
6. José Robles Franco, Director de la Dirección Nacional de Cuentas Nacionales, INEI
7. Máximo Fajardo, Director Adjunto de Cuentas Nacionales, INEI
8. Javier Vásquez, Director Ejecutiva de Cuenta de los Hogares, INEI
9. Consuelo Landa, Director Ejecutivo de Cuentas de Bienes y Servicios No Financieros, INEI
10. Judith Samaniego, Dirección de Hogares, INEI
11. Luis Ulloa Jesús, Director Encuesta ENDES, INEI
12. Carolina Guasnabar, Analista, INEI
13. Franklin Huamán, Analista Económico, INEI
14. Erasmo Otárola, Coordinador Nacional del Proyecto de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales PRODERN, MINAM
15. Frederik Prins, Asesor técnico Internacional, PRODERN
16. William Postigo, Asesor, GIZ - MINAM<sup>20</sup>
17. Vanessa Esslinger. Asesora, GIZ
18. Roger Loyola, Director de la Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural, MINAM
19. Elena Emiko Miyashiro Vidal, Asistente Técnico, MINAM
20. Luis Ledesma Goyzueta, Especialista, MINAM
21. Nataly Abodia Salinas, Especialista, MINAM
22. Miguel Angel Huaranga Sánchez, Universidad Nacional del Centro del Peru
23. Alfredo Portilla Claudio, EFCO
24. Christian Espinoza Romero, SVS Ingenieros
25. Kevin Arbizu, Golder Associates Peru
26. Álvaro Ortiz, Escuela de Post Grado, UNALM
27. Henry Chuquisengo, Escuela de Post Grado, UNALM
28. Marco Antonio Gutierrez Tang, Escuela de Postgrado, UNALM

---

<sup>19</sup> Agencia Peruana de Cooperación Internacional

<sup>20</sup> Agencia de Cooperación Internacional Alemana

## ANEXO INFORMATIVO 2

1. Breve artículo del estudio para ser publicado en los medios que la UNALM designe

2. Artículo de opinión basado en el estudio publicado en el Diario Oficial El Peruano

### **ANEXO INFORMATIVO 3**

**[Presentación del Estudio compartida en la Conferencia realizada en la UNALM](#)**

# **ANEXOS METODOLOGICOS**

## ANEXO METODOLOGICO 1

### 1) Función de costo total de producción por metal

Para la estimación de la función de costo total de corto plazo por metal y así el precio sombra por metal,<sup>21</sup> se utilizó información solo de algunas empresas - aquellas que cotizan en la Bolsa de Valores de Lima- ya que ofrecen sus estados financieros al público. Más aún, de estas empresas solo es posible utilizar la información de algunas ya que su carácter polimetálico (multiproducto) hace difícil separar los costos de cada mineral producido. A pesar de estas limitaciones, fue posible estimar una función de costos para los principales minerales tales como oro, cobre, estaño y hierro.

En general, para construir una función de costos para el caso de una firma multiproducto que utiliza k insumos se utiliza la siguiente expresión:

$$\ln CT = \beta + \beta_q \ln(q) + \beta_{qq} (\ln(q))^2 + \sum_{i=1}^k \beta_i \ln(w_i) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} (\ln(w_i))^2 + \sum_{i=1}^k \beta_{qi} \ln(q) \ln(w_i) \quad (10)$$

Donde  $\beta_{ij} = \beta_{ji}$ , CT es el costo total, q es la producción de un mineral,  $w_i$  y  $w_j$  son los precios de los insumos, mientras que  $\beta$ ,  $\beta_q$ ,  $\beta_{qq}$ ,  $\beta_{ij}$ ,  $\beta_{qi}$  serían los parámetros a estimar. Esta función tiene la siguiente restricción:

$$\sum_{i=1}^k \beta_i = 1 \quad (11)$$

La expresión (10) es la llamada función de costo translogarítmica. Esta especificación es útil para evaluar economías de escala y la forma de la curva de costos. Sin embargo, para una correcta estimación se requiere un número alto de

<sup>21</sup> Matemáticamente, el precio sombra equivale al beneficio marginal externo. Ello es en cierta forma válido para el sector minero peruano, el cual como toda industria extractiva genera externalidades tanto positivas como negativas, las cuales, conceptualmente debería incluir el precio sombra. La normativa peruana exige a las empresas mineras altos estándares de operación a fin de generar el menor impacto ambiental posible, lo cual es cumplido particularmente por las empresas más grandes. Tales empresas incurren en inversiones significativas para cumplir con la normativa, lo cual es reflejado en sus costos de producción. Esto sugiere que el costo marginal obtenido ya incluye, en parte, las externalidades negativas. En todo caso, es de suponer que las externalidades positivas compensan las externalidades negativas, de manera que el precio de mercado menos el costo marginal obtenido puede ser una aproximación del precio sombra.

observaciones para evitar problemas estadísticos, como sobreparametrización y gran cantidad de restricciones.

La expresión (11) es una restricción que corresponde a la propiedad de homogeneidad de grado uno en precios. Esto indica que la suma de las elasticidades precio-costos de los insumos debe ser uno, lo cual significa que en la medida que todos los precios de los insumos aumenten en una misma proporción, el costo total deberá aumentar también en la misma proporción.

Dado que se dispone de poca información, se plantea estimar una función de costos de corto plazo Cobb-Douglas para empresas monoproductoras, cuya especificación es (12):

$$\ln CT = \beta + \beta_q \ln(q) + \sum_{i=1}^k \beta_i \ln(w_i) + \varepsilon_t \quad (12)$$

La principal ventaja de la expresión (12) es la flexibilidad y fácil interpretación de los parámetros. Asimismo, se evitan principalmente los problemas de multicolinealidad y sobreparametrización existentes en (10) que ocasionarían problemas de inferencia estadística en los parámetros.

Considerando  $m$  metales y la información de precios de seis insumos y su producción, la expresión (12) quedaría de la siguiente forma:

$$\ln CT_t^m = \beta + \beta_q \ln(q_t^m) + \sum_{i=1}^6 \beta_i \ln(w_i) + \varepsilon_t \quad (13)$$

Ahora la expresión (11) será:

$$\sum_{i=1}^6 \beta_i = 1 \quad (14)$$

Las variables y parámetros que se utilizan en la especificación (13) y (14) son las siguientes:

- $CT_t^m$  = costo total en soles de 1994 para el mineral  $m=1,2, 3, 4$  (1=oro, 2=cobre, 3=estaño, 4=hierro)
- $q_t^m$  = producción para el mineral  $m=1,2, 3$  y  $4$  (1=oro, 2=cobre, 3=estaño, 4=hierro)
- $\omega_{1t}$  = precio de remuneraciones
- $\omega_{2t}$  = precio de depreciación



$\omega_{3t}$  = precio del capital  
 $\omega_{4t}$  = precio de energía  
 $\omega_{5t}$  = precio del combustible  
 $\omega_{6t}$  = precio de energía y combustible  
 $\beta$  = intercepto  
 $\beta_q$  = elasticidad costo total – producto  
 $\beta_1$  = elasticidad costo total – precio de remuneraciones  
 $\beta_2$  = elasticidad costo total – precio de depreciación  
 $\beta_3$  = elasticidad costo total – precio del capital  
 $\beta_4$  = elasticidad costo total – precio de energía  
 $\beta_5$  = elasticidad costo total – precio del combustible  
 $\beta_6$  = elasticidad costo total – precio de energía y combustible  
 $\varepsilon_t$  = error

De la expresión (13), se espera que los signos de cada parámetro sean positivos que, de acuerdo a la teoría económica, debería tener la función de costo total ante cambios porcentualmente marginales en cada una de las variables consideradas. Dada la homogeneidad de grado uno en precios, en la restricción (14) ninguna elasticidad precio-costo debe tener signo negativo o un aporte mayor a 1, ya que no se considerará dicho parámetro en la función de costos escogida.

Es importante mencionar que tanto  $\beta_5$ ,  $\beta_6$ , y  $\beta_7$  son insumos sustitutos de  $\beta_1$  en la estimación de la función de costo total. Asimismo, para evitar problemas de multicolinealidad en los parámetros,  $\beta_5$ ,  $\beta_6$ , y  $\beta_7$  son independientes. Por lo tanto, se evaluará por separado cuál de estos parámetros explica mejor la función en análisis en comparación a  $\beta_1$ .

## 2) Los datos

La información del costo total de producción (CT) para cada mineral  $m$  fue inferida a partir de los Estados de Ganancias y Pérdidas de las empresas mineras que lo producen. Así, este costo abarca cinco rubros: costos de ventas, gastos de administración, gastos de ventas, ingresos/gastos financieros y otros ingresos/gastos. Los montos de remuneraciones (sueldos y salarios) y depreciación fueron obtenidos principalmente de las Notas de los Estados Financieros (NEF) de cada empresa. Toda esta información fue proporcionada por CONASEV (varios años).

De la misma fuente anterior, se obtuvo el rubro de ingresos operativos para cada empresa que produce el mineral  $m$ . Esta variable dividida por la producción de cada empresa servirá para calcular el precio de dicho mineral y por ende se podrá calcular la renta marginal una vez obtenido el costo marginal para el mineral  $m$ .

Antes de explicar las fuentes de los precios de los insumos, es importante mencionar que si bien los costos dependen de su producción y precios, estos últimos se trabajarán en índices (1994=100), puesto que la información de algunas variables tales como el precio de la depreciación, energía y combustible se encuentran disponibles solo en índices. A continuación se explican las fuentes de los precios de los insumos:

#### *Precio de las Remuneraciones ( $\omega_1$ )*

La información de las remuneraciones es representada a través del salario en Lima-Metropolitana del sector minero en términos corrientes durante el periodo 1992-2010, la cual fue obtenida del Ministerio de Trabajo y Promoción de Empleo. Dicho valor fue deflactado por el índice de precios del PBI minero (1994=100) obtenido de las cuentas nacionales de INEI (2012a) y construyendo así el precio de las remuneraciones.

#### *Precio de la Depreciación ( $\omega_2$ )*

El  $\omega_2$  constituye los precios de la maquinaria adquirida/repuesta por el sector minero, lo cual equivale a la depreciación. Dado  $\omega_2$ , se construye un índice de precios para el periodo 1998-2010 que constituye el precio de las maquinarias y equipo (nacional e importado) para la explotación de minas y canteras (1994=100). Dado que estos datos no estuvieron disponibles para el periodo 1992-1997, se utilizó como variable proxy el índice de precios de bienes del activo fijo: construcción de maquinaria y equipo especial (nacional e importado) excluyendo los bienes (nacionales e importados) para trabajar metales y madera. Ambos índices fueron obtenidos de INEI (2012b).

