
EVOLUCION DE LA RENTA EN LA MINERÍA DEL COBRE EN CHILE, 1985 – 1998.

CIRO IBÁÑEZ GERICKE¹.

RESUMEN

El trabajo tiene por objetivo estimar el valor de la renta marginal del recurso cobre en Chile entre los años 1985 y 1998. Para tal efecto, se estima una función de costo total del tipo Cobb – Douglas. Los resultados revelan que la renta estimada presenta una tendencia decreciente en el periodo de tiempo considerado, dando cuenta de un proceso de disipación similar al que se deriva de la explotación de recursos naturales en ausencia de derechos de propiedad. Dos hipótesis intentan explicar la disipación de la renta. Primero, el estancamiento técnico prevaleciente entre los años 1985 y 1991, que tendió a aumentar los costos por unidad de producto, disminuyendo la renta. La segunda hipótesis, de carácter estructural e institucional, plantea que la disipación es consecuencia del libre acceso a los recursos mineros, que impide la valoración del recurso *in situ*, y por lo tanto, la forma que las empresas tienen de capturar la renta potencial del recurso, es a través de la producción. La principal implicancia de política, de confirmarse la segunda hipótesis, es la evaluación del marco institucional en el cual se ha desarrollado la minería del cobre en los últimos veinte años.

Palabras claves: modelo de extracción óptima de Hotelling, renta marginal, libre acceso, regulación minera.

ABSTRACT

The evolution of income in Chilean copper mining from 1985-1988.

This paper aims to determine the marginal income value of copper in Chile between 1985 and 1998. Total production costs were determined using the Cobb-Douglas production function. A decreasing tendency in estimated income can be seen during the study period. This trend is similar to that expected for a natural resource exploited without the allocation of property rights.

Two hypotheses are proposed to explain copper's decreasing income. Firstly, the lack of technical innovation between 1985 and 1991 may have pushed unitary production costs up and returns down. Secondly, the drop in income may be a consequence of the lack of allocated property rights, which hamper the resource's proper *in situ* appraisal and result in the use of production as the only way to measure income. The second hypothesis, if proven, would highlight the political need to re-evaluate the

¹ Magister en Economía de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Universidad de Concepción, 2002.

institutional framework within which Chilean copper mining has been developed over the last twenty years.

Keywords: Hotelling model of optimal production; marginal income; unallocated property rights; mining regulation

I. INTRODUCCIÓN².

Esta investigación tiene por objeto estimar el valor de la renta marginal en la industria del cobre en Chile entre los años 1985 y 1998. La importancia del tema radica no sólo en llenar un vacío de conocimiento, dada la escasa investigación empírica existente en Chile, sino también por las implicancias teóricas y prácticas que es posible derivar.

Una de las implicancias se relaciona con la valoración de recursos *in situ*, a partir de los desarrollos y mejoras realizados en los Sistemas de Cuentas Nacionales (revisión 1993), particularmente en las llamadas Cuentas Satélites, que tienen por objetivo considerar la depreciación de los stocks de recursos naturales o *capital natural* y corregir dicho indicador por el valor de la depreciación, al igual como se considera en el caso del capital artificial. Se trata de incorporar dicha depreciación en la estimación del Producto Interno Neto (PIN). En esta línea, se han desarrollado en Chile cinco estudios que avanzan en la valoración de cambios en los stocks de recursos pesqueros (Gómez Lobo, 1991), forestales (Núñez, 1992), cobre (Figuroa *et al*, 1994) y en un conjunto de minerales incluido el cobre (Calfucura, 1998; y Figuroa, 1999). La valoración de los cambios se realiza vía estimación de la renta generada a partir de la explotación y comercialización de los recursos en el mercado. La renta se entiende como el *precio sombra o costo de uso* del recurso, que en rigor corresponde a la renta marginal también llamada *renta de Hotelling*. Sin embargo, en la práctica lo que se utiliza es la renta media, arguyendo la dificultad de obtener la renta marginal. Además, dado que los estudios se plantean en el contexto de corrección de PIB sectoriales, generalmente en precios constantes, sólo se estima el valor de la renta media para un solo año, habitualmente el año base de las cifras oficiales. Todos estos elementos restan interés y son claramente insuficientes en la perspectiva de evaluar el flujo de renta en un período de tiempo determinado. Desde una perspectiva teórica se asume *a priori* que la dinámica de extracción y por tanto de la renta, cumplen con la regla de Hotelling.

Otra línea de investigación en torno a la teoría de la renta, en particular del cobre, se abre a partir del trabajo de Caputo (1996), referido al impacto de la producción de empresas

² Este trabajo corresponde a una síntesis del trabajo de tesis para optar al grado de Magister en Economía de Recursos Naturales y Medio Ambiente, el cual contó con la disposición de tiempo del Profesor Sr. Eugenio Figuroa, quien leyó y discutió con el autor las principales conclusiones que de este trabajo se desprenden. También ayudaron al término de la investigación el Profesor Leonardo Letelier, con quien comenté algunos resultados econométricos. El profesor Rafael Agacino, fue un aporte decisivo en el diseño de una metodología *ad hoc* para el cálculo del valor del stock de capital a partir de la información de la Encuesta Nacional Industrial Anual y, también en la discusión en torno al problema de la renta minera. El Profesor Felipe Vásquez, ayudó en la introducción al uso del software LIMDEP. Como siempre, los errores sólo son atribuibles al autor.

transnacionales en la determinación del precio del cobre y a sus efectos en la recaudación fiscal, posteriormente dichas conclusiones fueron matizadas y en cierta medida ampliadas por Vega (1999). También resaltando el problema de la renta y la tributación se encuentra el trabajo de Debrott (2000). Desde una perspectiva teórica distinta se encuentra Figueroa (1999a), donde se plantea un marco conceptual dentro de la teoría neoclásica para el análisis de la renta en sectores de recursos naturales, y se resalta la importancia de abrir el debate en torno al tema así como también de avanzar en la investigación aplicada.

Una tercera línea de investigación dice relación con la estimación de indicadores de escasez como se puede estudiar en Halvorsen y Smith (1984 y 1991), y de eficiencia en la explotación de recursos naturales como es el caso de Farrow (1985). La evaluación se realiza a partir de la evolución de la renta marginal y del cumplimiento o no de la regla de Hotelling³, respectivamente.

