
FUNCIÓN DE COSTOS DE ABATIMIENTO DE EMISIONES DE SO₂ EN ENAP REFINERÍAS BIO-BIO.

RICARDO CASTRO SOTO¹

RESUMEN

En este artículo se desarrollan tres objetivos fundamentales. Primero, utilizando técnicas econométricas de series temporales y la especificación funcional propuesta por Hartman et al. (1997), se estima una función de costos de abatimiento para un contaminante generado por ENAP Refinerías Bio-Bio. En particular, se analizan dos tecnologías de proceso, Planta de Sulhidrato de Sodio y Planta de Azufre, que permiten el abatimiento de emisiones de dióxido de azufre, contaminante generado por la refinería en su proceso productivo de gasolinas y derivados del petróleo en general.

Un segundo objetivo consiste en evaluar la presencia de ineficiencias en el uso de recursos financieros. Lo anterior, podrá ser testeado evaluando la forma de la función de costes totales de abatimiento de las tecnologías. Las estimaciones realizadas utilizando un modelo de efectos fijos, indican que los costos totales decrecen a tasas crecientes, lo que nos permite concluir que a medida que los niveles de abatimiento mensual van aumentando, los costos medios de abatimiento van disminuyendo.

El tercer objetivo de ésta investigación se centra en evaluar la presencia de economías de escala en el nivel abatido de dióxido de azufre. En particular, se espera que las tecnologías presenten características de monopolio natural en el abatimiento de emisiones. Para esto se utiliza la definición de Baumol (1982), que detecta la presencia de un monopolio natural si, en el intervalo relevante de niveles de producto de la empresa, la función de costes es subaditiva.

Palabras clave: costos de abatimiento, emisiones de dióxido de azufre, monopolio natural, subaditividad.

ABSTRACT

This article has three objectives. The first is to estimate an abatement cost function for a pollutant from ENAP Refineries Bio-Bio through time series and the specification proposed by Hartman et al. (1997). In particular, two technologies are discussed: Sodium Sulphhydrate and Sulfur Plants. These technologies reduce the sulfur dioxide emissions generated by the refinery's productive processes of gasoline and oil by-products in general.

The second objective is to evaluate the presence of inefficiencies in the use of financial resources. This will be tested by analyzing the shape of the total abatement cost functions. Estimates made using a fixed effects model indicate that total costs decrease at an increasing rate. Thus, as the monthly abatement level goes up, the average abatement costs go down.

¹ Departamento de Economía, Universidad de Concepción, E-mail: rcastros@udec.cl

The third objective of this study is to evaluate the presence of economies of scale in the abated sulfur dioxide level. Specifically, the technologies are expected to show a natural monopoly in emissions abatement. For this, we use the Baumol (1982) definition that detects the presence of a natural monopoly if, in the company's relevant interval product levels, the cost function is sub-additive.

Keywords: Abatement costs, sulfur dioxide emissions, natural monopoly, sub-additivity

I. INTRODUCCIÓN.

ENAP Refinerías Bio-Bio pertenece al holding de Empresas ENAP Chile (Empresa Nacional de Petróleo). Su giro corresponde a la refinación de petróleo crudo y elaboración de gasolinas y otros derivados del petróleo crudo. Su capacidad de refinación es de 18.500 m³/día.

El presente artículo se desarrolla para cumplir los siguientes objetivos específicos. Primero, estimar las funciones de costo de abatimiento de SO₂ de dos tecnologías denominadas Planta de Azufre y Planta de Sulfhidrato de Sodio. Segundo, evaluar la presencia de ineficiencias en el uso de recursos financieros para el abatimiento de emisiones de SO₂. En tercer lugar, se quiere evaluar la presencia de economías de escala en el nivel abatido de dióxido de azufre para ambas tecnologías de proceso y establecer la presencia de un monopolio natural en el abatimiento de emisiones de dióxido de azufre.

Ambas Plantas de Proceso presentarían economías de escala en el abatimiento de emisiones de Dióxido de Azufre, entonces una sola empresa podría ser eficiente para el abatimiento. Además, las tecnologías pueden presentar características de Monopolio Natural, puesto que existirían altos costos fijos, y los costos marginales serían menores que los costos medios de abatir emisiones de Dióxido de Azufre.

Se establecerán las eficiencias en abatimiento para optimizar el uso de los recursos financieros destinados a mejoramiento ambiental, otorgando una herramienta importante en la toma de decisiones del personal Directivo, Gerencial y de Jefatura, para implementar estrategias de desarrollo ambiental en el competitivo futuro de ENAP Refinerías Bio-Bio.

La estimación de una función de costos de abatimiento de emisiones de SO₂, está basada en costos reales de operación y no en descripciones técnicas de tecnologías de abatimiento ambiental y son extraídas del sistema de información SAP utilizada en la refinería como una tecnología de información.

El presente estudio presenta una innovación importante respecto al tipo de tecnología de control de contaminación que se analiza, denominadas Tecnologías de Proceso (Producción Limpia) para el control de emisiones de SO₂, que difieren totalmente de aquellas denominadas tecnologías de abatimiento al final del tubo,

y que se refieren a equipos de control de emisiones en que se capturan los contaminantes desde el flujo de salida hacia la atmósfera y se eliminan a través de reacciones físico-químicas (filtros).

Actualmente, en Chile no existe información para desarrollar estudios empíricos en el tema, puesto que no existe control e información sobre costos de operación de tecnologías de abatimiento avanzadas. Sin embargo, la implementación de SAP en ENAP Refinerías Bio-Bio nos permite obtener datos muy específicos de plantas de proceso, que considera una serie de datos mensuales históricos, que nos permitirá analizar los costos en detalle y revisar su impacto en los niveles de emisión abatidos de SO_2 . Lo más interesante del presente estudio, es contar con una serie histórica de datos fidedignos, puesto que SAP no comete errores en sus consultas.

La totalidad de las emisiones e inmisiones de la refinería son cuantificadas continuamente por un equipo de trabajo, que cuenta con la capacitación y las herramientas de medición necesarias para monitorear la calidad ambiental del área de influencia directa de la refinería. Adicionalmente, contrata los servicios de empresas especialistas en temas ambientales como Centro EULA de la Universidad de Concepción. Todo esto es supervisado por los organismos con competencia ambiental, es decir, Servicio de Salud de Talcahuano (SST), el Departamento de Medio Ambiente de la I. Municipalidad de Talcahuano y CONAMA VIII Región del Bio-Bio.

El artículo comienza con una introducción, donde se destacan los objetivos, la justificación y una breve descripción de la empresa, destacando los contaminantes generados. Luego, se realiza una breve explicación de Monopolio Natural según la teoría económica y sus implicancias en el análisis desarrollado. Posteriormente, se muestra la metodología y los modelos econométricos propuestos, evaluando la mejor especificación funcional para representar los costos de abatimiento de la refinería, para el cual se calculan los costes marginales y medios de abatir emisiones de dióxido de azufre. Finalmente, se entregan los principales resultados de la investigación, destacando los costos marginales y medios estimados para la refinería en el abatimiento de emisiones de dióxido de azufre, lo que permite realizar las conclusiones de la investigación.