#### *Precio del Capital ( $\omega_3$ )*

Para el precio del capital, se toma como referencia (costo de oportunidad) el rendimiento de un bono del tesoro americano (Treasury Bill) a 10 años durante 1992-2010. La información se obtuvo de la Junta de Gobernadores del Sistema de la Reserva Federal.

*Precio de Energía ( $\omega_4$ ), combustible ( $\omega_5$ ), Energía y combustible ( $\omega_6$ )*

Un problema que se presenta en la estimación que se pretende realizar es la obtención del precio del consumo intermedio (CI). Si bien existe información del monto total del CI, la cual corresponde a la sumatoria de cantidades de insumos y sus respectivos precios, el inconveniente radica en neutralizar el efecto de las cantidades, de manera de capturar solo la evolución de los precios.

Para solucionar el problema anterior, se plantea la posibilidad de estimar una función de costos utilizando independiente los índices de  $\omega_4$ ,  $\omega_5$ ,  $\omega_6$  como insumos. Es decir, en reemplazo del índice del precio del consumo intermedio, esta puede ser el índice de precios de energía eléctrica, combustible o un promedio de ambos. Estos tres tipos de índices fueron obtenidos de INEI (2012c) durante 1994-2010.

Antes de realizar las estimaciones pertinentes para cada mineral, se realizó los test de normalidad para cada una de las variables a utilizar. Esto es importante en la medida que se desea realizar inferencia estadística sobre los parámetros estimados. A pesar que se tiene pocas observaciones, los resultados indican que todas las variables se distribuyen de manera normal, son aproximadamente simétricas y de forma mesocúrtica (Anexo AE-1 y AE-2).

Asimismo, se realizó la matriz de correlación entre las variables explicativas para el caso del oro, cobre, estaño y hierro. Los resultados muestran lógicamente que el grado de correlación entre los precios de energía, combustible y ambos se aproximan a uno (altamente correlacionados). Lo anterior justifica aún más el hecho de que estos precios son sustitutos entre si y es necesario evaluar cuál de ellos es el mejor reemplazo al precio del consumo intermedio (Anexo AE-3) para cada metal.

### 3) Resultados

Para escoger el mejor modelo de la función de costo total por mineral se comparó principalmente cinco estimaciones siguiendo la especificación general (13) sujeto a la restricción (14). Los criterios Akaike y Schwarz, los signos y valores de las elasticidades precio-costo son las determinantes fundamentales para escoger el mejor modelo.

Teniendo en cuenta el enunciado anterior, se procede a estimar la función de costos para el oro, cobre, estaño y hierro durante los periodos 1994-2011, 1995-2010, 1994-2011 y 1993-2011 respectivamente. Los datos de los costos totales para cada mineral fueron convertidos a soles constantes del año 1994 utilizando como deflactor el índice del PBI minero (1994=100).

## **Oro**

Debido a la información disponible, se utilizó información de las 2 empresas más importantes: Yanacocha y Barrick Misquichilca S.A. La primera empresa inició operaciones en el año 1993 mientras que la segunda lo hizo en el año 1998. En realidad, estas firmas extraen oro y plata, sin embargo, los ingresos de este último metal son muy reducidos, motivo por el cual los costos de estas empresas se asocian totalmente a la extracción y venta de oro.

Así, durante el periodo 1994-2010, los costos totales en soles constantes del 1994 y las cantidades producidas (en Oz) de ambas empresas fueron ponderadas por la contribución de cada empresa en relación al total de ambas para obtener una función de costo total del oro sectorial. Asimismo, es importante mencionar que para el año 2011, solo fue posible tener información de Barrick Misquichilca dado que fue la única que cotizo en bolsa para el caso del oro.

Los resultados indican que en general todos los modelos tienen parámetros significativos incluso al 1%. Asimismo, en todos los modelos no se rechaza la hipótesis nula de no existencia de autocorrelación y heteroscedasticidad según los test del multiplicador lagrangiano (LM) y Breusch-Pagan-Godfrey (BPG) respectivamente (Cuadro AM-1).

**Cuadro AM-1: Comparación de modelos para la función de costos del oro sectorial**

1994-2011	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
B	7.37* (0.01)	4.15* (0.00)	4.78* (0.00)	4.96* (0.00)	4.86* (0.00)
$\beta_q$	0.67* (0.00)	0.82* (0.00)	0.79* (0.00)	0.77* (0.00)	0.76* (0.00)
$\beta_1$	0.33* (0.00)	0.23* (0.00)	0.37* (0.00)	0.58* (0.00)	0.49* (0.00)
$\beta_2$	1.27* (0.00)	0.77* (0.00)	-	-	-
$\beta_3$	-0.60* (0.00)	-	-	-	-
$\beta_4$	-	-	0.63* (0.00)	-	-
$\beta_5$	-	-	-	0.42* (0.00)	-
$\beta_6$	-	-	-	-	0.51* (0.00)
$\bar{R}^2$	0.95	0.92	0.90	0.90	0.67
Prob. F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Prob. Test BPG	0.59	0.19	0.43	0.43	0.39
Prob. Test LM	0.30	0.35	0.12	0.23	0.30
Akaike	0.89	0.75	0.45	0.28	0.33
Schwarz	0.85	0.61	0.47	0.15	0.39

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los valores en paréntesis representan los p-value

(\*) Significativa al 1%; (\*\*) Significativa al 5%; (\*\*\*) Significativa al 10%

Sin embargo, el modelo 1 queda descartado por tener un signo negativo en el parámetro  $\beta_3$ . En comparación con el resto de modelos, el penúltimo presenta los criterios Akaike y Schwarz más bajos (0.28 y 0.15 respectivamente) y por tanto el modelo 4 es el que mejor representa la función de costos de corto plazo para el oro.

Finalmente, de acuerdo al modelo escogido, los contrastes CUSUM y CUSUM de cuadrados rechazan la hipótesis de cambio en los parámetros, por lo tanto estos son estadísticamente estables (Anexo AE-4).

Según el mejor modelo, se obtiene el costo marginal ( $c'$ ) en soles 1994/Miles Oz. Posteriormente, estas cifras fueron convertidas a US\$ 1994 dividiendo dichos montos entre el tipo de cambio bancario promedio (venta) al final del periodo de 1994 (INEI). Los resultados para el periodo de análisis (1994-2011) son presentados en el Anexo AE-5.

## Cobre

En este caso se utilizó información de una de las empresas representativas en la producción comercial de este mineral (TMF): Sociedad Minera Cerro Verde, la cual inicio actividades en Junio de 1993. A pesar de tener información de la empresa

Southern Peru Cooper Corporation, esta no fue no tomada en cuenta para el análisis puesto que dicha empresa utiliza concentrados y finos en la venta comercial.

Si bien existe información de los costos totales durante 1994-2010, se eliminó el primer año puesto que las utilidades brutas antes de impuestos registraron pérdidas inusuales con respecto a todo el periodo y por tanto, se utilizaron los registros del periodo 1995-2010. Asimismo, no se toma en consideración el año 2011 puesto que la Sociedad Minero Cerro Verde no cotizó en bolsa dicho año.

Para el caso del cobre, al igual que el caso anterior, en todos los estimados no se rechaza la hipótesis nula de no existencia de heteroscedasticidad y autocorrelación según los test BPG y LM respectivamente. Sin embargo, los modelos 1, 4 y 5 quedan descartados por que los parámetros  $\beta_2, \beta_5$  y  $\beta_6$  tienen signo negativo (Cuadro AM-2).

**Cuadro AM-2: Comparación de modelos para la función de costo total del cobre**

1995-2010	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
B	0.93 (0.69)	5.50* (0.00)	4.17** (0.05)	1.26 (0.56)	2.36 (0.29)
$\beta_q$	1.29* (0.00)	0.82* (0.00)	0.95* (0.00)	1.23* (0.00)	1.13* (0.00)
$\beta_1$	0.97* (0.00)	0.54* (0.00)	0.83* (0.01)	1.20* (0.00)	1.11* (0.00)
$\beta_2$	-0.81* (0.00)	0.46 (0.16)	-	-	-
$\beta_3$	0.84** (0.02)	-	-	-	-
$\beta_4$	-	-	0.17* (0.00)	-	-
$\beta_5$	-	-	-	-0.20* (0.00)	-
$\beta_6$	-	-	-	-	-0.11* (0.00)
$\bar{R}^2$	0.83	0.77	0.75	0.76	0.74
Prob. F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Prob. Test BPG	0.61	0.40	0.81	0.92	0.88
Prob. Test LM	0.60	0.30	0.16	0.14	0.09
Akaike	0.11	0.12	0.23	0.19	0.24
Schwarz	0.08	0.26	0.38	0.33	0.38

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los valores en paréntesis representan los p-value

(\*) Significativa al 1%; (\*\*) Significativa al 5%; (\*\*\*) Significativas al 10%

Asimismo, el modelo 2 tiene a  $\beta_2$  un parámetro altamente no significativo y por tanto también queda descartado del análisis. Por tanto, el mejor modelo que representa la función de costos para el cobre es el modelo 3.

Finalmente, de acuerdo al modelo escogido para el cobre, los contrastes CUSUM y CUSUM de cuadrados rechazan la hipótesis de cambio en los parámetros, por lo tanto estos son estadísticamente estables (Anexo AE-6).

Según el mejor modelo, se obtiene el costo marginal ( $c'$ ) en soles 1994/Miles TMF, el cual fue transformado a US\$ 1994 dividiendo dichos montos entre el tipo de bancario promedio (venta) al final del periodo de 1994 (INEI). Los resultados para el periodo 1995-2010 son presentados en el Anexo AE-7.

## **Estaño**

Minsur S.A es la única empresa productora de estaño en el Perú, la cual inicio sus operaciones desde 1977. En este caso es importante mencionar que se utilizó la información de la producción en toneladas métricas finas (TMF) pues la empresa realiza tratamientos de concentrados de estaño por fundición para obtener dicho mineral refinado como producto comercial.

A pesar de la antigüedad de la firma, solo fue posible utilizar la información desde 1994-2011, ya que años anteriores no se tiene una información muy clara de lo perteneciente a concentrados y a finos. Los resultados de la función de costos para el estaño se muestran en el Cuadro AM-3.

Los resultados indican que en general todos los modelos tienen parámetros significativos incluso al 1% y 5%. Sin embargo, el modelo 1 queda descartado por tener signo negativo en el parámetro  $\beta_3$ .

En comparación con el resto de modelos, el último presenta el criterio Schwarz más bajo (0.10) y por tanto el modelo 5 es el que mejor representa la función de costos para el estaño. Se opta por utilizar solo el criterio Schwarz debido a que se conoce que es el criterio que mejor evalúa la elección del mejor modelo.