Para la elaboración de una base de datos adecuada a los objetivos de la investigación, se utilizó la Encuesta Nacional Industrial Anual, ENIA, correspondiente al código CIIU 3721 (rev. 2). De ella se eliminaron los establecimientos que no son extractivos, es decir, aquellos que sólo se dedican a la fundición y refinación (por ejemplo ENAMI) y también aquellos que se dedican a la transformación del cobre en otros bienes (por ejemplo MADECO). Esta labor se realizó vía catálogo de productos y directorio de establecimientos que mantiene el INE. Posteriormente, se procedió a construir las variables relevantes. Otras fuentes de información estadística fueron las publicaciones de COCHILCO, en particular “Estadísticas del cobre y otros minerales” de varios años, y los Compendios de la Minería Chilena, de cuya fuente se construyó la evolución de la ley del mineral por empresa.

En la sección 2 se desarrolla brevemente los conceptos básicos de la teoría de la renta neoclásica a partir de un modelo de explotación de un recurso natural no renovable de acuerdo a la exposición de Hartwick y Olewiler (1998) y Hartwick y Hageman (1993), y se relaciona la renta del recurso al valor de la depreciación atribuible a la explotación de un stock de un recurso no renovable. En la sección 3 se especifica el modelo mediante el cual se estimó la función de costos para la industria del cobre en Chile. Se explica el método de estimación y los contrastes estadísticos que fueron realizados. Para todas las regresiones se utilizó el Software LIMDEP 7.0. En la sección 4 se plantean los resultados de la estimación econométrica en términos de la prueba de hipótesis estadística respecto de los parámetros y del eventual cambio estructural. En la sección 5 se plantean las conclusiones del trabajo en cuatro ámbitos: primero, acerca de la forma de la función de costos que se desprende de la estimación econométrica y su relación con el modelo de referencia desarrollado en la sección 2. Segundo, se analiza gráficamente la evolución de la renta en el período 1985 – 1998 y se presenta antecedentes adicionales de manera de corroborar la tendencia mostrada. Tercero, se plantea dos hipótesis de discusión que pudieran explicar la evolución seguida por la renta en la industria del cobre en Chile. Finalmente, se resumen las conclusiones y se esbozan posibles líneas de investigación en torno a temas que pudieran ser relevantes para explicar la renta minera en la industria del cobre en Chile, teniendo presente las limitaciones que este trabajo tiene. En

³ Una completa revisión de las distintas alternativas de análisis que se han desarrollado a partir del modelo de Hotelling se encuentra en Krautkraemer (1998).

las secciones 6 y 7 se presenta la bibliografía consultada y se presenta la descripción de la base de datos y variables utilizadas, respectivamente.

II. TEORIA NEOCLASICA DE LA RENTA Y RECURSOS AGOTABLES.

II.1. El modelo de extracción óptima de Hotelling.

El modelo más utilizado para el análisis de la gestión de recursos naturales agotables, es el propuesto por Hotelling en 1931. El modelo tiene por objetivo determinar una senda óptima de extracción del recurso en el tiempo, suponiendo un comportamiento maximizador de las firmas dedicadas a actividades extractivas y sujeto a restricciones generalmente asociadas al stock disponible. El desarrollo de este tipo de modelos revela características distintas respecto de mercados de otros bienes. En efecto, Hartwick y Olewiler (1998; pp. 268-269) plantean tres diferencias: (i) existen costos de oportunidad de extraer hoy versus mañana, lo que da lugar a un equilibrio de mercado en el cual el precio es igual al costo marginal más el costo de oportunidad. Esta situación es distinta de la que se genera en la producción de bien reproducible, donde la producción no tiene la limitante de un recurso físicamente determinado, es decir, el producir hoy no implica que mañana habrá menos del bien, por el contrario en el caso de recursos agotables producir una unidad hoy implica no contar con esa unidad mañana, en ese sentido existe un costo de oportunidad desde la perspectiva de la asignación de recursos en el tiempo; (ii) el valor de la renta en el tiempo es analizable de manera análoga al de una inversión en un activo cualquiera, es decir, la renta deberá crecer -en un contexto de mercado competitivo y sin incertidumbre- a una tasa igual a la tasa de retorno media de la inversión; (iii) la última característica es que el capital natural no es ilimitado, es fijo, y por lo tanto la extracción no puede exceder dicho monto, constituyéndose una restricción.

La implicancia de considerar una tasa de descuento, es que el administrador o dueño de un yacimiento minero considera una *trade off* intertemporal en sus decisiones de extracción. Extraer hoy tiene consecuencias en los beneficios futuros. Si no existiera una tasa de descuento, no existiría renta dado que no existiría costo de oportunidad de extraer hoy versus mañana. Nótese que la renta es un valor que corresponde, como es habitual en la teoría de la firma, a un pago por los servicios de la naturaleza, análogo a la retribución al trabajo y al capital, de manera que un punto crucial es definir quién 'representa' a la naturaleza, o en otras palabras quién se apropia de la renta.

El objetivo es entonces maximizar los beneficios netos, el problema es elegir una tasa de extracción que maximice los beneficios. La estructura del problema consta de tres componentes, las funciones de ingreso total, costo total y beneficios y se supone lo siguiente:

- los precios son conocidos para todo el horizonte de tiempo relevante, lo que implica que la demanda futura es conocida,
- las reservas de mineral son conocidas,
- la calidad de los yacimientos es la misma para todos,
- los costos son incrementales en el producto,

- la tasa de descuento (social) existe, es conocida y se asume como la relevante, y es mayor que cero y menor que infinito.

Los componentes se especifican a continuación.

a) Función de ingresos totales.

Sea $IT [q (t)]$ la función de ingresos totales derivados de una determinada tasa de extracción q . Corresponde al producto entre el precio y la cantidad extraída del recurso. Si se supone una estructura de mercado competitivo, la derivada de IT con respecto de q será igual al precio. Si existe influencia en el precio por parte de la firma, el cambio en IT ante un cambio en q será igual al ingreso marginal.

b) Función de costos.

Los costos de producción en una actividad extractiva dependen del nivel de producción; en la medida que aumenta el nivel de producción se espera que los costos totales aumenten. Además, es importante tener en cuenta el tiempo t , variable que generalmente se asocia al cambio tecnológico, que se espera mejore la tecnología a medida que transcurre el tiempo, modificando la frontera de producción y los costos, de manera que con un mismo nivel de insumos sea posible producir una mayor cantidad de producto⁴. Un último elemento que se incorpora como argumento de la función de costos es el vector de precios de insumos P , entre éstos el capital, trabajo y materiales varios.

En términos formales la función de costos se plantea en (1).

$$C = C(q, P, t) \tag{1}$$

donde,

$$\frac{\partial C}{\partial q} > 0; \quad \frac{\partial C}{\partial P} > 0; \quad \frac{\partial C}{\partial t} < 0$$

c) Maximización intertemporal de beneficios.