II. TEORÍA DE MONOPOLIO NATURAL.

Existe un monopolio natural cuando los costos de producción son tales, que para los demandantes del mercado es más barato que produzca una sola empresa en vez de muchas. Entonces resulta óptimo que exista una sola empresa que alcance costos más bajos. (Pereyra, 2002)

II.1. Definición de subaditividad

Se dice que la función de costos es estrictamente subaditiva si, para cualquier n de niveles de producto A_1, \dots, A_n ,

$$(1) \quad \sum_{i=1}^n C(A)_i > C\left(\sum_{i=1}^n A_i\right)$$

Entonces subaditividad, significa que es menos costoso producir conjuntamente los distintos niveles de producto que por separado.

Un monopolio natural surge de dos fuentes: economías de escala y economías de alcance. En caso que la empresa (tecnología) produzca un solo producto, el monopolio natural proviene básicamente de la existencia de economías de escala.

Se dice que existe una empresa con monopolio natural cuando la función de costos exhibe subaditividad para las cantidades demandadas, es decir, que una sola firma sea capaz de producir la cantidad demandada en el mercado, a un costo más bajo o igual al que tendrían dos o más firmas.

II.2. Definición de economías de escala (costo medio decreciente)

Tirole (1998) realiza una revisión del comportamiento de los costes en un monopolio natural. Economías de escala existen cuando los costes medios de producción decrecen a medida que el producto aumenta (condición suficiente para la existencia de un monopolio natural). Los costes medios son estrictamente decrecientes si, para todo A_1 y A_2 tales que $0 < A_1 < A_2$.

$$(2) \quad \frac{C(A_2)}{A_2} < \frac{C(A_1)}{A_1}$$

Además, los costes marginales son estrictamente decrecientes si $C''(A) < 0$ para todo A .

La principal fuente de economías de escala son los costos fijos, que corresponden a los costos en que se debe incurrir no importando la cantidad producida por la empresa.

II.3. Teorema de economías de escala y subaditividad de costos

Train (1991) propone que si $C(a)$ tiene costos medios decrecientes (tiene economías de escala) para $a \leq a_m$, entonces es subaditiva para todo $a \leq a_m$.

Sea la cantidad a producir a , tal que $a \leq a_m$ y un conjunto $\{a_i\}$, $i=1, \dots, n$, tales que

$$(3) \quad \sum_i a_i = a$$

Por ser la función de costo medio decreciente para cantidades menores que a_m :

$$(4) \quad \frac{C(a_i)}{a_i} > \frac{C(a)}{a} \text{ para todo } i$$

$$(5) \quad C(a_i) > \frac{C(a)}{a} \times a_i$$

$$(6) \quad \sum_i C(a_i) > \sum_i \left(\frac{C(a) \times a_i}{a} \right) = \left(\frac{C(a)}{a} \right) \times \sum_i a_i = C(a)$$

En resumen $\sum C(a_i) > c(a)$, para todo $a \leq a_m$ y todo conjunto $\{a_i\}$, tal que $\sum a_i = (a)$, es decir hay subaditividad.

Costes marginales (Cmg) siempre decrecientes implican costes medios siempre decrecientes, y costes medios siempre decrecientes implican subaditividad. Sin embargo, las implicaciones inversas de estas dos proposiciones, son falsas.

Esta revisión puede ser aplicada al monopolio natural descrito como hipótesis en el presente proyecto de investigación. Si se tiene una tecnología comúnmente disponible $C(A)$ para obtener un nivel de producto Baumol (1982) define una industria como un "Monopolio Natural" si, en el intervalo relevante de niveles de producto, la función de costes es subaditiva. Esta definición de Baumol es la corriente para un planificador bien informado (que conoce perfectamente la función de costes).

Entonces, el planificador no obtiene ventaja alguna teniendo varias empresas (tecnologías) abatiendo, cuando el abatimiento agregado podría conseguirlo más barato una única empresa (tecnología).

III. MÉTODOS PARA ESTIMAR FUNCIÓN DE COSTOS DE ABATIMIENTO.

La metodología a utilizar fue desarrollada en Estados Unidos por Hartman et al. (1997), se recopilaron datos de alrededor de 100 mil empresas estadounidenses, por parte del US Pollution Abatement Cost and Expenditure (PACE), y los que son usados para estimar los costos de abatimiento del sector industrial para siete contaminantes. La finalidad del estudio es estimar el costo promedio de abatir emisiones contaminantes, dada la sobreestimación de los costos de abatimiento industriales publicadas en otros artículos. Un ejemplo es el acta US Clean Air (Hamilton 1994), donde mediante el uso de modelos ingenieriles se estableció un costo por abatir una tonelada de SO_2 de US\$600, para fijar el precio de subasta de los permisos transferibles de emisiones; mientras que en la subasta de Marzo de 1996, el precio de oferta promedio fue alrededor de US\$65, un 10% del pronóstico original. En el estudio se utiliza información para el período 1979-1982, base similar en extensión a la propuesta en esta investigación (1999-2003).

A diferencia del estudio de Hartman, esta investigación se desarrolla para una empresa específica (única), y los datos utilizados nos permiten conocer y estimar la estructura de costos de dos tecnologías consideradas de proceso en el abatimiento de emisiones de un solo contaminante (SO₂). La función de costos de abatimiento de emisiones de dióxido de azufre es una función que establece la relación de los costos operacionales y de reparación de plantas de proceso ambientales, y los niveles de abatimiento (Ton) de SO₂.

Esta función es elaborada con una serie histórica mensual donde, con técnicas de econometría de series temporales, es posible estimar los costos marginales y medio de abatir emisiones lo que permite tomar decisiones estratégicas con respecto al uso de recursos financieros.

El modelo de regresión tiene una especificación cuadrática que permite testear posibles economías de escala en abatimiento de emisiones de SO₂. Las economías a escala se pueden aplicar a algunos procesos de abatimiento, en donde, ante aumentos en los volúmenes tratados de SO₂, disminuyen los costos marginales y medios de abatir. A continuación se presentan las tres especificaciones (modelos) desarrollados en la presente investigación:

III.1. Modelo de Costes Separados

La estimación del modelo básico considera la estimación de funciones de costes de abatimiento separadas para las Plantas Nals y de Azufre, que sumadas entregan los costes totales de la Refinería Bio-Bio en el abatimiento de emisiones.

Este modelo de regresión es especificado como ecuación 7 a continuación:

$$(7) \quad C_{i,t} = \beta_{0,i} + \beta_{1,i} T_{i,t} + \beta_{2,i} A_{i,t} + \beta_{3,i} A_{i,t}^2 + \beta_{4,i} V_{estac,i,t} + \varepsilon_t$$

donde:

$C_{i,t}$ = Costo total de abatir emisiones de SO₂ por tecnología de proceso i.

$\beta_{0,i}$ = Costo fijo mensual de abatir emisiones de SO₂ por tecnología de proceso i.

$T_{i,t}$ = Variable de tendencia planta i (T=1,...,60)

$A_{i,t}$ = Cantidad de contaminante Dióxido de Azufre (SO₂) abatido por planta de proceso i, en toneladas.

$V_{estac,i,t}$ = Variable dummy estacionaria planta i, toma valor 1 en primer semestre y 0 en el segundo semestre del año.

ε_t = Término de error aleatorio.