**Cuadro AM-3: Comparación de modelos para la función de costos del estaño**

1994-2011	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
$\beta$	12.53* (0.00)	9.77* (0.00)	8.86* (0.00)	9.98* (0.01)	9.71* (0.00)
$\beta_q$	0.15 (0.39)	0.43* (0.00)	0.52** (0.03)	0.42 (0.14)	0.44*** (0.09)
$\beta_1$	0.54* (0.00)	0.37* (0.00)	0.49* (0.00)	0.66* (0.00)	0.59* (0.00)
$\beta_2$	0.91* (0.00)	0.63* (0.00)	-	-	-
$\beta_3$	-0.45*** (0.07)	-	-	-	-
$\beta_4$	-	-	0.51* (0.00)	-	-
$\beta_5$	-	-	-	0.34* (0.00)	-
$\beta_6$	-	-	-	-	0.41* (0.00)
$\bar{R}^2$	0.79	0.71	0.63	0.54	0.58
Prob. F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Prob. Test BPG	0.84	0.66	0.40	0.64	0.47
Prob. Test LM	0.49	0.25	0.22	0.54	0.38
Akaike	0.65	0.47	0.27	0.04	0.02
Schwarz	0.45	0.32	0.12	0.11	0.10

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los valores en paréntesis representan los p-value

(\*) Significativa al 1%; (\*\*) Significativa al 5%; (\*\*\*) Significativas al 10%

Finalmente, de acuerdo al modelo escogido para el estaño, los contrastes CUSUM y CUSUM de cuadrados rechazan la hipótesis de cambio en los parámetros, por lo tanto estos son estadísticamente estables (Anexo AE-8).

Según el mejor modelo, se obtiene el costo marginal ( $c'$ ) en soles 1994/Miles TMF, posteriormente transformado a US\$ 1994 dividiendo dichos montos entre el tipo de bancario promedio (venta) al final del periodo de 1994 (INEI). Los resultados para el periodo 1994-2010 son presentados en el Anexo AE-9.

De los resultados anteriores, se puede aseverar que el índice del precio de energía y/o combustible es el mejor insumo en lugar del índice del precio del consumo intermedio para todos los minerales analizados. Así también, el índice de precios de la depreciación no es un insumo importante para la estimación de función de costos de ningún mineral estimado. La explicación a esto es que quizás las empresas analizadas utilizan maquinarias o equipos alquilados para la explotación de minas y por ende incluir dicho insumo en la función de costos sería erróneo.

De otro lado, también se demuestra que el precio del capital no ayuda a explicar la función de costos de ningún mineral, lo cual es razonable ya que el análisis que uno



realiza es cuando la empresa ya está operando y por ende el precio del capital (costo de oportunidad) no ayudaría a explicar una función de costos.

## **Hierro**

Shougang Hierro Perú S.A.A, es una empresa privada dedicada exclusivamente a la extracción y proceso del hierro y la más importante a nivel nacional, la cual inicia sus actividades en el Perú desde 1993 como resultado del proceso de privatización. En este caso, es importante mencionar que se utilizó la información de la producción en toneladas largas secas (TLS). Por lo tanto, los resultados de la función de costos para el hierro durante el periodo 1993-2011 se muestran a continuación.

Los resultados indican que en general todos los modelos tienen parámetros significativos incluso al 1% y 5%. En comparación con el resto de modelos, el modelo 4 presenta el criterio Akaike y Schwarz más bajo (0.43 y 0.28) en comparación al resto de modelo y por tanto este modelo es el que mejor representa la función de costos para el hierro (Cuadro AM-4).

Finalmente, de acuerdo al modelo escogido para el estaño, los contrastes CUSUM y CUSUM de cuadrados rechazan la hipótesis de cambio en los parámetros, por lo tanto estos son estadísticamente estables (Anexo AE-10).

Según el mejor modelo, se obtiene el costo marginal ( $c'$ ) en soles 1994/TLS, el cual fue posteriormente transformado a US\$ 1994 dividiendo dichos montos entre el tipo de bancario promedio (venta) al final del periodo de 1994 (INEI). Los resultados para el periodo 1993-2010 son presentados en el Anexo AE-11.

De los resultados (Cuadro AM-4) se puede aseverar que el índice del precio de energía y/o combustible es preferible al índice del precio del consumo intermedio para todos los metales analizados excepto el hierro, en cuyo caso la variable más relevante es índice del precio del capital.

**Cuadro AM-4: Comparación de modelos para la función de costos del hierro**

1993-2011	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
$\beta$	8.83* (0.00)	8.66* (0.00)	8.87* (0.00)	6.18** (0.03)	7.85* (0.00)
$\beta_q$	0.39** (0.04)	0.40** (0.02)	0.39** (0.05)	0.57* (0.00)	0.46* (0.01)
$\beta_1$	-	-	-	0.11* (0.00)	-
$\beta_3$	-	-	-	-	0.08* (0.00)
$\beta_4$	0.89* (0.00)	0.83* (0.00)	0.91* (0.00)	0.89* (0.00)	0.92* (0.00)
$\beta_5$	-	0.17* (0.00)	-	-	-
$\beta_6$	-	-	0.09* (0.00)	-	-
	0.11* (0.00)	-	-	-	-
$\bar{R}^2$	0.30	0.33	0.29	0.33	0.32
Prob. F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Prob. Test BPG	0.34	0.44	0.60	0.38	0.67
Prob. Test LM	0.46	0.32	0.66	0.12	0.09
Akaike	0.64	0.68	0.62	0.43	0.44
Schwarz	0.49	0.54	0.47	0.28	0.28

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los valores en paréntesis representan los p-value

(\*) Significativa al 1%; (\*\*) Significativa al 5%; (\*\*\*) Significativas al 10%

El índice de precios de la depreciación no es un insumo importante para la estimación de función de costos de ningún mineral estimado. La explicación es similar a la obtenida para el caso del estaño.

De otro lado, también se demuestra que el precio del capital no ayuda a explicar la función de costos de ningún mineral excepto el hierro, lo cual es razonable ya que el análisis que uno realiza es cuando la empresa ya está operando y por ende el precio del capital (costo de oportunidad) no ayudaría a explicar una función de costo total de extracción.

#### *Resultados de oro, cobre estaño y hierro*

Posteriormente escogido los mejores modelos para cada mineral, en el Cuadro AM-5 se realiza un análisis comparativo incluyendo a las estimaciones escogidas una tendencia  $\delta$  como un indicador de cambio técnico. Teóricamente,  $\delta$  indica el impacto que en promedio tiene este en la función de costos, el signo esperado debe ser negativo, es decir, se espera que el avance tecnológico disminuya los costos totales para un nivel de producción y precios dados.

**Cuadro AM-5: Comparación de mejores modelos con y sin tendencia para los minerales analizados**

Mineral	Oro Sectorial Modelo 4		Cobre Modelo 3		Estaño Modelo 5		Hierro Modelo 4	
	Con Tend.	Sin Tend.	Con Tend.	Sin Tend.	Con Tend.	Sin Tend.	Con Tend.	Sin Tend.
$\beta$	5.75* (0.00)	4.96* (0.00)	-1.07 (0.49)	4.17** (0.05)	10.45* (0.00)	9.71* (0.00)	6.12*** (0.09)	6.18** (0.03)
$\beta_q$	0.69* (0.00)	0.77* (0.00)	1.51* (0.00)	0.95* (0.00)	0.36 (0.23)	0.44*** (0.09)	0.57*** (0.02)	0.57* (0.00)
$\beta_1$	0.84 (0.00)	0.58* (0.00)	0.65* (0.00)	0.83* (0.01)	0.71* (0.00)	0.59* (0.00)	0.11* (0.00)	0.11* (0.00)
$\beta_3$	-	-	-	-	-	-	0.89* (0.00)	-
$\beta_4$	-	-	-	0.17* (0.00)	-	-	-	0.89* (0.00)
$\beta_5$	-	-	-	-	-	-	-	-
$\beta_6$	0.16* (0.00)	0.42* (0.00)	-	-	0.29* (0.00)	-	-	-
$\delta$	0.02 (0.41)	-	-0.11* (0.0)	-	-0.02 (0.60)	0.41* (0.00)	-0.001 (0.98)	-
$\bar{R}^2$	0.88	0.90	0.90	0.00	0.58	0.58	0.33	0.33
Prob. F	0.00	0.00	0.00	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00
Prob. BPG	0.66	0.43	0.07	0.16	0.62	0.47	0.37	0.38
Prob. LM	0.08	0.23	0.12	0.23	0.44	0.38	0.21	0.12
Akaike	0.36	0.28	0.69	0.38	0.03	0.02	0.44	0.43
Schwarz	0.24	0.15	0.49	0.41	0.17	0.10	0.33	0.28

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los valores en paréntesis representan los p-value

(\*) Significativa al 1%; (\*\*) Significativa al 5%; (\*\*\*) Significativas al 10%

Los resultados indican que la tasa de cambio  $\delta$  incorporada en los modelos anteriores, no es estadísticamente significativo para los tres tipos de minerales. Asimismo, para el caso del oro y el estaño no son estadísticamente significativos y por tanto no debe incluirse en los modelos de dichos minerales.

Para el caso del cobre, comparando el modelo con tendencia con el modelo escogido previamente (sin tendencia), este último tiene los criterios Akaike y Schwarz más bajos y por tanto también se concluye que no debe incluirse en las funciones de costos para el cobre la  $\delta$  como medida de cambio técnico.

La no significancia de  $\delta$  en ningún caso puede estar indicando que efectivamente no ha existido, en el periodo considerado, un cambio tecnológico importante para el oro, cobre, estaño y hierro. Sin embargo, también la causa puede provenir por la forma de estimar los precios de la energía y combustible y las remuneraciones.

En efecto, en las estimaciones utilizadas, lo que se estima, es en estricto rigor, el costo medio de las remuneraciones, de la energía y combustible, que depende tanto del precios de los insumos propiamente tal, como de los coeficientes insumo-producto, estos últimos deben capturar en alguna medida el avance tecnológico, así cualquier disminución de estos se puede interpretar como aumentos en la eficiencia en su uso o cambio técnico.

Con respecto a las estimaciones realizadas anteriormente, es importante mencionar que también se realizó estimaciones alternativas para cada mineral tales como funciones lineales, cuadráticas o cúbicas. Asimismo, se probó incorporar una tendencia como medida de cambio técnico.

Los resultados muestran que no es correcto estimar una función lineal, cuadrática y cúbica ya que los parámetros son altamente no significativos y muchos de ellos incluso no cumplen con los signos esperados según la teoría económica (Anexo AE-12). Así también, al incluir una tendencia en todas las especificaciones, se demuestra que dicho parámetro no es significativo y por ende se excluye del modelo.