Formalmente el problema que se plantea es maximizar π , en la expresión dada en (2).

$$\begin{aligned} \pi = & IT[q(0)] - C[q(0)] + \frac{1}{1+r} \{IT[q(1)] - \\ & -C[q(1)]\} + \dots + \frac{1}{1+r}^T \{IT[q(T)] - C[q(T)]\} \end{aligned} \tag{2}$$

⁴ En términos generales la tecnología no es sólo asociable a mejores 'máquinas', sino también al aprendizaje que se produce del proceso productivo en el tiempo, que va redundando en mayores niveles de eficiencia y disminuyendo en consecuencia los costos unitarios.

sujeto a

$$\begin{aligned} \dot{R}_t &= q(t) \\ t &= 1, \dots, T \end{aligned} \quad (3)$$

donde \dot{R}_t representa el cambio en las reservas de mineral en tiempo t .

Tomando sólo dos períodos y diferenciando con respecto a q , se obtiene la solución en (4). Esta condición de optimalidad dinámica plantea un escenario que supone que si los dueños de yacimientos responden a esta lógica de maximización, entonces el cambio en el valor de la renta será igual a la tasa de descuento (r).

$$\frac{[IT'(t+1) - C_q(t+1)] - [IT'(t) - C_q(t)]}{IT'(t) - C_q(t)} = r \quad (4)$$

De manera más sintética y reordenando los términos de acuerdo al párrafo anterior, la expresión (4) se puede plantear como:

$$\Delta\mu = r\mu \quad (5)$$

donde μ simboliza el valor de la renta en un momento del tiempo.

Esta expresión es la que se deriva de la regla de Hotelling para recursos no renovables, que indica que la renta debería crecer a una tasa igual a la tasa de descuento.

II.2. Relación entre la renta y la depreciación económica de un recurso no renovable.

La renta se define como la diferencia entre el precio del recurso y el costo marginal de extracción, y la depreciación económica de un activo se define como el cambio en el valor del activo en un período de tiempo, por ejemplo un año.

El uso *óptimo* del activo implica derivar un programa de extracción que también sea óptimo. Si se supone precios constantes iguales a p (demanda perfectamente elástica), costos marginales de extracción crecientes en el nivel de producción q , es posible definir formalmente el valor de un activo (por ej. un yacimiento minero) en t según (6).

$$\begin{aligned}
V_t = & \frac{1}{1+r} \cdot [p \cdot q_{t+1} - C(q_{t+1})] + \frac{1}{(1+r)^2} \cdot [p \cdot q_{t+2} - \\
& -C(q_{t+2})] + \frac{1}{(1+r)^3} \cdot [p \cdot q_{t+3} - C(q_{t+3})] + \dots \\
& \dots + \frac{1}{(1+r)^n} \cdot [p \cdot q_{t+n} - C(q_{t+n})]
\end{aligned} \tag{6}$$

Se supone que cada nivel de extracción q_{t+i} corresponde al nivel que maximiza beneficios en cada período $t+i$, es decir, se sigue la regla de Hotelling *del r por ciento*. El valor del activo al año siguiente será entonces como lo indicado en (7).

$$\begin{aligned}
V_{t+1} = & \frac{1}{1+r} \cdot [p \cdot q_{t+2} - C(q_{t+2})] + \frac{1}{(1+r)^2} \cdot [p \cdot q_{t+3} - \\
& -C(q_{t+3})] + \dots + \frac{1}{(1+r)^{n-1}} \cdot [p \cdot q_{t+n} - C(q_{t+n})]
\end{aligned} \tag{7}$$

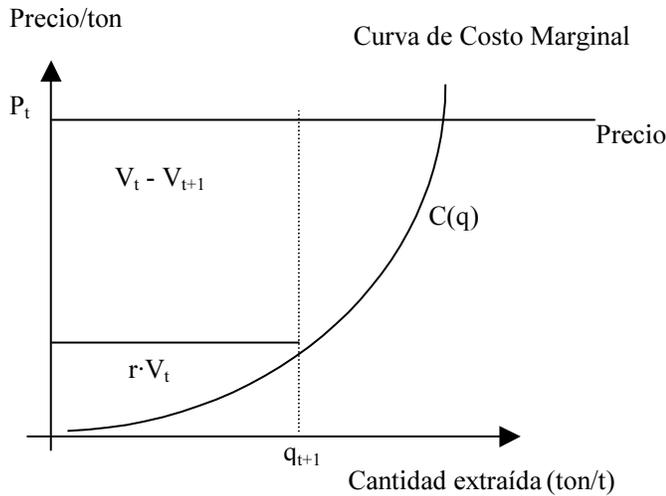
Multiplicando (7) por $(1+r)$ y restando el resultado de (6) se obtiene la expresión en (8).

$$V_t - V_{t+1} = p \cdot q_{t+1} - C(q_{t+1}) - r \cdot V_t \tag{8}$$

Este resultado desarrollado por Hartwick y Olewiler (1998, pp. 403-405) muestra la equivalencia entre la renta total de Hotelling (RTH) y la depreciación económica. El lado izquierdo de (8) corresponde al cambio en el valor del activo entre t y $t+1$. A su vez, el lado derecho de la expresión (8) se puede separar en dos partes, la diferencia entre los ingresos totales y costos totales⁵ ($p \cdot q_{t+1} - C(q_{t+1})$) corresponde a los beneficios brutos en $t+1$, éstos a su vez se pueden descomponer en la renta de Hotelling y la ganancia de capital $r \cdot V_t$. Gráficamente este resultado se presenta en el Gráfico N°1.

⁵ Los costos totales son iguales a la integral de la función de costo marginal.

GRÁFICO N°1
EQUIVALENCIA DE LA DEPRECIACIÓN ECONÓMICA
Y LA RENTA TOTAL DE HOTELLING.



Note que la medida para la depreciación económica no es igual a los beneficios brutos, sólo serán iguales si los costos marginales son iguales a los costos medios, éste es el caso que analiza El Serafy (1989) para derivar el *costo de uso* de los recursos no renovables⁶.

Una característica económica particular de la explotación de recursos naturales que los diferencia de otros bienes es la generación de *renta*. La renta se define como la diferencia entre el precio del recurso natural y el costo unitario de extracción⁷. En otras palabras la renta se puede entender como la diferencia entre el precio de demanda y el precio de oferta o costo marginal.

La renta unitaria se puede expresar como valor medio, es decir, la diferencia entre el precio del recurso y los costos medios de extracción; o bien se puede expresar como valor marginal en cuyo caso sería igual a la diferencia entre el precio y el costo de extracción marginal. La renta unitaria media será igual a la renta unitaria marginal sólo en el caso que se suponga que la oferta del recurso es perfectamente elástica dado el precio del recurso (Hartwick y Olewiler; 1998, pp. 59).