En la expresión (7) es posible observar la especificación ampliada del modelo propuesto por Hartman. Donde establece una variable independiente $A_{i,t}^2$ para evaluar posibles no linealidades en la función de costos de abatimiento mensual en cada una de las tecnologías investigadas; testeando economías de escala en el proceso de abatimiento. La ampliación del modelo la encontramos en

las variables $T_{i,t}$ como una variable Proxy de la influencia del progreso tecnológico; mientras que una segunda variable denominada $V_{estac,i,t}$ pretende establecer la presencia de estacionalidades semestrales en los costos de abatimiento, dado que es conocido que la producción de combustibles durante el segundo semestre del año es mayor, para abastecer la mayor demanda de derivados del petróleo a comienzos del año siguiente.

Es posible separar la función de costos en abatimiento, de la función de costos de producción de la refinería. Esto puesto que la refinería cuenta con un número amplio de plantas o tecnologías, que administrativamente reconoce como de Producción y Ambientales (plantas de proceso), por lo que separa contablemente sus costos operacionales, a través de tecnologías de información como SAP, creando para ello centros de costos. Cada centro de costo contabilizará sus movimientos operacionales y su significancia o valor contable diariamente, pudiendo recuperar la información posteriormente con un nivel de detalle anual, mensual e incluso diario.

Se estima para las dos tecnologías existentes en la refinería y para un único contaminante, el Dióxido de Azufre. El término de error se asume $E(\varepsilon_t) = 0$; $E(\varepsilon_t, \varepsilon_j) = 0$ y $Var(\varepsilon_t) = \sigma^2$. El modelo especificado utiliza un método simple para determinar los costos marginales y medio, dados como:

$$(8) \quad CM_t = \beta_{2,i} + 2\beta_{3,i}A_{i,t}$$

$$(9) \quad CFMe_t = \beta_{0,i} / A_t$$

$$(10) \quad CMe_t = (\beta_{0,i} + \beta_{1,i}T_{i,t} + \beta_{2,i}A_{i,t} + \beta_{3,i}A_{i,t}^2 + \beta_{4,i}V_{estac,i,t}) / A_t$$

El conjunto de datos proporciona las observaciones de $C_{i,t}$ y $A_{i,t}$ para una muestra mensual de 5 años para dos plantas de proceso ($i=1,2$) dentro de la refinería. Se expresan los costos reales en pesos; los volúmenes están en toneladas.

Las ecuaciones (8) y (9) son extraídas de la ecuación (7) y corresponden respectivamente al Costo Marginal de Abatir y al Costo Fijo Medio de Abatir. La ecuación (10) se establece con la ecuación (7) dividida por el abatimiento total de las Plantas.

III.2. Modelo Datos de Panel

El modelo con datos de panel puede mejorar los parámetros estimados, mejorando la bondad de ajuste del modelo. El modelo permite testear la presencia de un monopolio natural en el abatimiento de emisiones y demostrar que es más eficiente que una sola empresa abata los niveles de emisión de un Sector Industrial. Un ejemplo, sería que el regulador estableciera un nivel de emisión objetivo para el sector industrial de Hualpén, donde participan empresas

industriales; entonces, es eficiente que sólo la empresa ENAP Refinerías Bio-Bio logre reducir sus emisiones y alcanzar los niveles objetivos del regulador.

El modelo de datos de panel permite estimar una función de costes de abatimiento, considerando las muestras particulares de las dos plantas de proceso y unificar sus observaciones registradas entre enero del año 1999 y diciembre del 2003. Es posible estimar con mínimos cuadrados ordinarios si se consideran las plantas en conjunto, pero en este caso se utiliza una muestra mayor con la cual se obtiene una especificación de la función, que se describe a continuación:

$$(11) \quad C_t = \beta_0 + \beta_1 T_t + \beta_2 A_t + \beta_3 A_t^2 + \beta_4 V_{estac,t} + \varepsilon_t, \text{ donde:}$$

C_t = Costo total de abatir emisiones de SO₂ en ENAP Refinerías Bio-Bio, expresado en pesos mensuales.

β_0 = Costo fijo mensual de abatir emisiones de SO₂.

T_t = Variable de tendencia en meses (trend).

A_t = Nivel abatido de emisiones de SO₂ por Plantas de Proceso.

$V_{estac,t}$ = Variable dummy estacionaria planta i, toma valor 1 en primer semestre y 0 en el segundo semestre del año.

ε_t = Término de error aleatorio.

III.3. Modelo de Efectos Fijos

El modelo de efectos fijos de Greene (1999) considera estimar una función de costes abatimiento, considerando las observaciones de ambas plantas al momento de realizar la estimación con mínimos cuadrados ordinarios, pero asumiendo que existen dos componentes del costo que son fijos, que en el presente caso, corresponderán a los costos fijos de las Plantas de Nahs y de Azufre por separado.

$$(12) \quad C_t = \sum_{i=1}^n \beta_{0,i} + \beta_1 T_t + \beta_2 A_t + \beta_3 A_t^2 + \beta_4 V_{estac,t} + \varepsilon_t \quad ; i=1,2$$

donde:

C_t = Costo total mensual de abatir emisiones de SO₂ por Plantas de Proceso en ENAP Refinerías Bio-Bio, expresado en pesos.

$\beta_{0,i}$ = Costo fijo mensual por abatimiento de emisiones de SO₂. Donde i igual a 1 y 2, representa a las Plantas de Nahs y Azufre respectivamente.

T_t = Variable de tendencia mensual.

A_t = Nivel abatido de emisiones de SO₂ por Plantas de Proceso ENAP Refinería Bio-Bio, expresado en toneladas.

$V_{estac,t}$ = Variable dummy estacionaria planta i , toma valor 1 en primer semestre y 0 en el segundo semestre del año.

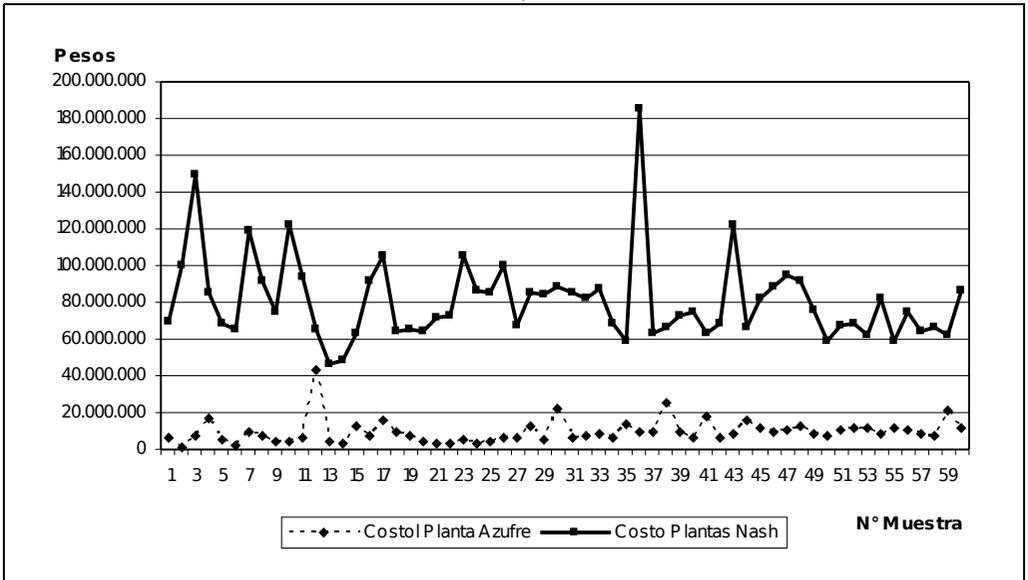
ϵ_t = Término de error aleatorio.