A continuación se presentan los precios sombra por metal, los cuales se obtuvieron restando el precio ( $p$ ) menos el costo marginal ( $c'$ ) de extracción de cada metal. El precio de los minerales se estimó dividiendo los ingresos operativos en US\$ constantes del 1994 de cada empresa que produce dicho mineral sobre su producción (Cuadro AM-6).

**Cuadro AM-6: Precio sombra por tipo de metal y año**

mineral unidad	oro sectorial			cobre			Estaño			hierro		
	US\$ 1994/oz			US\$ 1994/tmf			US\$ 1994/tmf			US\$ 1994/tls		
año	P	c'	p-c'	p	c'	p-c'	p	c'	p-c'	p	c'	p-c'
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	2.20	35
1994	397	240	157	-	-	-	4638	2962	1676	25	1.88	24
1995	381	209	173	2198	1370	828	5224	2814	2409	25	2.05	23
1996	401	188	212	3149	1339	1810	4897	2560	2337	35	2.44	33
1997	343	176	166	1732	1326	405	5450	2502	2948	28	2.33	26
1998	360	168	192	2650	1324	1326	5990	2611	3379	30	2.28	28
1999	382	165	217	2276	1313	963	5669	2378	3292	26	2.53	23
2000	344	162	182	1926	1309	617	5758	2125	3632	26	2.52	23
2001	358	159	199	2392	1304	1088	5340	2101	3239	28	2.38	25
2002	394	151	243	1986	1297	689	5473	2082	3391	27	2.37	24
2003	416	144	272	1773	1296	477	5080	2041	3039	24	2.20	22
2004	345	142	203	1437	1295	142	7292	2002	5290	19	1.96	17
2005	333	139	194	2185	1292	893	5194	1988	3206	25	1.88	23
2006	266	146	121	1672	1290	383	3990	2092	1898	18	1.81	16
2007	269	159	110	2644	1224	1420	5447	2076	3371	17	1.75	15
2008	391	156	234	2887	1214	1674	7928	2075	5852	25	1.78	23
2009	400	155	245	2251	1217	1034	5223	2122	3101	20	1.87	18
2010	385	168	217	1752	1216	536	7592	2248	5344	26	1.69	24
2011	394	170	224	-	-	-	11890	2457	9434	36	1.55	35

Fuente: Elaboración propia

## Plomo y Zinc

Las empresas productoras de plomo y zinc están representadas por Buenaventura S.A.A, Compañía Minera Milpo S.A.A y Volcán Compañía Minera S.A.A. Se tiene información del Ingreso Total (IT), Costo total (CT) en soles y la producción de ambos minerales en toneladas métricas secas (TMS) durante el periodo 1992-2011. Para las variables IT, CT fue necesario deflactarlas usando el índice de precios del PBI minero (1994=100) obtenido de las cuentas nacionales de INEI (2012a).

Dado que se tiene información de tres empresas que producen plomo y zinc durante el periodo 1992-2011, en este caso se estima un modelo de datos panel de tipo efectos fijos ya que se parte del supuesto de que existen diferencias en los costos de cada empresa minera multiproductora. Asimismo, se asume que existe correlación entre las variables represoras estimadas y la heterogeneidad inobservable que identifica a cada unidad transversal (empresas mineras).

Para la estimación de efectos fijos se utilizara el estimador de Mínimos Cuadrados con Variables Dummy (MCVD), la cual, se tendrá una dummy d2 y d3 que identifican a las empresas mineras Volcan y Milpo, y cuyos coeficientes serán

representados por  $\theta$  y  $\gamma$ , respectivamente. Lógicamente, el coeficiente  $\beta$  capturará a la empresa Buenaventura. Los resultados se muestran en el Cuadro AM-7.

Conforme a los resultados, gran parte de los parámetros de los modelos son significativos incluso al 1% y 5%. Noten que se descartan los modelos 4, 5 y 6 pues el signo del coeficiente asociado al precio es negativo. Asimismo, en comparación con el resto de modelos, el modelo 1 presenta el criterio Akaike y Schwarz más bajo (58.02 y 70.59) en comparación al resto de modelo y por tanto este modelo es el que mejor representa la función de costos para el plomo y zinc.

Es importante mencionar que no se incorporó en cada modelo más de un precio pues los coeficientes de estas variables no tenían el signo adecuado. Asimismo, no se incluyó una variable que represente el cambio tecnológico ya que previamente ésta demostró ser no significativa.

**Cuadro AM-7: Comparación de modelos panel de efectos fijos para la función de costos de plomo y zinc**

1992-2011	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
B	9.15* (0.00)	11.49* (0.00)	11.71* (0.00)	12.12* (0.00)	12.00* (0.00)	12.00* (0.00)
$\Theta$	-1.35* (0.00)	-1.72* (0.00)	-1.81* (0.00)	-2.00* (0.00)	-1.87* (0.00)	-1.43* (0.00)
$\gamma$	-1.31* (0.00)	-1.57* (0.00)	-1.63* (0.00)	-1.77* (0.00)	-1.67* (0.00)	-1.37* (0.00)
$\beta_{\text{qplomo}}$	0.16*** (0.08)	0.09 (0.28)	0.08 (0.35)	0.05 (0.53)	0.07 (0.35)	0.15*** (0.07)
$\beta_{\text{qzinc}}$	0.38*** (0.06)	0.57* (0.00)	0.62* (0.00)	0.71* (0.00)	0.65* (0.00)	0.43* (0.00)
$\beta_1$	-	-	-	-	-0.05 (0.71)	-
$\beta_2$	-	-	-	-0.16 (0.60)	-	-
$\beta_3$	-	-	-	-	-	-0.63* (0.00)
$\beta_4$	0.84*** (0.09)	-	-	-	-	-
$\beta_5$	-	-	0.05 (0.72)	-	-	-
$\beta_6$	-	0.16 (0.50)	-	-	-	-
$\bar{R}^2$	0.74	0.74	0.74	0.73	0.73	0.76
Prob. F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Akaike	58.02	60.58	60.93	60.76	60.91	71.30
Schwarz	70.59	73.14	73.49	73.34	76.48	89.30

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los valores en paréntesis representan los p-value.

(\*) Significativa al 1%; (\*\*) Significativa al 5%; (\*\*\*) Significativas al 10%

Si bien por el criterio Akaike y Schwarz es mejor el modelo 1, ya que tiene los valores más bajos (58.02 y 70.59, respectivamente) en comparación al resto de

estimaciones, es necesario, utilizar el test de Wald para evaluar si grupalmente los coeficientes  $\theta$  y  $\gamma$  son estadísticamente significativos o no. Si lo fueran, se corrobora que la mejor estimación es la de efectos fijos, caso contrario la estimación que debería estimarse será pooled. Los resultados se muestran en el Cuadro AM-8:

**Cuadro AM-8: Test de Wald en el modelo 4 escogido**

Test Statistic	Value	Probability
F-statistic	12.58	0.00
Chi-square	30.69	0.00

Fuente: Elaboración propia

Los resultados indican que los coeficientes  $\theta$  y  $\gamma$  son estadísticamente significativos ya que la probabilidad del estadístico F o Chi2 son menores a 0.05. Por lo tanto, se corrobora que la función de costos de los minerales plomo y zinc es representada a través de una estimación panel de efectos fijos. La denominación “efectos fijos” parte del supuesto que existe diferencias en los costos totales operativos de las empresas Buenaventura, Volcan y Milpo.

Asimismo, en términos econométricos, hace referencia que existe heterogeneidad no observada que esta correlacionada con las variables regresoras. Esta heterogeneidad no observada, hace que se tenga entonces una expresión para cada empresa y en la cual solo cambiara el intercepto. Las ecuaciones son las siguientes:

Empresa Buenaventura

$$\ln CT_{it} = 9.15 + 0.16 \ln q_{plomo_{it}} + 0.38 \ln q_{zinc_{it}} + 0.84 \ln \omega_{5it} + \varepsilon_{it} \quad (15)$$

Empresa Volcan

$$\ln CT_{it} = 7.8 + 0.16 \ln q_{plomo_{it}} + 0.38 \ln q_{zinc_{it}} + 0.84 \ln \omega_{5it} + \varepsilon_{it} \quad (16)$$

Empresa Milpo

$$\ln CT_{it} = 7.84 + 0.16 \ln q_{plomo_{it}} + 0.38 \ln q_{zinc_{it}} + 0.84 \ln \omega_{5it} + \varepsilon_{it} \quad (17)$$

Dadas las expresiones (15), (16) y (17), se obtiene el costo marginal de extracción por empresa y metal. El precio de los minerales se construyó dividiendo los ingresos

operativos en S/. 1994 de cada empresa que produce dicho mineral sobre su producción. Con esta información se estiman los precios sombra de los metales en estudio (Cuadro AM-9 y AM-10).

**Cuadro AM-9: Precio sombra del zinc por empresa**

Mineral Unidad	Buenaventura			Volcan			Milpo		
	S/. 1994/TMS			S/. 1994/TMS			S/. 1994/TMS		
Año	p	c'	p-c'	p	c'	p-c'	p	c'	p-c'
1992	5189	4156	1033	1024	494	530	2465	416	2049
1993	4102	3537	565	531	501	30	1333	408	925
1994	4851	2856	1994	642	492	150	1248	390	857
1995	11135	4950	6184	650	463	187	1387	386	1002
1996	20695	5392	15303	814	435	379	1312	343	969
1997	13355	5297	8058	620	337	283	1265	304	962
1998	11968	4144	7825	1046	226	821	1292	313	979
1999	4194	2005	2188	684	154	529	1086	280	806
2000	4763	1925	2838	723	103	620	1089	272	816
2001	8169	2245	5924	650	96	554	869	261	608
2002	11137	2441	8696	631	101	530	867	234	633
2003	13775	2704	11072	612	110	502	948	230	719
2004	12678	2572	10105	625	108	517	700	225	474
2005	11649	2554	9094	704	107	597	841	235	606
2006	8702	2351	6350	981	106	875	1289	253	1036
2007	8611	1927	6684	1040	96	944	1471	282	1188
2008	5932	1854	4079	870	92	778	2053	320	1733
2009	11417	1916	9501	615	93	522	1892	285	1607
2010	19501	2590	16911	702	95	607	2073	277	1796
2011	31244	2000	29244	745	101	644	2743	283	2460