En el caso de cualquier bien, en el largo plazo el equilibrio de mercado se caracteriza por la igualdad entre el precio, el costo marginal y el costo medio, esta relación en el caso de

⁶ Una exhaustiva comparación entre ambas metodologías se puede consultar en Hartwick & Hageman (1993).

⁷ Los costos unitarios incluyen el valor del trabajo, capital, materias primas, e insumos energéticos.

los recursos naturales no se daría; se plantea que en equilibrio de largo plazo los recursos naturales generan renta a la cual se denomina *renta de escasez o renta de Hotelling*, de tal forma que en equilibrio el precio sería igual al costo marginal de extracción más la renta de Hotelling.

La Figura N°1 muestra una situación en que la cantidad óptima de extracción es q_{t+1} y la renta total de Hotelling es $(P - CMg) \cdot q_{t+1}$. La renta de Hotelling da cuenta de la existencia del tiempo en las decisiones de extracción de las firmas. El problema que se plantea es decidir un plan de extracción, de manera de maximizar el valor presente de las rentas sujeto a la restricción correspondiente a la dinámica del recurso.

III. ESPECIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN DE FUNCIÓN DE COSTOS PARA LA MINERÍA INDUSTRIAL DEL COBRE⁸.

III.1. Especificación funcional.

La especificación funcional es de vital trascendencia dado que generalmente ella impone restricciones al modelo que se pretende estimar. Es importante tener presente que la especificación del modelo impone límites a su capacidad explicativa y limita por lo tanto el alcance de las conclusiones que sea posible obtener. Por otra parte, es importante que la estructura formal del modelo presente restricciones que estén de acuerdo a la teoría económica que lo sustenta, tal es el caso de la condición de homogeneidad, muy común en la formalización de modelos econométricos que tienen como objetivo modelar funciones de producción o costos.

Las especificaciones que han sido utilizadas en la literatura para modelar funciones de costos en industrias extractivas, en general responden a la *Cobb - Douglas* y la *translogarítmica*. Las dos especificaciones tienen sus ventajas y desventajas. En la forma *Cobb - Douglas* su principal ventaja es la simplicidad y fácil interpretación de los parámetros, también es importante la baja disponibilidad de información estadística y el reducido número de parámetros a estimar. Sin embargo, su especificación permite contrastar un número limitado de hipótesis, así por ejemplo no es posible contrastar hipótesis acerca de las elasticidades cruzadas o cambio técnico relacionado a los factores.

La función *translogarítmica* permite superar las deficiencias de la *Cobb - Douglas*, además es una forma funcional más flexible. A pesar de las ventajas evidentes, presenta problemas estadísticos, como son la sobreparametrización, gran cantidad de restricciones, requiere un número alto de observaciones de manera de mantener un número adecuado de grados de libertad⁹.

En aras de la simplicidad, en este trabajo se optó por estimar una función de costos del tipo *Cobb - Douglas*. Las variables y parámetros que se utilizaron en la especificación de la

⁸ Detalles acerca de la estimación y prueba de hipótesis se encuentra en Ibáñez, 2002.

⁹ Estimaciones con esta especificación se pueden consultar en Halvorsen and Smith (1984 y 1991), Lasserre y Ouellette (1991).

función de costos fueron las siguientes¹⁰:

CT_{it}	= costo total nominal en moneda de cada año para el establecimiento i en t
CTr_{it}	= costo total real en moneda de 1998 para cada establecimiento i en t
q_{it}	= producción (miles de toneladas de fino) del establecimiento i en t
P_{it}^{CI}	= precio del consumo intermedio del establecimiento i en t
P_{it}^K	= precio del capital del establecimiento i en t
P_{it}^L	= salario medio del establecimiento i en t
t	= tiempo
α_i	= efecto individual del establecimiento i
α_q	= elasticidad costo total – producto
β_{CI}	= elasticidad costo total – precio de insumos intermedios
β_K	= elasticidad costo total – precio del capital
β_L	= elasticidad costo total – salario
δ	= tasa de cambio técnico
μ	= renta marginal
P	= precio del producto
C_q	= costo marginal en producción
ρ	= tasa de descuento
t	= período de tiempo (año)
Δ	= cambio anual

La función de costos a estimar es la especificada en (9).

$$\ln CT_{it} = \alpha_i + \alpha_q \ln q_{it} + \beta_{CI} \ln P_{it}^{CI} + \beta_K \ln P_{it}^K + \beta_L \ln P_{it}^L + \delta \cdot t \quad (9)$$

sujeto a:

$$\beta_{CI} + \beta_K + \beta_L = 1 \quad (10)$$

Los signos esperados de los parámetros a estimar son los siguientes:

¹⁰ Las características de la base datos utilizada y la metodología de construcción de las variables se desarrolla en el Anexo.

$$\alpha_q > 0; \quad \beta_{CI} > 0; \quad \beta_K > 0; \quad \beta_L > 0; \quad \delta < 0;$$

Los signos esperados muestran la respuesta que, de acuerdo a la teoría económica, debería tener la función de costos ante cambios porcentualmente marginales en cada una de las variables consideradas. Así, α_q indica la elasticidad del costo total respecto de la producción, es decir, en qué porcentaje cambian los costos ante cambios porcentualmente marginales de la producción; se espera que el valor del parámetro sea positivo indicando aumentos en los costos al aumentar la producción.

Los parámetros β_{CI} , β_K , y β_L , corresponden a las elasticidades precio – costo, e indican en qué porcentaje aumenta el costo total al aumentar cada precio de insumo en igual magnitud porcentual. La suma de los valores de estos parámetros debería ser uno, lo que significa que en la medida que todos los precios de los insumos (consumos intermedios, trabajo y capital) aumenten en una misma proporción, el costo total deberá aumentar en la misma proporción. A esta situación se le denomina *propiedad de homogeneidad* en precios y es incorporada en la estimación con la restricción dada en (10).

Finalmente, δ es un indicador del cambio técnico, e indica el impacto que en promedio tiene éste en la función de costos, el signo esperado es negativo si existe progreso técnico, es decir, se espera que el avance tecnológico disminuya los costos totales para un nivel de producción y precios dado. En caso contrario el signo será positivo.

III.2. El método de estimación.

Una primera aproximación a la estimación de los parámetros de la especificación dada por la ecuación (9), tiene que hacerse cargo de la práctica ya habitual en econometría con datos de series de tiempo, en relación al contraste de la hipótesis de *no estacionariedad* de las series. Esto es importante, dado que de ser no estacionarias las hipótesis respecto de los parámetros evaluadas por los estadísticos t y F habituales, dejan de tener validez, ya que no se cumple con el supuesto de varianza y media finita y constante que las distribuciones t de student y F suponen¹¹. El primer paso será contrastar la hipótesis de estacionariedad para cada una de las variable consideradas.