IV. DATOS

Los datos son extraídos como muestras mensuales desde el mes de enero de 1999 y hasta diciembre de 2003 y corresponden a costos contables. Uno de los grandes aportes de esta investigación, es que se utiliza información real del funcionamiento de este tipo de tecnologías y, además, es posible analizar cada uno de los componentes del costo, ya que la base de datos entrega el detalle por clase de costo.

En un análisis preliminar podemos observar (ver Figura N°1) que la planta de Sulhidrato de Sodio genera un mayor costo mensual a la refinería de petróleo, mientras que la Planta de Azufre es considerablemente menos costosa. En el año 2001 se observa un importante incremento en los costos de la Planta Nahs, que corresponden a costos de reparaciones realizadas en la Planta durante los meses de febrero y diciembre.

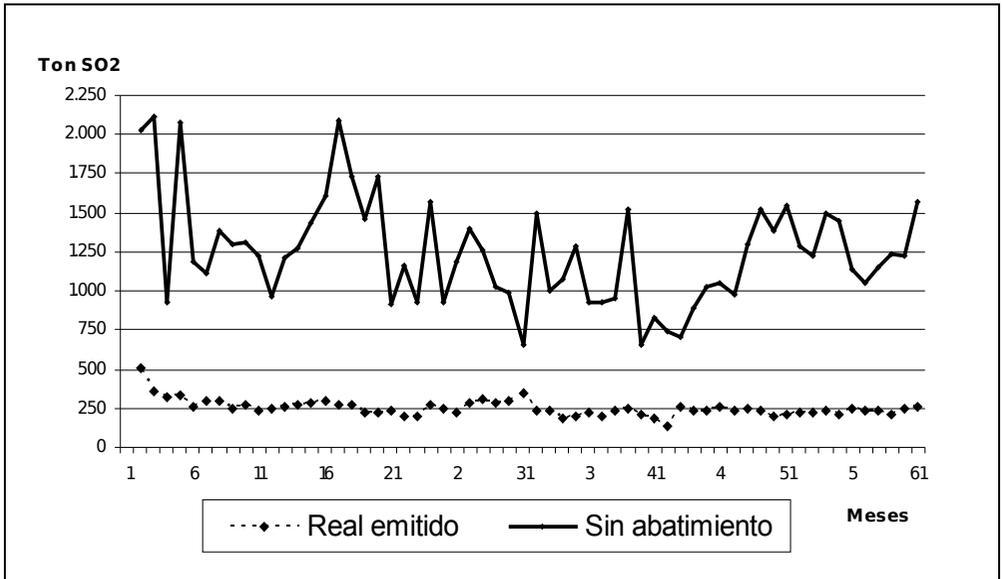
FIGURA N°1
COSTOS DE ABATIMIENTO DE SO₂, ENERO 1999 – DICIEMBRE 2003.



Fuente: Elaboración propia con Base de datos SAP ENAP Refinería Bio-Bio.

Las emisiones de SO₂ en Refinerías Bio-Bio son monitoreadas diariamente, lo que permite determinar los niveles abatidos por las tecnologías de proceso en funcionamiento. La línea negra continua de la figura 2 nos indica las emisiones de SO₂ a la atmósfera, medidas en toneladas, las que son abatidas por las plantas de sulfhidrato de sodio y la planta de azufre. La figura 2 muestra la evolución de las emisiones de dióxido de azufre desde enero de 1999 a diciembre de 2003. La línea negra continua indica los niveles de emisión presentes en el proceso productivo, y serían las emisiones reales en caso de no existir las tecnologías para abatir emisiones de este tipo. La línea negra discontinua indica los niveles reales de emisión de la empresa, por lo que la distancia entre ambas líneas denota el nivel abatido de dióxido de azufre en toneladas.

FIGURA N°2
EMISIONES DE SO₂ EN ENAP REFINERÍAS BIO-BIO, ENERO 1999 –
DICIEMBRE 2003.



Fuente: Elaboración propia con base a datos entregados por Departamento de Producción ENAP Refinerías Bio-Bio. Los datos de abatimiento de SO₂ son calculados con las emisiones promedio (Ton/día), la producción de ambas plantas (Ton. Base seca) de Nahs y Azufre elemental y el peso en Kmoles de Nahs y Azufre.²

V. RESULTADOS.

² Metodología desarrollada por Ricardo Soto, Ingeniero Civil Químico, Depto. Medio Ambiente ENAP Refinería Bio-Bio.

Los costes de abatimiento nominales son deflactados a diciembre de 2003, según el índice de precios al por mayor (IPM)³.

V.1. Modelo de Costes Separados.

Este modelo plantea una estimación de la función de costes de abatimiento de la planta de proceso Sulfhidrato de Sodio (Nahs), utilizando información mensual de costes en el periodo comprendido entre el año 1999 y diciembre de 2003.

La tabla 1 muestra los resultados de las estimaciones econométricas. Para obtener estos datos, se utilizó el software eviews 3.1, en el cual, a través de mínimos cuadrados ordinarios, se estimaron los parámetros del modelo, resaltando la alta significancia estadística del término constante, con un t-student de 5,19 y con una probabilidad de 0%, por lo que se rechaza la hipótesis nula de que la constante sea en promedio igual a cero. La variable $Abat^2$ es poco significativa en este modelo, indicando la posibilidad de que la función de costes de la planta Nahs no obedezca a un polinomio de grado 2.

Esta especificación presenta una bondad de ajuste (R^2) de 0,31; que indica que el modelo explica en un 31,7% las variaciones de la variable dependiente Costo Total. La estimación de la función de costes de abatimiento de la planta Nahs no presenta autocorrelación, con un estadístico Durbin Watson de 2,02.

TABLA N°1.
ESTIMACIÓN FUNCIÓN DE COSTO TOTAL PLANTA NAHS, SIN EXCLUIR
OUTLIERS EN COSTOS.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Constante	210.000.000	38.687.566	5,1919	0,0000
Trend	-1.511.466	521.221,6	-2,8999	0,0054
Abat	186.866,2	150.730,5	1,2397	0,2203
$Abat^2$	-99,9725	173,2	-0,5771	0,5662
Vestac	-22.552.915	15.930.061	-1,4157	0,1625

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla N°2 muestra una segunda estimación realizada para representar los costos totales de la Planta Nahs, pero excluyendo los dos outliers presentes en los niveles de costos mensuales (febrero y diciembre de 2001) y que corresponden a reparaciones y mantenciones realizadas en la planta. Por esto se estima con 58 muestras, obteniendo nuevamente una alta significancia del componente constante y de la variable Trend (tendencia), lo que revela la mayor experiencia en el uso de la tecnología, impactando negativamente al costo total. Sin embargo, la estimación indica una baja significancia estadística a las variables

³ Banco Central de Chile, según base de datos IPM de productos nacionales e industriales por origen y por sectores.

Abat y Abat², por lo que es necesario mejorar la especificación del modelo de costos totales. Igualmente, la variable estacionaria Vestac es significativa según t-student de 5,02; lo que indica que en el primer semestre los costos totales mensuales son menores. La bondad de ajuste del modelo es mayor al excluir los outliers de la muestra, tomando un R² de 0,49; que indica que el 49% de las variaciones de la variable dependiente son explicadas por el modelo. El valor del Durwin-Watson es de 1,63; lo que indica que no existe autocorrelación.