Fuente: Elaboración propia



**Cuadro AM-10: Precio sombra del plomo por empresa (S/ 1994 /TMS)**

Mineral Unidad	Buenaventura			Volcan			Milpo		
	Año	P	c'	p-c'	p	c'	p-c'	p	c'
1992	7304	5015	2290	10223	2340	7882	5931	553	5378
1993	4741	4478	263	4472	2071	2401	2762	476	2286
1994	179	141	37	5104	1927	3178	3031	512	2519
1995	11262	4815	6447	6264	2084	4180	2907	445	2462
1996	25521	6386	19135	8588	2065	6524	3863	506	3357
1997	18361	6830	11530	5236	1213	4023	4617	513	4104
1998	26678	7349	19329	6934	575	6359	5098	571	4527
1999	15198	4135	11063	3363	267	3096	4267	489	3777
2000	19660	4364	15297	3109	138	2971	4895	528	4367
2001	20297	3509	16788	3071	137	2934	3757	481	3275
2002	24205	3513	20692	2602	130	2472	3506	393	3113
2003	25440	3518	21921	2389	139	2249	3802	380	3422
2004	20086	2892	17195	2402	135	2267	4999	602	4396
2005	18598	2883	15715	2533	125	2408	4526	503	4023
2006	12200	2311	9889	3364	118	3245	5966	489	5477
2007	15174	2138	13036	3354	98	3256	8577	689	7888
2008	10687	2067	8620	2855	94	2760	12993	876	12118
2009	22465	2328	20137	2560	118	2443	14699	889	13810
2010	27287	2629	24657	3726	148	3578	17940	936	17004
2011	41514	2719	38794	3924	160	3764	26232	1047	25185

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO METODOLOGICO 2

**Cuadro AM-11: precio sombra de petróleo (S/ 1994/TM)**

Zona-Año	P	c'	p-c'	Zona-Año	p	c'	p-c'
NE - 96	17.28	0.63	16.65	S - 96	17.28	0.87	16.41
NE - 97	14.79	0.63	14.16	S - 97	14.79	0.88	13.91
NE - 98	9.66	0.65	9.01	S - 98	9.66	0.88	8.78
NE - 99	12.16	0.67	11.49	S - 99	12.16	0.9	11.26
NE - 00	15.74	0.68	15.06	S - 00	15.74	0.93	14.81
NE - 01	11.65	0.69	10.96	S - 01	11.65	0.93	10.72
NE - 02	11.07	0.7	10.37	S - 02	11.07	0.92	10.15
NE - 03	11.38	0.71	10.67	S - 03	11.38	0.95	10.43
NE - 04	13.71	0.71	13	S - 04	13.71	1.01	12.7
NE - 05	17.01	0.7	16.31	S - 05	17.01	1.05	15.96
NE - 06	18.73	0.69	18.04	S - 06	18.73	1.05	17.68
NE - 07	20.11	0.68	19.43	S - 07	20.11	0.87	19.24
NE - 08	27.5	0.65	26.85	S - 08	27.5	0.86	26.64
NE - 09	18.04	0.63	17.41	S - 09	18.04	0.8	17.24
NE - 10	22.83	0.63	22.2	S - 10	22.83	0.77	22.06

Fuente: Ego-Aguirre (2012)

## ANEXO METODOLOGICO 3

### 1. Mortalidad

Para calcular el incremento del número de casos de mortalidad ante un incremento de la concentración de PM10 para un periodo t ( $\Delta KM_t$ ), se utiliza la expresión (18).

$$\Delta KM_t = (\beta_{Mt}) \cdot \left( \frac{\Delta PM_{10}}{100} \right) \cdot (TM_t) \cdot (PobEx_t) \quad (18)$$

Donde,

- $\beta_{Mt}$  : Pendiente de la función dosis-respuesta para mortalidad, según el escenario alto, medio y bajo (0.336, 0.10 y 0.0864, respectivamente).
- $\Delta PM_{10}$  : Equivalente a:  $PM_{10,F} - PM_{10,I}$ . Incremento de la concentración de PM<sub>10</sub> en el área en estudio, donde  $PM_{10,F}$  es el nivel de concentración actual generado por la construcción del proyecto y el  $PM_{10,I}$  equivale al límite máximo permitido según el estándar nacional de la calidad del aire (ECA) equivalente a 50  $\mu g/m^3$ .
- $TM_t$  : Tasa de mortalidad del centro poblado en el tiempo t.
- $PobEx_t$  : Población expuesta del centro poblado en el tiempo t.

### 2. Morbilidad

En el Perú, las principales enfermedades asociadas a la contaminación de la calidad del aire por PM<sub>10</sub> se relacionan con las vías respiratorias que afectan a la salud humana (MINSA, 2011)<sup>22</sup>, los cuales se presentan en el Cuadro AM-12.

**Cuadro AM-12: Efectos en la salud humana  
asociado a partículas en suspensión PM<sub>10</sub>**

Código	Efectos en la salud humana	Pendiente de la función dosis-respuesta ( $\beta_{Mb}$ )		
		Escenarios		
		Alto	Medio	Bajo
a)	Cambio en admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias	$\beta_a = 0.000788$	$\beta_a = 0.000673$	$\beta_a = 0.000588$
b)	Cambio en admisiones hospitalarias por enfermedades cardiovasculares	$\beta_b = 0.00079$	$\beta_b = 0.00064$	$\beta_b = 0.00048$
c)	Días de actividad restringidos	$\beta_c = 0.0238$	$\beta_c = 0.0168$	$\beta_c = 0.0097$
d)	Enfermedades respiratorias bajas en niños (Bronquitis y tos)	$\beta_d = 0.0016$	$\beta_d = 0.0011$	$\beta_d = 0.0007$
e)	Bronquitis crónica	$\beta_e = 0.000093$	$\beta_e = 0.000061$	$\beta_e = 0.00003$
f)	Síntomas respiratorios agudos	$\beta_f = 0.2555$	$\beta_f = 0.1697$	$\beta_f = 0.0803$
g)	Ataque de asma	$\beta_d = 0.1971$	$\beta_d = 0.0584$	$\beta_d = 0.0329$

Fuente: Sanchez (1997), Kröger (2002) y Ostro (2004).  
Elaboración propia

<sup>22</sup> Disponible

en

[www.app.minsa.gob.pe/bsc/Detalle\\_IndBSC.asp?lcind=5&lcobj=1&lcper=1&lcfreq=31/1/2011](http://www.app.minsa.gob.pe/bsc/Detalle_IndBSC.asp?lcind=5&lcobj=1&lcper=1&lcfreq=31/1/2011)

La pendiente de la función dosis respuesta varía según el efecto en la salud humana y tipo de escenario que corresponde según las cifras extremas de estas funciones (alto, medio y bajo). Los casos en la salud humana se muestran en el Cuadro AM-13.

**Cuadro AM-13: Funciones dosis-respuesta asociados a la concentración de PM<sub>10</sub> (ug/m<sup>3</sup>) por tipo de efectos en la salud humana**

Variación del número total de casos anuales ( ΔKMb <sub>t</sub> )	
ΔKMb <sub>a</sub>	$(\beta_a) \cdot (a) \cdot (\Delta PM_{10}/100) \cdot (PobEx)$
ΔKMb <sub>b</sub>	$(\beta_b) \cdot (b) \cdot (\Delta PM_{10}/100) \cdot (PobEx)$
ΔKMb <sub>c</sub>	$(\beta_c) \cdot (\Delta PM_{10}) \cdot (PobEx)$
ΔKMb <sub>d</sub>	$(\beta_d) \cdot (\Delta PM_{10}) \cdot (TC) \cdot (Pob_N)$
ΔKMb <sub>e</sub>	$(\beta_e) \cdot (\Delta PM_{10}) \cdot (TC) \cdot (Pob_{>25 \text{ años}})$
ΔKMb <sub>f</sub>	$(\beta_f) \cdot (\Delta PM_{10}) \cdot (PobEx)$
ΔKMb <sub>g</sub>	$(\beta_g) \cdot (\Delta PM_{10}) \cdot (0.047) \cdot (PobEx)$

\* β<sub>Mb</sub> varía según el tipo de escenario alto, medio y bajo para cada caso  
 ΔKMb<sub>t</sub>: ΔKMb<sub>a</sub>+ΔKMb<sub>b</sub> + ΔKMb<sub>c</sub> + ΔKMb<sub>d</sub> +ΔKMb<sub>e</sub> + ΔKMb<sub>f</sub> + ΔKMb<sub>g</sub>  
 Pob<sub>ex</sub>: Población expuesta a la contaminación del centro poblado  
 Pob<sub>Ad</sub>: Población de adultos del centro poblado  
 Pob<sub>N</sub>: Población de niños del centro poblado  
 Pob<sub>>25 años</sub>: Población mayor de 25 años del centro poblado  
 TC: Tasa anual de consultas por infecciones respiratorias bajas  
 Fuente: Sánchez (1997), Kröger (2002) y Ostro (2004).

### 3. Costo total anual de los efectos de la concentración de PM10 en la salud humana

Una vez obtenida la variación del número de casos por efectos de mortalidad y morbilidad, se procede a estimar el costo total anual de estos casos que se evitarían si se logra reducir el nivel de contaminación a los estándares nacionales establecidos en el D. S. N° 074-2001-PCM. Para ello, en primer lugar se estima la edad promedio de la población afectada según grupo de edades simple. Formalmente (19):

$$E_{pp} = \sum_{i=1}^m \bar{E}_{it} \left[ \frac{P_{E_{it}}}{P_{ET_{it}}} \right] \quad (19)$$

Donde,

- E<sub>pp</sub> : Edad promedio ponderada de la población expuesta en el periodo t
- $\bar{E}_i$  : Edad promedio del intervalo de grupo de edad i de la población expuesta en el periodo t

- $P_{E_{it}}$  : Población total del intervalo de grupo de edad  $i$  de la población expuesta en el periodo  $t$   
 $P_{ET_{it}}$  : Población del intervalo de grupo de edad  $i$  de la población expuesta en el periodo  $t$   
 $I$  : Grupo de edad de la población expuesta, donde  $i = 1, \dots, m$ .

Una vez estimada  $E_{pp}$  se estiman los años que ésta población dejó de percibir ingreso, restándole la esperanza de vida en promedio del área en estudio ( $E_V$ ) la cual equivale a los años perdidos por una muerte prematura debido a la contaminación por  $PM_{10}$ . Por último, se estima los costos totales de mortalidad y morbilidad, los cuales se explican a continuación.