Primero son estimados modelos autorregresivos AR(1), que incluyen en un caso la tendencia temporal. Formalmente, los contrastes se realizarán en función de las siguientes especificaciones:

$$\gamma_{it} = \gamma \cdot \gamma_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

$$\gamma_{it} = \alpha + \gamma \cdot \gamma_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad (12)$$

$$\gamma_{it} = \alpha + \beta \cdot t + \gamma \cdot \gamma_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad (13)$$

Los resultados para estas regresiones son presentados en el Cuadro N°1.

¹¹ Para el contraste de no estacionariedad de las series se siguió los pasos dados en Peña, Basch y Dufey (1996).

CUADRO N°1
PRUEBA DE ESTACIONARIEDAD VARIABLES EN NIVELES DF Y DFA¹²

Variable	α	β	γ	R^2	DW	F	n
lnCT	-	-	453.95	0.83	2.09	366.46	75
lnq	-	-	280.42	0.96	1.9	2059.31	75
lnpci	2.65	-	19.91	0.84	2.25	396.55	75
lnpl	4.62	4.42	7.03	0.76	2.16	119.75	75
lnpk	3.56	3.29	14.96	0.75	1.87	111.93	75

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de esta investigación

Nota: Los valores que se presentan son los estadísticos t

Al observar los altos valores de los estadísticos t para el parámetro γ que se presentan en el Cuadro N°1, se concluye que todas las variables son no estacionarias. Como consecuencia del resultado anterior, son estimadas las siguientes regresiones con las variables dependientes en diferencias:

$$\Delta\gamma_{it} = \gamma \cdot \gamma_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad (14)$$

$$\Delta\gamma_{it} = \alpha + \gamma \cdot \gamma_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad (15)$$

$$\Delta\gamma_{it} = \alpha + \beta \cdot t + \gamma \cdot \gamma_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad (16)$$

Al observar los resultados del Cuadro N°2, se concluye que las variables de costos, producción, precio de insumos, precio del trabajo y el precio del capital son integradas de orden uno I(1), aun cuando los estadísticos t de los precios del capital y trabajo están muy cerca de ser no estacionarios. Por lo tanto, todas las variables son estacionarias en diferencias. En el caso de las variables de precio del trabajo y capital no es posible rechazar la hipótesis de no estacionariedad, a pesar de que los estadísticos t y F bajan de manera importante respecto de las regresiones realizadas con las variables en nivel como variable dependiente.

¹² Para cada variable se presenta en el Cuadro N°1 la ecuación que mejor representa la relación a estimar, esto bajo el criterio de la significancia de los parámetros.

CUADRO N°2
PRUEBA DE ESTACIONARIEDAD VARIABLES EN DIFERENCIAS DF Y DFA.

Variable	α	β	γ	R^2	DW	F	n
$\Delta \ln CT$	-	-	0.79	0.00	2.09	0.00	75
$\Delta \ln q$	-	-	2.14	-0.03	1.90	0.00	75
$\Delta \ln pci$	2.65	-	-2.84	0.09	2.25	8.06	75
$\Delta \ln pl$	4.62	4.42	-4.69	0.25	2.16	12.11	75
$\Delta \ln pk$	3.56	3.291	14.96	0.36	1.87	20.5	75

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de esta investigación.

Nota : Los valores que se presentan son los estadísticos t

Dados estos resultados, lo que corresponde es realizar la regresión de la función de costos con las variables en diferencias, asumiendo implícitamente la constancia de los parámetros en cada momento del tiempo. La reformulación del modelo, implica restar a (9) la misma ecuación con un período de rezago; formalmente el resultado es el que se indica en (17).

$$\Delta \ln CT_{it} = \alpha_q \Delta \ln q_{it} + \beta_{CI} \Delta \ln P_{it}^{CI} + \beta_k \Delta \ln P_{it}^K + \beta_L \Delta \ln P_{it}^L + \delta \quad (17)$$

donde:

$$\begin{aligned} \Delta \ln CT_{it} &= \Delta \ln CT_{it} - \Delta \ln CT_{it-1} \\ \Delta \ln q_{it} &= \Delta \ln q_{it} - \Delta \ln q_{it-1} \\ \Delta \ln P_{it}^{CI} &= \Delta \ln P_{it}^{CI} - \Delta \ln P_{it-1}^{CI} \\ \Delta \ln P_{it}^K &= \Delta \ln P_{it}^K - \Delta \ln P_{it-1}^K \\ \Delta \ln P_{it}^L &= \Delta \ln P_{it}^L - \Delta \ln P_{it-1}^L \end{aligned}$$

La interpretación de los parámetros es la misma que en la ecuación (9). Nótese que en la ecuación (17) se ha anulado la constante que capturaba características propias a cada grupo, la constante δ refleja la tasa de cambio técnico neutral de la función de costos.

A continuación se procede a determinar cuál es el mejor modelo (y método de estimación de los parámetros asociados) para explicar la relación establecida en la función de costos. En la segunda etapa, son contrastadas hipótesis respecto de la homogeneidad en precios, escala de producción y de propiedad.

IV. RESULTADOS

En el Cuadro N°3 son presentados los resultados obtenidos para los tres modelos estimados. Una primera observación indica que los valores de los parámetros estimados son muy similares, al igual que la bondad de ajuste y la suma del cuadrado de residuos; sin embargo, el estadístico F es bastante distinto entre el MEF (Modelo de Efectos Fijos) y el MCO (Mínimos Cuadrados Ordinarios), y revela una mayor significancia global de este último.

En el Cuadro N°4 son presentados los contrastes de especificación para los tres modelos estimados. El test de Hausman indica que no es posible rechazar la hipótesis de que los efectos individuales estén incorrelacionados con las variables explicativas, por lo tanto sería más adecuado considerar las estimaciones del MEA (Modelos de Efectos Aleatorios).

CUADRO N°3
RESULTADOS ECONOMÉTRICOS DE MODELOS DE EFECTOS FIJOS (MEF),
ALEATORIOS (MEA) Y MÍNIMOS CUADRADOS ORDINARIOS (MCO).