TABLA N°2
ESTIMACIÓN FUNCIÓN DE COSTO TOTAL PLANTA NAHS, EXCLUYENDO
OUTLIERS EN COSTOS.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Constante	234.000.000	26.299.503	8,9058	0.0000
Trend	-1.845.149	367.631,80	-5,0190	0.0000
Abat	19.504,49	102.407,40	0,1905	0.8497
Abat ²	60,2587	116,932	0,5153	0.6085
Vestac	-24.306.919	10.791.683	-2,2524	0.0285

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3 se muestran los parámetros que componen la función de costos de abatimiento de la Planta de Azufre, sin excluir los outliers presentes en la muestra. Se concluye que la totalidad de las variables no son significativas a partir de la muestra de relaciones entre costos y niveles de abatimientos. La bondad de ajuste del modelo es baja, con un R² de 0,07; por lo que la especificación no puede ser considerada al estimar los costos mensuales. El valor del índice Durbin-Watson indica que no existe autocorrelación, presentando un valor de 2,21.

TABLA N°3
ESTIMACIÓN FUNCIÓN DE COSTO TOTAL PLANTA AZUFRE, SIN EXCLUIR
OUTLIERS EN COSTOS.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Constante	24.338.318	18.683.195	1,3027	0,1985
Trend	-66.544,89	186.229,30	-0,3573	0,7223
Abat	6.181,76	51.472,44	0,1201	0,9049
Abat ²	-7,5253	37,1583	-0,2025	0,8403
Vestac	707.472,80	6.249.874	0,1132	0,9103

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 4 estima la función de costos de abatimiento de la Planta de Azufre, excluyendo el outlier presente en la muestra (diciembre de 1999), por

mantenciones realizadas en la planta. Sin embargo, las estimaciones continúan indicando que las variables Constante, Trend, Abat y Abat², son no significativas, razón por la que se debe mejorar la especificación del modelo, o la técnica de estimación. La variable V_{estac} es significativa con un t-student de 2,4; por lo que se rechaza la hipótesis nula de que el parámetro de la variable sea en promedio igual a cero. El R^2 del modelo estimado con mínimos cuadrados ordinarios es 0,12; que en comparación con el anterior, presenta una mayor bondad de ajuste. El índice de Durwin-Watson de 2,2 indica que no existe autocorrelación.

TABLA N°4
ESTIMACIÓN FUNCIÓN DE COSTO TOTAL PLANTA AZUFRE, EXCLUYENDO
OUTLIERS EN COSTOS.

Variable	Coefficient	Std.Error	t-Statistic	Prob.
Constante	14.754.132	10.505.301	1,4044	0,1664
Trend	106.579	106.948,50	0,9965	0,3238
Abat	-623,1695	29.008,80	-0,0215	0,9829
Abat ²	-2,1557	21,0288	-0,1025	0,9188
Vestac	8.598.280	3.573.414	2,4062	0,0199

Fuente: Elaboración propia.

V.2. Modelo Datos de Panel.

El modelo con datos de panel es estimado con una muestra de 116 observaciones mensuales para ambas plantas, con información de costos totales y niveles abatidos de dióxido de azufre. La Tabla N°5 indica los coeficientes estimados mediante el método mínimos cuadrados ordinarios, sin excluir los outliers en costos de las plantas de sulfhidrato de sodio y de azufre. Las variables Constante y Trend son significativas con un t-student de 6,2 y 2,8, respectivamente. La variable Abat tiene un t-student de 1,7; por lo que debe considerarse en el modelo, con un 9% de probabilidad de error al rechazar la hipótesis nula de que el parámetro es en promedio igual a cero. La especificación presenta una bondad de ajuste baja, con un R^2 de 0,23; y un índice Durwin-Watson de 0,91, por lo que existe autocorrelación positiva.

La Tabla N°6 muestra los resultados de la estimación de datos de panel con mínimos cuadrados ordinarios, excluyendo los outliers en costos que presentan ambas tecnologías de abatimiento. Las variables Constante, Trend y Abat son significativas con una baja probabilidad de aceptar la hipótesis nula, que indica que el coeficiente de las variables sean cero. El R^2 es de 0,27 que indica una baja bondad de ajuste, pero que es mayor que al incluir los outliers de la muestra. Además el índice Durwin-Watson confirma la presencia de autocorrelación positiva, con un valor de 0,66.

TABLA N°5
ESTIMACIÓN FUNCIÓN DE COSTO TOTAL, SIN EXCLUIR OUTLIERS EN COSTOS.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Constante	241.000.000	38.791.278	6.213.306	0,0000
Trend	-1.488.502	518176,4	-2.872.578	0,0049
Abat	-195.134,90	115847,6	-1,6844	0,0949
Abat ²	24,6777	96,1191	0,2567	0,7979
Vestac	-2.227.720	16.750.681	-0,1330	0,8944

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N°6
ESTIMACIÓN FUNCIÓN DE COSTO TOTAL, EXCLUYENDO OUTLIERS EN COSTOS.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Constante	247.000.000	34.444.068	7,1718	0,0000
Trend	-1.589.581	477.479,80	-3,3291	0,0012
Abat	-246959,6	103.195,90	-2,3931	0,0184
Abat ²	73,3054	85,7136	0,8552	0,3943
Vestac	-3.056.087	15.066.553	-0,2028	0,8396

Fuente: Elaboración propia.

V.3. Modelo de Efectos Fijos.

El modelo de efectos fijos es una especificación que permite utilizar las muestras de ambas tecnologías para describir el comportamiento de las variables independientes y su relación con el costo total de abatir. Sin embargo, es posible lograr una mejor estimación si los componentes constantes de ambas tecnologías son considerados en forma separada, tomando en consideración su alta significancia en el modelo de costos separados. Así, se tiene que las variables Constante Nahs, Trend, Abat y Abat² tienen significancia estadística; tal como indica la tabla 7, donde se muestran las estimaciones mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios, de la función de costo total mensual de la refinería. Los resultados indican que el modelo especificado tiene una mejor bondad de ajuste, con un valor de R² igual a 0,78; que establece que las variables incluidas en el modelo explican el 78% de las variaciones en el costo total mensual en abatimiento de dióxido de azufre de la refinería. Además el valor del índice Darwin-Watson es 1,85, por lo que no existe autocorrelación.

TABLA N°7

ESTIMACIÓN FUNCIÓN DE COSTO TOTAL, SIN EXCLUIR OUTLIERS EN COSTOS.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Constante Nahs	180.000.000	21.391.367	8,41673	0,0000
Constante Azu	-4.729.772	25.889.382	-0,18269	0,8554
Trend	-873.168,1	283.871	-3,07593	0,0026
Abat	174.078,5	66844,91	2,60421	0,0105
Abat ²	-114,5717	52,88281	-2,16652	0,0324
Vestac	-7.744.664	9.101.493	-0,85092	0,3967

Fuente: Elaboración propia.

Al excluir los outliers (ver tabla 8), presentes en las muestras de las Plantas de Sulfhidrato de Sodio y de Azufre, tenemos una bondad de ajuste del modelo mayor, con un R^2 de 0,85. Sin embargo, la variable Abat² disminuye su significancia estadística en el modelo al bajar su t-student a 1,7. La variable V_{estac} sigue siendo poco significativa, por lo que se confirma que la estacionalidad semestral no se presenta en este tipo de tecnologías. Esto se debe principalmente a que la producción de ambas plantas no está sujeta a una programación que busque rentabilizar la operación, sino que más bien obedece a cumplimiento de regulaciones impuestas por la autoridad. Igualmente, la variable Constante Azu es poco significativa con un t-student de 0,6. No obstante lo anterior, el modelo excluyendo los outliers presenta autocorrelación negativa con un índice Darwin-Watson de 1,18; por lo que en definitiva el modelo anterior será estadísticamente mejor.