### Mortalidad

El costo total anual de mortalidad asociado a la contaminación del aire por el incremento de la concentración de  $PM_{10}$  equivale a la expresión (20).

$$CTMt_t = \left[ \int_{t=E_{pp}}^{E_V} S \cdot e^{-r(E_V - E_{pp})t} dt \right] \cdot (\Delta KMt_t) \quad (20)$$

Donde,

- $CTMt_t$  : Costo total anual de mortalidad en el tiempo  $t$  por contaminación de  $PM_{10}$   
 $S$  : Salario mínimo vital de la población expuesta  
 $\Delta KMt_t$  : Variación del número de casos de mortalidad  
 $R$  : Tasa de descuento

### Morbilidad

Para estimar los costos totales anuales de morbilidad, se utiliza la expresión (21).

$$CTMb_t = \left[ \int_{t=E_{pp}}^{E_V} S \cdot e^{-r(E_V - E_{pp})t} dt \right] \cdot (\Delta KMb_t) \quad (21)$$

Donde,

- CTMb<sub>t</sub> : Costo total anual de morbilidad en el tiempo t por contaminación de PM<sub>10</sub>
- S : Salario mínimo vital de la población expuesta
- ΔKMb<sub>t</sub> : Variación del número de casos de morbilidad
- R : Tasa de descuento

#### **4. Costo total anual por efecto de mortalidad y morbilidad de la población expuesta**

Por lo tanto, el valor buscado del efecto en la salud asociado a la contaminación de la calidad del aire por PM<sub>10</sub> para un periodo t será igual a la suma de los costos totales anuales de mortalidad y morbilidad (22).

$$CT_t = CTMt_t + CTMb_t \quad (22)$$

Este costo total es medido en S/ug/m<sup>3</sup> y equivale al costo total anual vinculado a casos de mortalidad sumado del costo total anual vinculado a casos de morbilidad que la población expuesta evitaría ante la variación de la concentración de contaminación del aire (ΔPM<sub>10</sub>).

# **ANEXOS ECONOMETRICOS**

## ANEXO AE-1: PRUEBAS DE NORMALIDAD PARA LAS FUNCIONES DE COSTOS TOTALES DE CADA METAL

Según los valores de Skewness y Kurtosis, por su proximidad a 0 y 3 respectivamente, permiten aseverar que los costos totales para cada mineral y los principales índices de precios usados en las regresiones son aproximadamente simétricos y son mesocúrticas. Asimismo, para un nivel de confianza del 95%, el contraste de Jarque-Bera indica que no se rechaza la hipótesis nula de distribución normal en ninguna de las variables.

17 obs.	$CT_t^{\text{oro}}$	$CT_t^{\text{cobre}}$	$CT_t^{\text{estaño}}$	$CT_t^{\text{hierro}}$	$\omega_{1t}$	$\omega_{2t}$	$\omega_{3t}$	$\omega_{4t}$	$\omega_{5t}$	$\omega_{6t}$	$\omega_{7t}$
Skewness	-0.15	1.24	0.17	0.37	-0.26	-0.42	-1.03	0.15	-1.05	-0.02	-0.24
Kurtosis	2.17	3.71	1.62	1.96	1.67	1.40	2.99	1.92	3.25	1.38	1.51
Jarque-Bera	0.54	4.73	1.42	1.58	1.44	2.31	3.01	0.89	3.22	1.86	1.74
Probability	0.76	0.09	0.49	0.42	0.48	0.31	0.22	0.64	0.19	0.39	0.42

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO AE-2: PRUEBAS DE NORMALIDAD PARA LA PRODUCCION DE CADA METAL

Según los valores de Skewness y Kurtosis, por su proximidad a 0 y 3 respectivamente, permiten aseverar que producción para cada mineral tienen simetría y son mesocúrticas. Asimismo, para un nivel de confianza del 95%, el contraste de Jarque-Bera indica que no se rechaza la hipótesis nula de distribución normal en ninguna de las variables.

Estadísticos	$q_t^{\text{oro}}$	$q_t^{\text{cobre}}$	$q_t^{\text{estaño}}$	$q_t^{\text{estaño}}$
Skewness	-0.06	1.11	-0.66	-0.33
Kurtosis	2.39	2.54	2.08	2.78
Jarque-Bera	0.27	3.68	1.81	1.98
Probability	0.87	0.15	0.40	0.55

Fuente: Elaboración propia



**ANEXO AE-3: MATRIZ DE CORRELACION ENTRE LAS VARIABLES REGRESORAS DE CADA MINERAL**

**ANEXO AE-3.1-ORO**

	$q_t^{\text{oro}}$	$\omega_{1t}$	$\omega_{2t}$	$\omega_{3t}$	$\omega_{4t}$	$\omega_{5t}$	$\omega_{6t}$
$q_t^{\text{oro}}$	1.00	-0.13	0.75	-0.70	0.85	0.71	0.77
$\omega_{1t}$	-0.13	1.00	-0.05	0.57	-0.49	-0.71	-0.67
$\omega_{2t}$	0.75	-0.05	1.00	-0.58	0.76	0.44	0.54
$\omega_{3t}$	-0.70	0.57	-0.58	1.00	-0.87	-0.88	-0.89
$\omega_{4t}$	0.85	-0.49	0.76	-0.87	1.00	0.86	0.92
$\omega_{5t}$	0.71	-0.71	0.44	-0.88	0.86	1.00	0.99
$\omega_{6t}$	0.77	-0.67	0.54	-0.89	0.92	0.99	1.00

Fuente: Elaboración propia

**ANEXO AE-3.2 -COBRE**

	$q_t^{\text{cobre}}$	$\omega_{1t}$	$\omega_{2t}$	$\omega_{3t}$	$\omega_{4t}$	$\omega_{5t}$	$\omega_{6t}$
$q_t^{\text{cobre}}$	1.00	-0.86	0.05	-0.76	0.58	0.76	0.73
$\omega_{1t}$	-0.86	1.00	0.16	0.52	-0.41	-0.68	-0.62
$\omega_{2t}$	0.05	0.16	1.00	-0.43	0.63	0.32	0.40
$\omega_{3t}$	-0.76	0.52	-0.43	1.00	-0.84	-0.86	-0.87
$\omega_{4t}$	0.58	-0.41	0.63	-0.84	1.00	0.89	0.93
$\omega_{5t}$	0.76	-0.68	0.32	-0.86	0.89	1.00	0.99
$\omega_{6t}$	0.73	-0.62	0.40	-0.87	0.93	0.99	1.00

Fuente: Elaboración propia

**ANEXO AE-3.3 -ESTAÑO**

	$q_t^{\text{estaño}}$	$\omega_{1t}$	$\omega_{2t}$	$\omega_{3t}$	$\omega_{4t}$	$\omega_{5t}$	$\omega_{6t}$
$q_t^{\text{estaño}}$	1.00	-0.29	0.79	-0.76	0.93	0.82	0.87
$\omega_{1t}$	-0.29	1.00	-0.05	0.57	-0.49	-0.71	-0.67
$\omega_{2t}$	0.79	-0.05	1.00	-0.58	0.76	0.44	0.54
$\omega_{3t}$	-0.76	0.57	-0.58	1.00	-0.87	-0.88	-0.89
$\omega_{4t}$	0.93	-0.49	0.76	-0.87	1.00	0.86	0.92
$\omega_{5t}$	0.82	-0.71	0.44	-0.88	0.86	1.00	0.99
$\omega_{6t}$	0.87	-0.67	0.54	-0.89	0.92	0.99	1.00

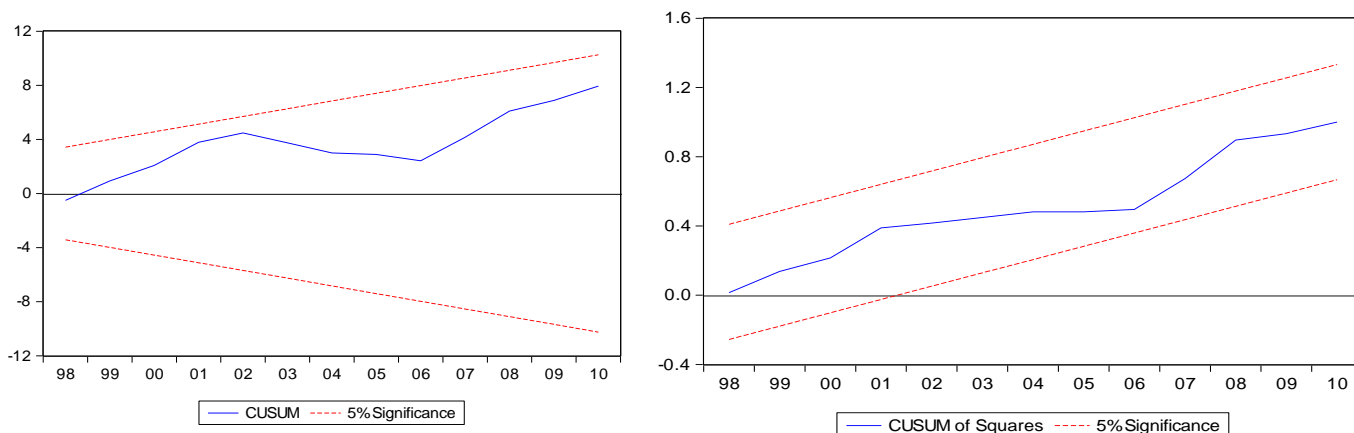
Fuente: Elaboración propia

**ANEXO AE-3.4 -HIERRO**

	$q_t^{\text{hierro}}$	$\omega_{1t}$	$\omega_{2t}$	$\omega_{3t}$	$\omega_{4t}$	$\omega_{5t}$	$\omega_{6t}$
$q_t^{\text{estaño}}$	1.00	-0.34	0.89	-0.67	0.87	0.85	0.84
$\omega_{1t}$	-0.39	1.00	-0.04	0.28	-0.86	-0.67	-0.89
$\omega_{2t}$	0.87	-0.12	1.00	-0.38	0.85	0.45	0.55
$\omega_{3t}$	-0.79	0.47	-0.48	1.00	-0.92	-0.56	-0.97
$\omega_{4t}$	0.91	-0.39	0.66	-0.48	1.00	0.67	0.91
$\omega_{5t}$	0.78	-0.43	0.34	-0.58	0.91	1.00	0.89
$\omega_{6t}$	0.85	-0.57	0.65	-0.68	0.90	0.89	1.00