	MEF	MEA	MCO
Constante	-	-0.0072 (-0.715)	-0.0086 (-0.935)
$\Delta \ln q$	0.9746 (12.977)	1.0514 (16.441)	1.0554 (16.352)
$\Delta \ln pci$	0.7109 (37.432)	0.7084 (38.019)	0.7078 (37.152)
$\Delta \ln pk$	0.1578 (3.758)	0.1932 (5.079)	0.1958 (5.07)
$\Delta \ln pl$	0.0929 (3.276)	0.09727 (3.451)	0.0979 (3.383)
R²	0.959	0.959	0.957
F	148.0		416.91
SCR	0.2992	0.3575	0.3574

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de esta investigación.

Nota : Los valores que se presentan son los estadísticos t .

El contraste F , que permite testear la relevancia de utilizar un MEF vs MCO, indica que la adición de las variables *dummy* para capturar los efectos individuales no es significativa, por lo tanto no es posible rechazar la hipótesis de constancia de los efectos individuales.

Por último, el estadístico del multiplicador de Lagrange (ML) presenta evidencia a favor de la utilización de MCO.

CUADRO N°4
TEST DE SELECCIÓN DE MODELOS.

	MEF vs MEA	MEF vs MCO	MEA vs MCO
Test de Hausman	5.68		
Test F		1.506	
Test ML			0.02

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de esta investigación.

Nota : Los valores que se presentan son los estadísticos t .

Como conclusión de los contrastes realizados, se estima la función de costos mediante MCO, la estimación utiliza la matriz de varianza y covarianza de White de manera de corregir posibles problema de heterocedasticidad. Se estiman tres modelos, el primero (MCO1) corresponde a un modelo general, que permite evaluar la significancia de cada parámetro. El segundo (MCO2), permite contrastar la hipótesis de diferencias en las economías de escala según el nivel de producción. Y el tercero (MCO3), permite contrastar la hipótesis de diferencias en la especificación de la función de costos proveniente de la propiedad de la empresa.

Los resultados de la estimación MCO se presentan en el Cuadro N°5, los valores de los parámetros son similares en los tres modelos especificados. Los signos son los esperados y con la excepción del parámetro δ , todos los parámetros son significativos.

La hipótesis de homogeneidad en precios de los insumos no se puede rechazar estadísticamente, el valor para el estadístico F es de 0.0013. La hipótesis de economías de escala independiente del nivel de producción, tampoco puede ser rechazada, el estadístico F para esta restricción es 0.7375. Finalmente, la hipótesis conjunta de economías de escala constante y de homogeneidad en precios, no es posible de rechazar, dado que el estadístico F asume un valor de 0.4296.

La hipótesis de diferencias en economías de escala según el nivel de producción es rechazada, el estadístico t del parámetro de la variable *dummy*, no es significativo.

La hipótesis de diferencias en la función de costos debido a la propiedad, no presenta evidencia estadística, la variable *dummy* del Cuadro N°5 (MCO3) no es significativa.

CUADRO N°5
RESULTADOS ECONÓMICOS CORREGIDOS DE HETEROCEDASTICIDAD
CON INCLUSIÓN DE VARIABLE DUMMY EN LA PRODUCCIÓN.

	MCO1	MCO2	MCO3
δ	-0.0086 (-1.073)	-0.087 (-1.078)	-0.014 (-1.09)
$\Delta \ln q$	1.0554* (12.738)	1.0749* (12.95)	1.0664* (12.323)
$\Delta \ln pci$	0.7078* (37.35)	0.7036* (38.761)	0.7088* (37.229)
$\Delta \ln pk$	0.1958* (3.943)	0.1934* (3.941)	0.1974* (3.881)
$\Delta \ln pl$	0.09796* (2.439)	0.1056* (2.737)	0.09791* (2.434)
$D \Delta \ln q$	-	-0.2002 (-1.357)	-
D	-	-	0.0491 (1.298)
\bar{R}^2	0.9574	0.9577	0.9569
F	416.91	336.57	330.22
DW	2.052	2.144	2.075
SCR	0.3574	0.3494	0.3558
Breusch – Pagan	13.6832	12.4765	13.5305

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de esta investigación.

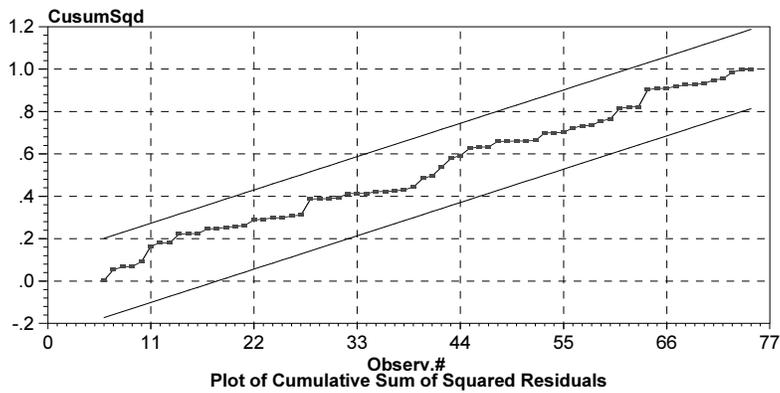
Nota : Los valores que se presentan son los estadísticos *t*.

(*) Significativa al 1%

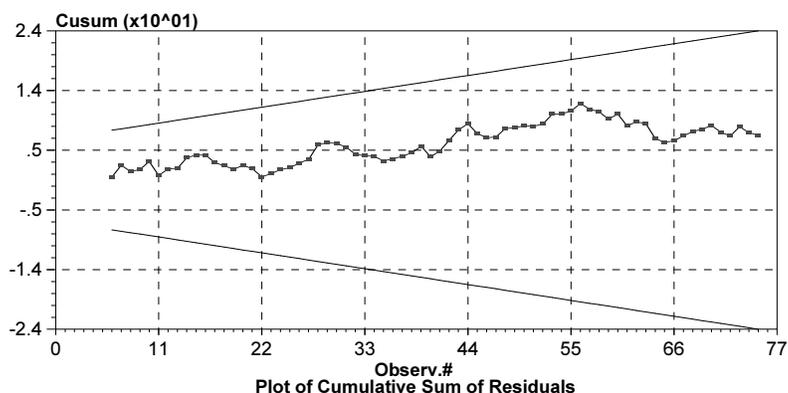
El valor del estadístico de Durbin-Watson permite descartar la presencia de autocorrelación para los tres modelos estimados. A su vez, el estadístico de Breusch – Pagan presenta evidencia de ausencia de heterocedasticidad. La ausencia de heterocedasticidad y autocorrelación, en conjunto con el rechazo a la hipótesis de no estacionariedad de la series utilizadas para cada empresa, permite tener seguridad en cuanto a que las propiedades del vector de parámetro estimado, satisfacen las características de eficiencia y consistencia, es decir, corresponden a estimadores insesgados de mínima varianza y son consistentes.