TABLA N°8 ESTIMACIÓN FUNCIÓN DE COSTO TOTAL, EXCLUYENDO OUTLIERS EN COSTOS.

Variables	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Constante Nahs	186.000.000	15.698.140	1,1865	0,0000
Constante Azu	11.498.324	19.141.400	0,6007	0,5493
Trend	-923235,4	216.196,70	-4,2703	0,0000
Abat	109596,1	49.292,79	2,2234	0,0283
Abat ²	-66,2780	38,9642	-1,7010	0,0918
Vestac	-6.498.672	6.748.490	-0,9630	0,3377

Fuente: Elaboración propia.

V.4. Elección del Modelo.

Los tres modelos estimados, conforman el set de estimaciones realizadas en la investigación. Sin embargo, mediante Test econométrico (Greene, 1999), podemos definir cual de estos será el que presente la mejor especificación

funcional, dadas las observaciones de costes que se tienen para la Planta de Sulfhidrato de Sodio y la de Azufre.

Podemos estimar el modelo no restringido por mínimos cuadrados ordinarios, obteniendo el vector de estimaciones β_S y el vector de residuos U_S . Por otro lado, estimamos el modelo restringido, obteniendo el vector de estimaciones β_R y su correspondiente vector de residuos U_R .

El estadístico F para contrastar la restricción de que los coeficientes en las dos ecuaciones son los mismos es:

$$(13) \quad F(m, T-K) = \frac{(RSS_0 - RSS_1)/m}{RSS_1/(T-K)}$$

RSS_0 = La suma de residuos al cuadrado del modelo restringido.

RSS_1 = La suma de residuos al cuadrado del modelo sin restringir.

T= Número de observaciones

K= Número de variables modelo sin restringir

Aunque la suma de residuos al cuadrado del modelo restringido siempre va a ser mayor que la del modelo sin restringir, si la restricción lineal de los coeficientes de regresión es cierta, es de esperar que las sumas de cuadrados RSS_0 y RSS_1 , no difieran mucho, y el estadístico tome un valor pequeño. Por lo tanto, rechazaremos la H_0 con un nivel de significación α cuando el estadístico tome valores mayores que la ordenada $F_\alpha(m, T-K)$. Al respecto, la hipótesis a contrastar se presenta a continuación:

$H_0: \beta_S - \beta_R = 0$

$H_1: \beta_S - \beta_R \neq 0$

Se contrastan las diferentes especificaciones funcionales y se determina el mejor modelo para la Función de Costes de Abatimiento de la Refinería, en el siguiente orden de comparación de modelos:

(a) Modelo 1 (Costes separados) V/S Modelo 2 (Estimación datos de panel)

(b) Modelo 2 (Estimación datos de panel) V/S Modelo 3 (Efectos fijos)

(c) Modelo 1 (Costes separados) V/S Modelo 3 (Efectos fijos)

La Tabla N°9 presenta los resultados del test de contraste de modelos. En todos los casos, el estadístico indica que se rechaza la hipótesis nula de que los parámetros de los modelos sean en promedio similares, por lo que no es posible estimar un modelo que agrupe ambas tecnologías. Sin embargo, en el último contraste realizado entre los modelos de costes separados y el de efectos fijos apenas se rechaza la hipótesis nula ($3,6 > 3,54$), lo que nos obliga a utilizar estadísticos complementarios para comparar ambos modelos.

TABLA N°9

RESULTADO TEST F COMPARATIVO DE MODELOS.

Test comparativo	F Calculado	Valor Critico 5%	Valor Critico	Criterio
			1%	
Modelo 1 v/s Modelo2	79,985	2,32	3,23	Se rechaza H0
Modelo 2 v/s Modelo 3	266,892	3,92	6,85	Se rechaza H0
Modelo 1 v/s Modelo 3	3,666	2,47	3,54	Se rechaza H0

Fuente: Elaboración propia.

Los estadísticos complementarios seleccionados se indican en la tabla 10, donde se contrastan los valores para los modelos de costes separados y de efectos fijos. El modelo de efectos fijos tiene una bondad de ajuste (R^2) de 0,78, que indica que el 78% de las variaciones de la variable explicativa son explicadas por variaciones de las variables contenidas en el modelo. Sin embargo, el modelo de costes separados a través de las funciones de costos de la Planta Nahs y de Azufre, presentan un bajo R^2 por lo que la especificación de efectos fijos explica mejor las variaciones de los costos totales de abatimiento de la refinería. Además, los criterios de Akaike y Schwarz son similares en todas las especificaciones o modelos, por lo que no puede ser utilizado como estadístico diferenciador. Los dos modelos no presentan autocorrelación, tal como se puede ver en la tabla 10, el estadístico de Durbin-Watson es cercano a 2 en todos los casos.

TABLA N°10

TEST ESTADÍSTICO MODELO DE EFECTOS FIJOS V/S MODELO COSTES SEPARADOS.

Estadístico	Efectos Fijos	Costes Separados	
		Nahs	Azufre
R^2	0,78	0,32	0,006
Akaike info criterion	38,25	38,72	36,77
Schwarz criterion	38,39	38,89	36,95
Durbin-Watson stat	1,85	2,02	2,21

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 11 muestra la significancia estadística de las variables, a través del estadístico t-student. En el caso del modelo de costes separados, las funciones de costo de las Planta Nahs y Azufre presentan variables con una baja significancia estadística, salvo las variables constante de Nahs y la variable Trend de tendencia. El modelo de efectos fijos indica que las variables constante Nahs, Trend, Abat y $Abat^2$ tienen significancia estadística, por lo que se rechaza la hipótesis nula de

que los parámetros en promedio no son distintos de cero. En el modelo de efectos fijos sólo las variables constante Azufre y Vestac (variable estacionaria semestral) son no significativas, pero que igualmente son incluidas en el modelo de estimación de costes medios y marginales.

TABLA N°11
TEST T-STUDENT MODELO DE EFECTOS FIJOS V/S MODELO COSTES SEPARADOS.

Significancia Variables	Efectos Fijos	Costes Separados	
		Nahs	Azufre
Constante Nahs	8,42	5,19	-
Constante Azufre	-0,18	-	1,3
Trend	-3,08	-2,89	-0,36
Abat	2,6	1,24	0,12
Abat ²	-2,17	-0,58	-0,2
Vestac	-0,85	-1,42	0,11

Fuente: Elaboración propia.

El modelo de efectos fijos resulta tener la mejor especificación dados los estadísticos analizados anteriormente, contrastados con el modelo de costos separados. Un segundo esfuerzo por confirmar al modelo de efectos fijos como la mejor especificación, se presenta en la tabla 12, donde a través de test de White (Wooldridge, 2000) se evalúa la presencia de heterocedasticidad. La variable dependiente en este test es los residuos de la estimación al cuadrado, que son regresionados con variables independientes de interés, con una muestra de 116 observaciones mensuales y mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios. El valor del estadístico es 1,61; mientras que el valor crítico de la distribución chi-cuadrado con 6 grados de libertad es 16,81 y 12,59 para un nivel de significancia del 99% y 95%, respectivamente; por lo que no se rechaza la hipótesis nula que indica No Heterocedasticidad en el test de White. Además, las variables Abat y Abat² son no significativas, por lo que no explican variaciones en la variable dependiente Resid². La bondad de ajuste del modelo presenta un R² de 0.08 que indica que las variables independientes explican en un 8% las variaciones de la variable dependiente, por lo que se tiene una baja bondad de ajuste. En conclusión, se puede afirmar que el modelo de efectos fijos no presenta heterocedasticidad, por lo que es preferible para representar los costos totales de abatimiento de Enap Refinería Bio-Bio.