Fuente: Elaboración propia

**ANEXO AE-4: CONTRASTES CUSUM Y CUSUM DE CUADRADOS PARA EL MEJOR MODELO DE LA FUNCION DE COSTO TOTAL DEL ORO**

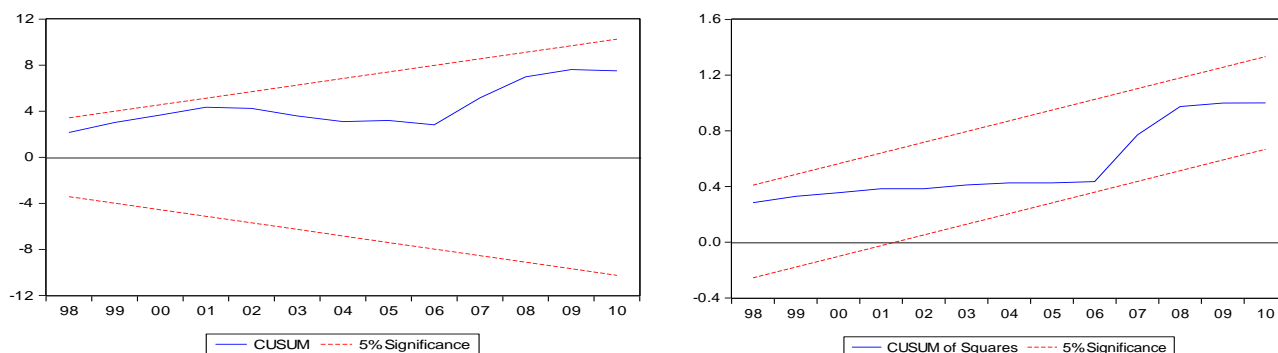


**ANEXO AE-5: COSTO MARGINAL (CMG) Y COSTO MEDIO (CME) DEL ORO (US\$ 1994/OZ)**

	<b>CMG</b>	<b>CME</b>
1994	240	320
1995	209	278
1996	188	251
1997	176	235
1998	168	224
1999	165	220
2000	162	216
2001	159	212
2002	151	202
2003	144	192
2004	142	189
2005	139	185
2006	146	194
2007	159	212
2008	156	208
2009	155	207
2010	168	224
2011	170	230

Elaboración propia

**ANEXO AE-6: CONTRASTES CUSUM Y CUSUM DE CUADRADOS PARA EL MEJOR MODELO DE LA FUNCION DE COSTO TOTAL DEL COBRE**

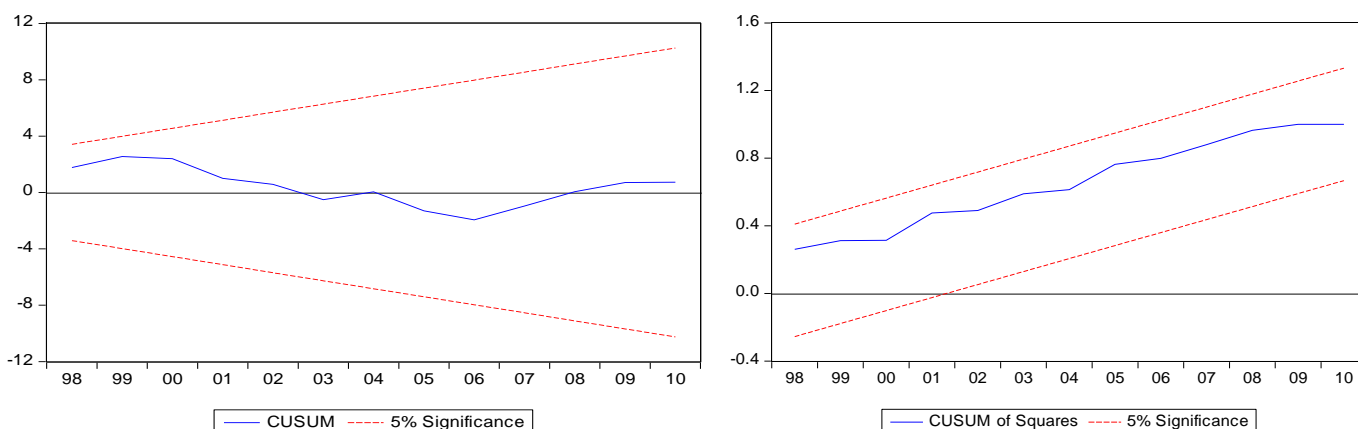


**ANEXO AE-7: COSTO MARGINAL (CMG) Y COSTO MEDIO (CME) DEL COBRE  
(US\$/TMF 1994)**

	<b>CMG</b>	<b>CME</b>
1995	1370	1442
1996	1339	1409
1997	1326	1396
1998	1324	1394
1999	1313	1382
2000	1309	1378
2001	1304	1373
2002	1297	1365
2003	1296	1364
2004	1295	1363
2005	1292	1360
2006	1290	1358
2007	1224	1289
2008	1214	1278
2009	1217	1281
2010	1216	1280

Elaboración propia

**ANEXO AE-8: CONTRASTES CUSUM Y CUSUM DE CUADRADOS PARA EL MEJOR  
MODELO DE LA FUNCION DE COSTO TOTAL DEL ESTAÑO**

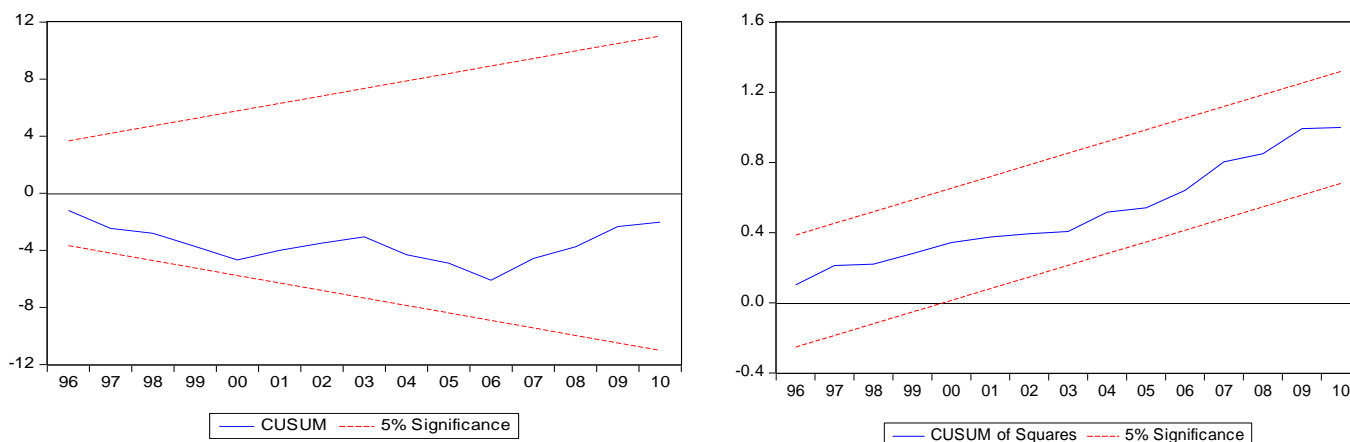


**ANEXO AE-9: COSTO MARGINAL (CMG) Y COSTO MEDIO (CME) DEL ESTAÑO  
(US\$/TMF 1994)**

	<b>CMG</b>	<b>CME</b>
1994	2962	6732
1995	2814	6396
1996	2560	5817
1997	2502	5687
1998	2611	5934
1999	2378	5404
2000	2125	4830
2001	2101	4776
2002	2082	4732
2003	2041	4640
2004	2002	4551
2005	1988	4519
2006	2092	4755
2007	2076	4718
2008	2075	4717
2009	2122	4824
2010	2248	5109
2011	2457	5584

Elaboración propia

### ANEXO AE-10: CONTRASTES CUSUM Y CUSUM DE CUADRADOS PARA EL MEJOR MODELO DE LA FUNCION DE COSTO TOTAL DEL HIERRO



### ANEXO AE-11: COSTO MARGINAL (CMG) Y COSTO MEDIO (CME) DEL ESTAÑO (US\$/TLS 1994)

	CMG	CME
1993	2.20	5.11
1994	1.88	4.36
1995	2.05	4.77
1996	2.44	5.68
1997	2.33	5.42
1998	2.28	5.30
1999	2.53	5.89
2000	2.52	5.85
2001	2.38	5.54
2002	2.37	5.52
2003	2.20	5.13
2004	1.96	4.55
2005	1.88	4.38
2006	1.81	4.22
2007	1.75	4.07
2008	1.78	4.14
2009	1.87	4.35
2010	1.69	3.93
2011	1.55	3.61

Elaboración propia

### ANEXO AE-12: ESTIMACIONES ALTERNATIVAS DE LA FUNCION DE COSTO TOTAL PARA EL ORO, COBRE, ESTAÑO y HIERRO

Las regresiones que se muestran continuación son estimaciones alternativas en base al mejor modelo de cada mineral. Los resultados muestran que presentan problemas en los parámetros, ya que no tienen los signos esperados según la teoría económica. Así también, muchas de estas tienen parámetros altamente no significativos y problemas de heteroscedasticidad u autocorrelación.

También es importante mencionar que a los modelos escogidos anteriormente se les agregó una tendencia como un indicador de cambio técnico. Los resultados indican que no debería incorporarse una tendencia pues dicho parámetro es altamente no significativo.

Por lo tanto, las estimaciones mostradas en este Anexo hacen difícil encontrar costos marginales y medios razonables y por tanto, fueron descartados del análisis. Es posible también que las regresiones carezcan de estos problemas debido a la poca información con

la cual se trabajó; sin embargo, se realizó el mejor esfuerzo posible para estimar los costos marginales y medios por mineral.

### ANEXO AE-12.1-ORO

Dependent Variable: CT\_ORO  
 Method: Least Squares  
 Sample (adjusted): 1994 2011  
 Included observations: 17 after adjustments  
 $CT\_ORO=C(1)+C(2)*Q\_ORO+C(3)*Q\_ORO^2+C(4)*Q\_ORO^3+C(5)*IP\_REM+(1-C(5))*IP\_EC$

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	1447516.	1.55E+08	0.009331	0.9927
C(2)	288.3962	400.5297	0.720037	0.4853
C(3)	0.000312	0.000298	1.048393	0.3151
C(4)	-9.30E-11	6.43E-11	-1.446598	0.1736
C(5)	2035035.	379293.5	5.365332	0.0002
R-squared	0.918172	Mean dependent var	6.65E+08	
Adjusted R-squared	0.890896	S.D. dependent var	2.86E+08	
S.E. of regression	94563795	Akaike info criterion	39.80738	
Sum squared resid	1.07E+17	Schwarz criterion	40.05244	
Log likelihood	-333.3627	Hannan-Quinn criter.	39.83174	
F-statistic	33.66232	Durbin-Watson stat	2.081058	
Prob(F-statistic)	0.000002			

Dependent Variable: CT\_ORO  
 Method: Least Squares  
 Sample (adjusted): 1994 2011  
 Included observations: 17 after adjustments  
 $CT\_ORO=C(1)+C(2)*Q\_ORO+C(3)*Q\_ORO^2+C(4)*IP\_REM+(1-C(4))*IP\_EC$

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-1.80E+08	97180711	-1.847662	0.0875
C(2)	838.1218	134.1112	6.249453	0.0000
C(3)	-0.000115	3.98E-05	-2.894642	0.0125
C(4)	1923813.	393616.1	4.887537	0.0003
R-squared	0.908099	Mean dependent var	6.65E+08	
Adjusted R-squared	0.886892	S.D. dependent var	2.86E+08	
S.E. of regression	96283627	Akaike info criterion	39.80582	
Sum squared resid	1.21E+17	Schwarz criterion	40.00187	
Log likelihood	-334.3495	Hannan-Quinn criter.	39.82531	
F-statistic	42.81904	Durbin-Watson stat	1.486414	
Prob(F-statistic)	0.000001			