Finalmente, se contrasta la existencia de cambio estructural que pudiera afectar la estabilidad del modelo y de los parámetros estimados. Para tal efecto, se utilizan los test CUSUM y CUSUM de cuadrados. Los resultados de estos contrastes rechazan la hipótesis de cambio en los parámetros, por lo tanto los parámetros estimados son estadísticamente estables. Los diagramas para CUSUM y CUSUM de cuadrados se presentan en Gráfico N°2 y N°3.

GRÁFICO N°2
CONTRASTE CUSUM DE CUADRADOS.



**GRÁFICO N°3
CONTRASTE CUSUM.**



V. DISCUSIÓN.

V.1. Acerca de la forma de la función de costo marginal.

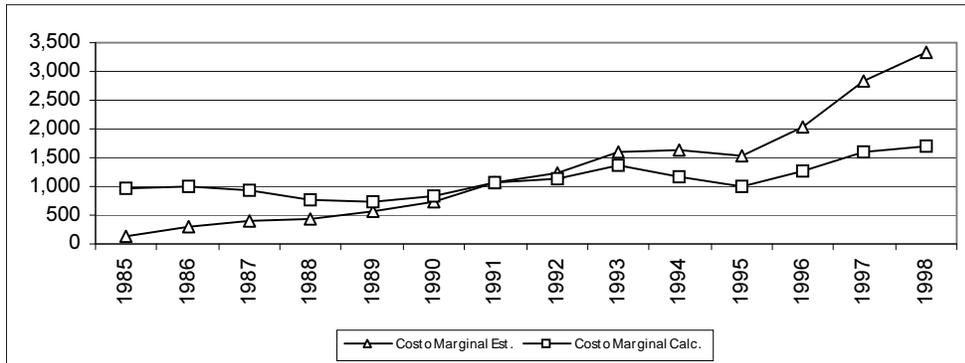
Los resultados revelan una importante diferencia respecto del modelo de referencia presentado en la sección 2. En primer lugar, la función de costo marginal que se desprende de la función estimada, no presenta la forma que habitualmente se le atribuye en los libros de texto. En efecto, en la sección anterior se presenta evidencia de que el costo marginal es independiente del nivel de producción, por lo tanto las variaciones en los costos marginales provienen sólo del efecto del cambio técnico y de los precios de los factores que enfrenta cada empresa.

En el modelo especificado, el cambio técnico está asociado al nivel de costo total que involucra un determinado volumen de producción; así, un cambio técnico ahorrador de costos se verificará si para ese mismo volumen de producción, al pasar el tiempo se requiere incurrir en menores costos.

La tasa de cambio técnico (δ) estimada mediante los modelos MCO1 y MCO2 del Cuadro N°5, toma un valor aproximado de 0.9% anual, sin embargo, no es estadísticamente significativo. La no significancia puede estar indicando que efectivamente no ha existido en el período considerado un cambio tecnológico importante. También la causa puede provenir de la forma de estimar los precios del consumo intermedio y del capital. En efecto, en la estimación utilizada, lo que se estima es, en estricto rigor, el costo medio del consumo intermedio y del capital, que depende tanto del precio de los insumos propiamente tal, como de los coeficientes de insumo – producto. Estos últimos deben capturar en alguna medida el avance tecnológico, así, cualquier disminución de éstos se puede interpretar como aumentos en la eficiencia en su uso o cambio técnico.

En el Gráfico N°4 se presenta la evolución de los costos marginales que se derivan de la función de costo total estimada y de los costos medios calculados a partir de la información base de la ENIA. Se observa una tendencia creciente, para las dos formas de calcular el costo marginal. Esta evolución confirma, en parte, la ausencia de cambio técnico ahorrador de costos.

GRÁFICO N°4
COSTO MARGINAL ESTIMADO Y CALCULADO, 1985 - 1998 (US\$ de 1998/ton).

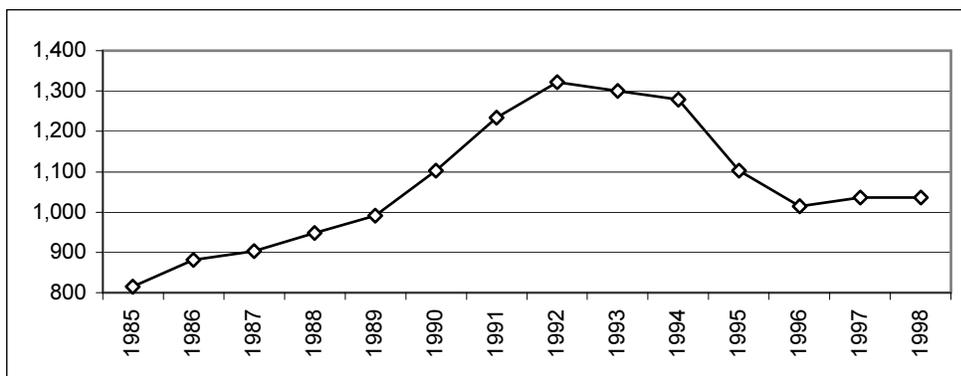


Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de esta investigación.

Además, el Gráfico N°4 permite apreciar la importante diferencia que existe entre los niveles de costos que se desprenden de la función estimada y calculada. Si se toma como referencia a los costos calculados, se puede observar que la estimación subestima los costos marginales en los primeros años que van de 1985 a 1988 y los sobreestima en el período 1994 – 1998. Así, de manera intuitiva, no formal, se puede afirmar que la función de costos estimada sólo representa una buena modelación de los costos efectivos entre los años 1989 y 1993.

En todo caso, información alternativa acerca de los costos de operación de Codelco, permite verificar que ellos aumentaron de manera importante desde 1985 hasta los primeros años de la década de los 90's, donde alcanzaron un máximo de aproximadamente 1300 US\$ por tonelada, tal como se aprecia en el Gráfico N°5.

GRÁFICO N°5
COSTO DE OPERACIÓN MEDIO DE CODELCO, 1985- 1998 (US\$ de 1998/ton).



Fuente: Elaboración propia sobre la base de Vega (1999). La información base se extrajo de Estrategia (3 de mayo 1999).

La función de costos dada por el vector de parámetros estimados, avala la hipótesis de costos constantes en la producción, esto no es trivial, en la medida que existen trabajos que tienen como objetivo calcular medidas de renta de recursos naturales, en particular del cobre, que suponen *a priori* costos crecientes en la producción, y dado que las estimaciones de renta se realizan a partir de costos medios, concluyen que los valores son menores para la renta marginal¹³, pues bien, dichas conclusiones no son consistentes con los resultados de este trabajo¹⁴. La conclusión, respecto de la magnitud de la renta que se puede hacer a partir de los resultados reportados en la sección anterior, es que los montos de renta calculados con estimaciones de costos medios, son en realidad consistentes con la tecnología de producción.