TABLA N°12
TEST DE WHITE MODELO DE EFECTOS FIJOS.

F-statistic	1.611824	Probability	0.150625
-------------	----------	-------------	----------

Obs*R-squared	9.453281	Probability		0.149645
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-5.51E+15	4.07E+15	-1.352742	0.1789
Constante	4.00E+15	1.67E+15	2.400991	0.0180
Nahs				
Trend	1.41E+14	1.61E+14	0.876409	0.3827
Trend^2	-2.66E+12	2.63E+12	-1.011000	0.3143
ABAT	1.63E+13	9.85E+12	1.648982	0.1020
ABAT^2	-1.16E+10	7.87E+09	-1.477873	0.1423
Vestac	5.41E+14	1.33E+15	0.406180	0.6854

Fuente: Elaboración propia.

La variable considerada para determinar estacionalidad en los costos de abatimiento de la refinería, que evalúa el efecto de la mayor demanda por combustibles en la época de verano, no es significativa en el modelo de efectos fijos, pero dada su relevancia en la definición del modelo es posible igualmente considerarla dentro de la especificación funcional.

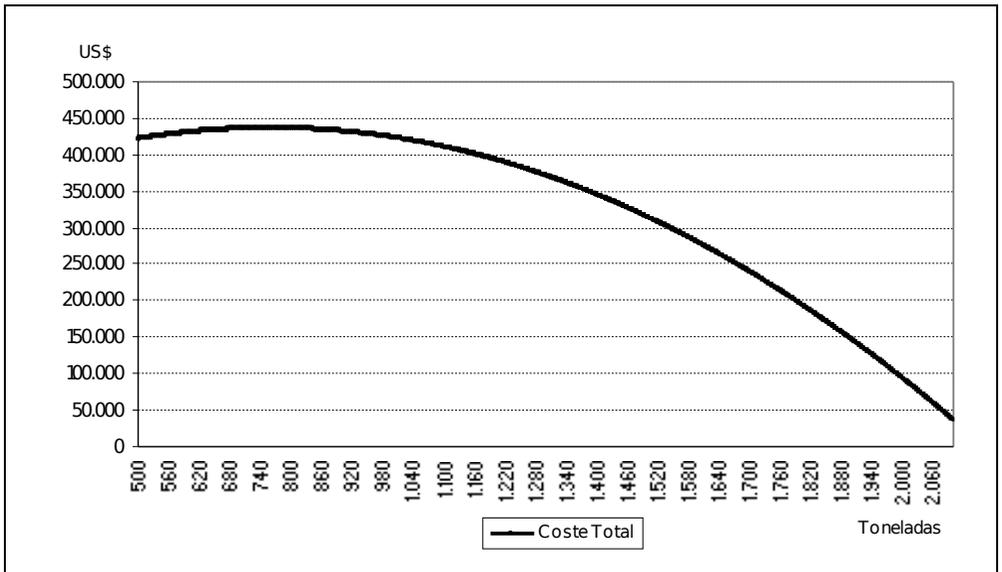
V.5. Costes Totales, medios y marginales de abatimiento de SO₂.

Las representaciones de costos medios y marginales que a continuación se detallan, son estimadas con el mejor modelo de costos de abatimiento y que corresponde al modelo de efectos fijos representado anteriormente.

La función de costos totales representada en la figura 3, decrece a tasa creciente. Esto nos permite interpretar que a medida que los niveles de abatimiento mensual van aumentando en la refinería, los costos totales mensuales van disminuyendo, al igual que los costes medios y marginales. Es importante destacar que nos interesa el intervalo relevante de niveles de producción de las tecnologías utilizadas en la refinería, puesto que de lo contrario, la variable dependiente tomaría valores negativos.

Los costes medios y marginales de abatir emisiones de SO₂ en la refinería (ver figura 4), indican que existe una tecnología de monopolio natural, por lo que es eficiente que las plantas de proceso funcionen a su máxima capacidad, puesto que ante un mayor nivel abatido los costes medios disminuyen significativamente. Sin embargo, esto podría ser ineficiente para la refinería por el alto costo de abatir una tonelada de SO₂ de la Planta Nahs, comparado con la segunda tecnología de proceso llamada Planta de Azufre, que actualmente posee una capacidad ociosa, siendo esto último testado en la investigación (ver resultados Tabla N°3).

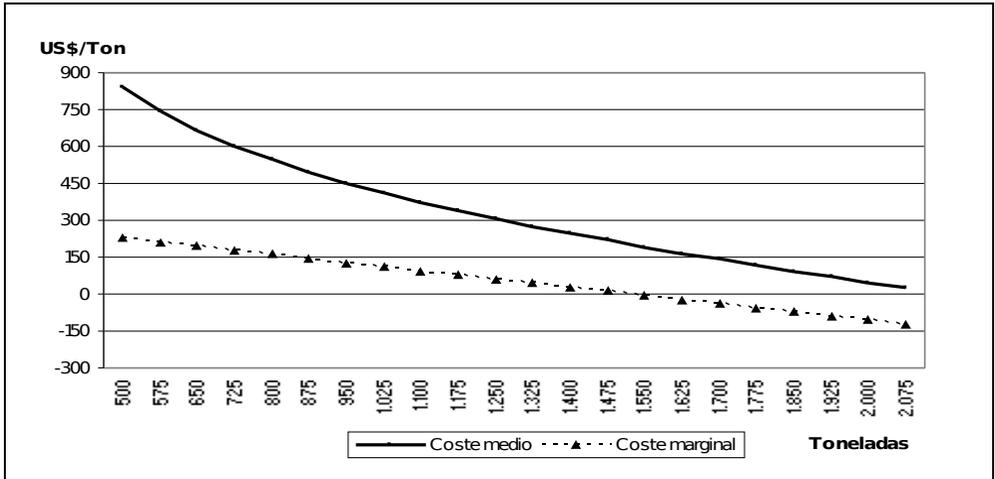
FIGURA N°3 COSTO TOTAL ESTIMADO DE ABATIR EMISIONES DE DIÓXIDO DE AZUFRE, CON MODELO DE EFECTOS FIJOS.



Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar que el grado de cumplimiento de la empresa, no está en función del nivel de equilibrio de emisiones, que determina Dasgupta et al. (2000), donde el costo marginal de abatimiento es igual al pago de sanción marginal decretado por la autoridad ambiental. Esto, ya que el valor monetario de las sanciones que la autoridad ambiental puede aplicar, son mínimas comparadas con los altos costos. Particularmente, a la Refinería le interesa cumplir con la normativa ambiental y con sus propios estándares de desempeño, para poseer niveles de emisión de excelencia, que le permiten producir gasolinas de bajo octanaje y liderar el mercado nacional de refinación, generando barreras de entrada importantes a sus competidores internacionales, y obtener reconocimientos de desempeño ambiental como Empresa Pública; por lo tanto, no estará en aquel nivel de equilibrio. Recordando la afirmación de Baumol (1982), que definen una industria como un “Monopolio Natural” si, en el intervalo relevante de niveles de producto, la función de costes es subaditiva. Costes marginales siempre decrecientes implican costes medios siempre decrecientes, y costes medios siempre decrecientes implican subaditividad. Entonces, podemos confirmar que los costos de abatimiento de la refinería, que presentan las tecnologías de proceso, corresponden a un Monopolio Natural en el abatimiento de emisiones de dióxido de azufre.