Dependent Variable: CT\_ORO  
 Method: Least Squares  
 Sample (adjusted): 1994 2011  
 Included observations: 17 after adjustments  
 $CT\_ORO=C(1)+C(2)*Q\_ORO+C(3)*IP\_REM+(1-C(3))*IP\_EC$

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
--	-------------	------------	-------------	-------

C(1)	55509676	65221560	0.851094	0.4090
C(2)	466.1752	46.92384	9.934720	0.0000
C(3)	1732966.	474139.0	3.654974	0.0026

---

R-squared	0.862803	Mean dependent var	6.65E+08
Adjusted R-squared	0.843204	S.D. dependent var	2.86E+08
S.E. of regression	1.13E+08	Akaike info criterion	40.08888
Sum squared resid	1.80E+17	Schwarz criterion	40.23592
Log likelihood	-337.7555	Hannan-Quinn criter.	40.10349
F-statistic	44.02168	Durbin-Watson stat	1.005382
Prob(F-statistic)	0.000001		

---

Dependent Variable: CT\_ORO  
Method: Least Squares  
Sample (adjusted): 1994 2011  
Included observations: 17 after adjustments  
 $CT\_ORO = C(1) + C(2) * Q\_ORO + C(3) * IP\_REM + (1 - C(3)) * IP\_EC + C(5) * @TREND$

---

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-2.92E+08	1.03E+08	-2.846001	0.0138
C(2)	470.4319	43.87406	10.72232	0.0000
C(3)	5435968.	1065476.	5.101916	0.0002
C(5)	71270847	17267284	4.127508	0.0012

---

R-squared	0.926085	Mean dependent var	6.65E+08
Adjusted R-squared	0.909027	S.D. dependent var	2.86E+08
S.E. of regression	86349616	Akaike info criterion	39.58803
Sum squared resid	9.69E+16	Schwarz criterion	39.78408
Log likelihood	-332.4983	Hannan-Quinn criter.	39.60752
F-statistic	54.29232	Durbin-Watson stat	1.750032
Prob(F-statistic)	0.000000		

---

### ANEXO AE-12.2-COBRE

Dependent Variable: CT\_COBRE

Method: Least Squares

Sample (adjusted): 1995 2011

Included observations: 17 after adjustments

$$CT\_COBRE=C(1)+C(2)*Q\_COBRE+C(3)*Q\_COBRE^2+C(4)*Q\_COBRE^3+C(5)*IP\_REM+(1-C(5))*IP\_EC$$

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	1.30E+08	56773814	2.289011	0.0410
C(2)	2836.194	1534.405	1.848400	0.0893
C(3)	-0.014173	0.011787	-1.202398	0.2524
C(4)	3.51E-08	2.61E-08	1.346371	0.2031
C(5)	798372.5	376646.9	2.119684	0.0556

R-squared	0.895239	Mean dependent var	3.00E+08
Adjusted R-squared	0.860318	S.D. dependent var	1.59E+08
S.E. of regression	59489235	Akaike info criterion	38.88042
Sum squared resid	4.25E+16	Schwarz criterion	39.12548
Log likelihood	-325.4835	Hannan-Quinn criter.	38.90478
F-statistic	25.63657	Durbin-Watson stat	1.395889
Prob(F-statistic)	0.000008		

Dependent Variable: CT\_COBRE

Method: Least Squares

Sample (adjusted): 1995 2011

Included observations: 17 after adjustments

$$CT\_COBRE=C(1)+C(2)*Q\_COBRE+C(3)*Q\_COBRE^2+C(4)*IP\_REM+(1-C(4))*IP\_EC$$

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	1.70E+08	51105934	3.316848	0.0056
C(2)	1316.706	1093.591	1.204020	0.2500
C(3)	0.001327	0.002661	0.498703	0.6263
C(4)	871192.4	392113.0	2.221789	0.0447

R-squared	0.884068	Mean dependent var	3.00E+08
Adjusted R-squared	0.857315	S.D. dependent var	1.59E+08
S.E. of regression	60125488	Akaike info criterion	38.86409
Sum squared resid	4.70E+16	Schwarz criterion	39.06014
Log likelihood	-326.3448	Hannan-Quinn criter.	38.88358
F-statistic	33.04495	Durbin-Watson stat	1.625042
Prob(F-statistic)	0.000002		

Dependent Variable: CT\_COBRE

Method: Least Squares

Sample (adjusted): 1995 2011

Included observations: 17 after adjustments

$$CT\_COBRE=C(1)+C(2)*Q\_COBRE+C(3)*IP\_REM+(1-C(3))*IP\_EC$$

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	1.46E+08	20366961	7.173557	0.0000
C(2)	1852.260	208.1271	8.899657	0.0000
C(3)	980451.9	327567.4	2.993130	0.0097

R-squared 0.882372 Mean dependent var 3.00E+08  
Adjusted R-squared 0.865568 S.D. dependent var 1.59E+08  
S.E. of regression 58360640 Akaike info criterion 38.76097  
Sum squared resid 4.77E+16 Schwarz criterion 38.90800  
Log likelihood -326.4682 Hannan-Quinn criter. 38.77558  
F-statistic 52.50969 Durbin-Watson stat 1.732789  
Prob(F-statistic) 0.000000

Dependent Variable: CT\_COBRE  
Method: Least Squares  
Sample (adjusted): 19952011  
Included observations: 17 after adjustments  
CT\_COBRE=C(1)+C(2)\*Q\_COBRE+C(3)\*IP\_REM+(1  
-C(3))\*IP\_EC+C(5)\*@TREND

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	1.25E+08	82031691	1.528540	0.1503
C(2)	1699.070	298.7899	5.686504	0.0001
C(3)	1012037.	794289.7	1.274141	0.2249
C(5)	7158117.	15275887	0.468589	0.6471

R-squared 0.867561 Mean dependent var 3.00E+08  
Adjusted R-squared 0.836998 S.D. dependent var 1.59E+08  
S.E. of regression 64263631 Akaike info criterion 38.99721  
Sum squared resid 5.37E+16 Schwarz criterion 39.19326  
Log likelihood -327.4763 Hannan-Quinn criter. 39.01670  
F-statistic 28.38612 Durbin-Watson stat 1.669293  
Prob(F-statistic) 0.000006

### ANEXO AE-12.3- ESTAÑO

Dependent Variable: CT\_ESTAÑO  
Method: Least Squares  
Sample (adjusted): 1994 2011  
Included observations: 17 after adjustments  
No d.f. adjustment for standard errors & covariance  
CT\_ESTANHO=C(1)+C(2)\*Q\_ESTANHO+C(3)  
\*Q\_ESTANHO^2+C(4)\*Q\_ESTANHO^3+C(5)\*IP\_REM+(1  
-C(5))\*IP\_EC

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-8.98E+08	6.69E+08	-1.342530	0.2043
C(2)	87494.49	66364.33	1.318396	0.2120
C(3)	-2.392577	2.143702	-1.116096	0.2862
C(4)	2.35E-05	2.26E-05	1.043127	0.3174
C(5)	766459.7	105040.7	7.296788	0.0000

R-squared 0.831782 Mean dependent var 1.74E+08  
Adjusted R-squared 0.775709 S.D. dependent var 53136424  
S.E. of regression 25165069 Akaike info criterion 37.15974  
Sum squared resid 7.60E+15 Schwarz criterion 37.40480  
Log likelihood -310.8578 Hannan-Quinn criter. 37.18410  
F-statistic 14.83398 Durbin-Watson stat 2.219940  
Prob(F-statistic) 0.000136



Dependent Variable: CT\_ESTAÑO  
 Method: Least Squares  
 Sample (adjusted): 1994 2011  
 Included observations: 17 after adjustments  
 CT\_ESTANHO=C(1)+C(2)\*Q\_ESTANHO+C(3)  
 \*Q\_ESTANHO^2+C(4)\*IP\_REM+(1-C(4))\*IP\_EC

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-2.94E+08	1.71E+08	-1.720288	0.1091
C(2)	23706.23	11037.20	2.147849	0.0512
C(3)	-0.209131	0.169552	-1.233435	0.2393
C(4)	727626.9	110844.4	6.564398	0.0000

R-squared	0.779731	Mean dependent var	1.74E+08
Adjusted R-squared	0.728899	S.D. dependent var	53136424
S.E. of regression	27666715	Akaike info criterion	37.31168
Sum squared resid	9.95E+15	Schwarz criterion	37.50773
Log likelihood	-313.1493	Hannan-Quinn criter.	37.33117
F-statistic	15.33956	Durbin-Watson stat	2.053479
Prob(F-statistic)	0.000147		

Dependent Variable: CT\_ESTAÑO  
 Method: Least Squares  
 Sample (adjusted): 1994 2011  
 Included observations: 17 after adjustments  
 CT\_ESTANHO=C(1)+C(2)\*Q\_ESTANHO+C(3)\*IP\_REM+(  
 -C(3))\*IP\_EC

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-59598751	32374009	-1.840944	0.0869
C(2)	8610.830	1073.008	8.024947	0.0000
C(3)	779178.2	107702.6	7.234534	0.0000

R-squared	0.809065	Mean dependent var	1.74E+08
Adjusted R-squared	0.781788	S.D. dependent var	53136424
S.E. of regression	24821687	Akaike info criterion	37.05112
Sum squared resid	8.63E+15	Schwarz criterion	37.19816
Log likelihood	-311.9345	Hannan-Quinn criter.	37.06573
F-statistic	29.66165	Durbin-Watson stat	1.918952
Prob(F-statistic)	0.000009		

Dependent Variable: CT\_ESTAÑO  
 Method: Least Squares  
 Sample (adjusted): 1994 2011  
 Included observations: 17 after adjustments  
 CT\_ESTANHO=C(1)+C(2)\*Q\_ESTANHO+C(3)\*IP\_REM+(1  
 -C(3))\*IP\_EC+C(5)\*@TREND

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-1.25E+08	44131281	-2.830465	0.0142
C(2)	9696.381	1448.952	6.691994	0.0000
C(3)	1246142.	310050.5	4.019158	0.0015
C(5)	9802876.	5205130.	1.883310	0.0822

R-squared	0.811459	Mean dependent var	1.74E+08
Adjusted R-squared	0.767950	S.D. dependent var	53136424
S.E. of regression	25596671	Akaike info criterion	37.15615
Sum squared resid	8.52E+15	Schwarz criterion	37.35220
Log likelihood	-311.8272	Hannan-Quinn criter.	37.17563
F-statistic	18.65018	Durbin-Watson stat	2.106254
Prob(F-statistic)	0.000054		