Si lo anterior es cierto, entonces el problema para cada una de las firmas, en términos de la maximización de los beneficios, cambia de naturaleza. Si se supone precios constantes, de producto y de insumos, el nivel de producción que maximiza los beneficios está dado por la máxima capacidad de producción de cada empresa. Si los beneficios dependen de la capacidad de producción, existirán incentivos para aumentarla. A su vez, la decisión respecto de aumentos de capacidad dependen, *ceteris paribus*, de las reservas disponibles, de los costos de exploración que permitan aumentar las reservas, y de las expectativas de precios, de manera de justificar inversiones en capacidad de planta.

¹³ Se supone que la curva de costo marginal es superior o está por encima de la curva de costos medios para niveles de producción relevantes.

¹⁴ Ver Gómez-Lobo (1991) en pesca; Núñez (1992) en sector forestal; Figueroa *et al.* (1994); y Figueroa *et al.* (1999) para el caso del cobre.

Desde una perspectiva comparativa con trabajos similares, los resultados presentados son interesantes dado que entregan resultados distintos de los reportados en la literatura, así, por ejemplo en Halvorsen y Smith (1991, pp. 136) se reporta un valor para la elasticidad costo-producto de -0.28 , este parámetro es negativo por la forma de especificar la función de costos de los autores, quienes estiman un función de costo medio del producto final teniendo como argumento la cantidad de mineral, por lo tanto, la interpretación del parámetro sería que ante aumentos de 1% en la cantidad de mineral extraído, el costo medio del producto final disminuye en promedio en 0.28%. En la misma dirección son los resultados de Farrow (1985, pp. 472 y 483) quien reporta un valor para la elasticidad del costo de 0.055 revelando grandes economías de escala; en Slade (1984, pp. 137) se reporta un valor de 0.321; En Ellis y Halvorsen (2001, pp. 14) se reportan rendimientos crecientes a escala promedio de 2.24.

V.2. La evolución de la renta en la minería del cobre en Chile.

En el Gráfico N°6 se presenta la evolución de la renta marginal estimada y calculada, la renta estimada muestra una tendencia decreciente prácticamente en todo el período considerado, atenuada solamente en el año 1995; a su vez la renta calculada sigue una tendencia decreciente solamente desde el año 1989, para aumentar en los años 1994 y 1995¹⁵. Los valores negativos que asume la renta estimada entre 1996 y 1998 son indicativos de problemas importantes por los que han atravesado algunas empresas de la industria. Más allá de los valores absolutos de la renta interesa destacar la tendencia, ella muestra lo que se podría llamar un proceso de creciente disipación de la renta.

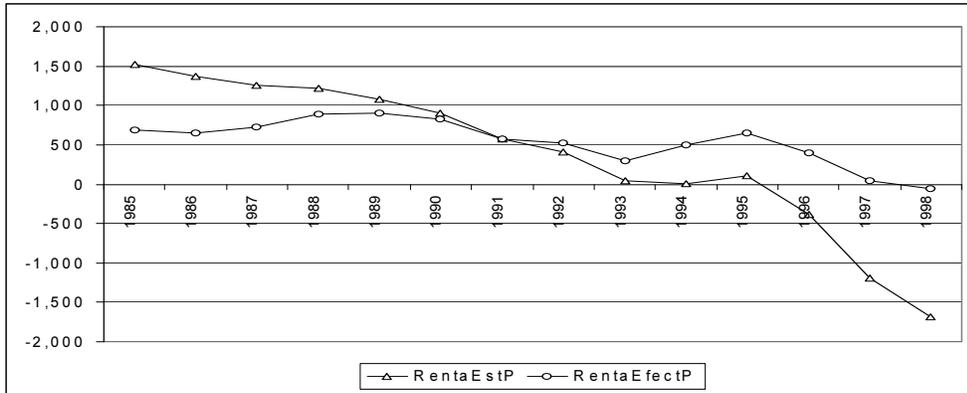
Como una forma de contrastar la tendencia decreciente con información distinta de la utilizada en este trabajo, son presentadas en el Gráfico N°7 tres estimaciones para los años 1985, 1990 y 1995, que si bien no cubren todo el período considerado en el Gráfico N°6, ayudan a validar la tendencia descrita en él.

Más allá de los niveles distintos, que se explican en parte porque las dos estimaciones realizadas a partir de la información de ENIA se considera un componente de costo de capital mientras que en RA¹⁶ no, se observa que la tendencia de la estimación alternativa es similar a la calculada con los datos fuentes de la investigación, confirmando provisionalmente lo observado en el Gráfico N°6.

¹⁵ El cálculo de la renta marginal corresponde a un promedio ponderado por el nivel de producción de cada empresa en cada año de la serie. El valor estimado se dividió por tipo de cambio promedio de cada año, de manera de expresar el valor de la renta en dólares. El precio utilizado para la estimación es el promedio del año 1998 informado por la Bolsa de Metales de Londres.

¹⁶ Se refiere a la renta estimada con información distinta a la ENIA.

GRÁFICO N°6
RENDA MARGINAL PROMEDIO EN LA MINERÍA DEL COBRE EN CHILE,
1985 – 1998 (US\$ de 1998/ton).



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de esta investigación.

Nota: RentaEstP = Renta estimada utilizando la función de costo marginal que se deriva del reemplazo de los valores de los parámetros. RentaEfectP = Renta calculada a partir de la información estadística disponible.

El proceso de disipación de la renta ha sido largamente tratado en relación a los recursos de propiedad común, en estas situaciones la disipación se produce fundamentalmente porque las empresas compiten por la extracción de un recurso compartido, donde no existe propiedad sobre él, de ninguno de los agentes que participan de la extracción, de manera tal que si no extrae uno extraerá otro, por lo tanto hay que extraer y lo más rápido posible. Finalmente, producto de la gran cantidad de agentes que entran a la industria, la productividad por empresa bajará y los costos subirán de tal modo que, dado un precio constante, la renta tenderá a disiparse. Sin embargo, en el caso de la industria del cobre radicada en Chile, la situación es distinta, la propiedad está claramente definida y resguardada legalmente por el Estado¹⁷. ¿Entonces qué hace posible una situación como la descrita en el Gráfico N°6?

¹⁷ Un análisis de la legislación minera vigente en Chile se desarrolla en Agacino *et al* (1998, pp. 31- 40), ver también Moguillansky (1998, pp. 17-19).