FIGURA N°4
COSTO MEDIO Y MARGINAL ESTIMADO DE ABATIR EMISIONES DE SO₂,
CON MODELO DE EFECTOS FIJOS.



Fuente: Elaboración propia.

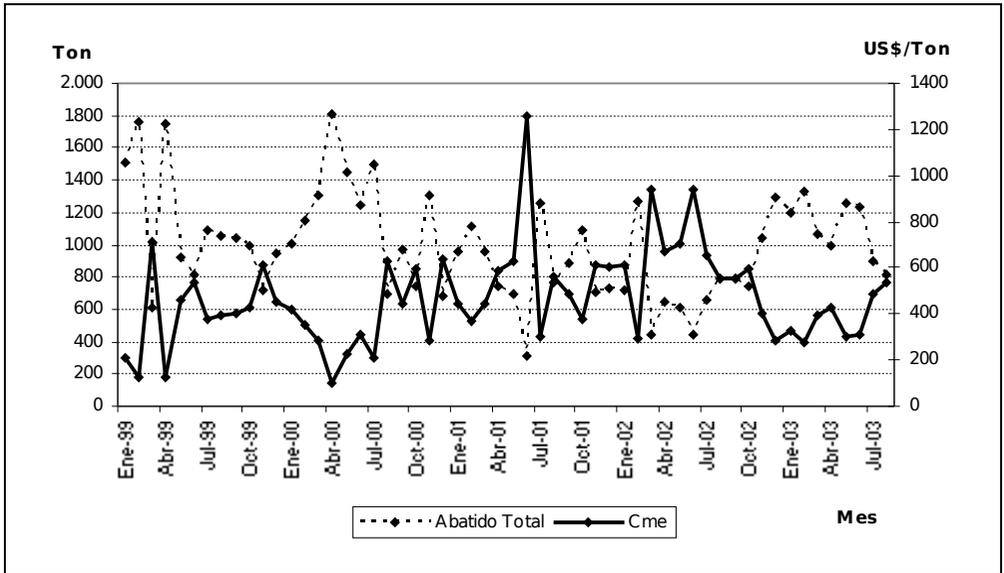
La Figura N°5 establece los niveles de abatimiento reales, realizados por las tecnologías de proceso con las que cuenta ENAP Refinerías Bio-Bio, y los respectivos costes medios de abatimiento estimados en el modelo de efectos fijos para esos niveles de producción de ambas tecnologías. Al mes de diciembre del año 2003 la refinería abatía aproximadamente 800 toneladas de dióxido de azufre, donde los costes medios son cercanos a 600 dólares la tonelada. Mientras que aquellos meses donde el abatimiento era máximo, como en el mes de abril del año 2000, donde se abatieron 1.813 toneladas de dióxido de azufre, los costes medios eran de 105 dólares por tonelada. Lo anterior confirma la presencia de economías de escala en el abatimiento, que deben ser aprovechadas en la planificación mensual de la producción de ambas tecnologías, mejorando la eficiencia económica de las tecnologías.

VI. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

La especificación de la función de costos que contiene los mejores estimadores de los parámetros definidos en la literatura para una función de costos de abatimiento de emisiones de contaminantes, es el Modelo de efectos fijos. Esto permite representar los costos de abatimiento de emisiones de dióxido de azufre

de la refinería en una única función de costos de abatimiento y confirma la presencia de economías de escala en el abatimiento del contaminante analizado.

FIGURA N°5
NIVEL ABATIDO DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE AZUFRE EN ENAP
REFINERÍAS BIO-BIO Y COSTOS MEDIOS ESTIMADOS DE TECNOLOGÍAS.
ENERO 1999 A AGOSTO 2003.



Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento de los costes medios y marginales, nos permite concluir mediante la teoría económica que las tecnologías de abatimiento de emisiones de dióxido de azufre utilizadas por las Refinería Bio-Bio en su producción, se comportan como un Monopolio Natural. Esto permite establecer que al regulador le conviene alcanzar sus estándares de emisión normativa a través de estas tecnologías.

Los costes medios de abatimiento de emisiones de dióxido de azufre que se generan en el proceso productivo, y que permiten a la Refinería Bio-Bio producir gasolinas de bajo octanaje y con niveles de azufre más bajos, son estratégicos para mantener su posición en el mercado nacional, ya que lo diferencian de productos elaborados por firmas internacionales.

Los actuales niveles de operación de las Plantas de Sulfhidrato de Sodio y de Azufre, se encuentran en los niveles de producción más altos, por lo que

operan en un nivel de costes medios menor. Sin embargo, sustitución de tecnologías en el futuro que provoquen bajas en los niveles de producción de ambas tecnologías pudieran provocar alcanzar altos costes medios.

Las tecnologías utilizadas en los procesos productivos de la Refinería Bio-Bio generan costos, los cuales son analizados en la presente investigación. Sin embargo, su funcionamiento igualmente genera beneficios en su propia operación, por la comercialización de azufre elemental y, además, por el mayor bienestar que ha generado en la calidad de vida de las personas que viven en sectores cercanos a la refinería. Esto debiese ser estimado en futuras investigaciones que permitan contrastar Beneficios y Costos de mejoras ambientales.

VII. REFERENCIAS

- BANCO CENTRAL DE CHILE. SERIE DE PRECIOS. Índice de precios al por mayor (IPM) de productos nacionales e industriales, según base de datos IPM por origen y por sectores.
- BAUMOL, WILLIAM J. "Contestable Markets: An Uprising in the Theory of Industry Structure," *American Economic Review*, American Economic ASSOCIATION, VOL. 72(1), PAGES 1-15, MARCH. MARZO DE 1982.
- DASGUPTA, S., H. HETTIGE Y D. WHEELER. 2000. What improves environmental compliance. Evidence from Mexican Industry. *Journal of Environmental Economics and Management*.
- GREENE, W. Análisis Económico. Tercera edición Prentice Hall Iberia, Madrid 1999.
- HAMILTON, M. 1994. Selling pollution rights cuts the cost of cleaner air. *Washington Post*. August 24, p. F1.
- HARTMAN, R.; WHEELER, D.; AND SINGH, M. 1997. The Cost of Air Pollution Abatement. *Applied Economics* 29: 759-774.
- PEREYRA, A. Notas Docentes Curso de Microeconomía Avanzada: Monopolio Natural y Regulación Económica. Octubre de 2002.
- TIROLE, J. 1998. La Teoría de la Organización Industrial. Editorial Ariel S.A. Barcelona. Título original *The Theory of Industrial Organization*. Massachusetts Institute of Technology.
- TRAIN, K. 1991. *Optimal Regulation: The Economic Theory of Natural Monopoly*. MIT.
- WOOLDRIDGE, JEFFREY M. 2000. *Introductory econometrics: a modern approach*. South-Western College.

