

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UN MODELO PARA PROYECTAR EL IMACEC*

*Marcela Urrutia A.**
Andrea Sánchez Y.***

I. INTRODUCCIÓN

Para los bancos centrales, es importante disponer de buenas estimaciones sobre el desarrollo de la actividad, tanto a largo como a corto plazo, de manera de mejorar el análisis requerido para la conducción de la política monetaria. Esto es especialmente cierto en aquellos institutos emisores que tienen como propósito la estabilidad de los precios y un objetivo de meta inflacionaria, ya que el crecimiento de la actividad sectorial tiene impacto en la inflación. En este documento se presenta un modelo muy simple para proyectar el indicador mensual de actividad económica (Imacec) de Chile en el corto plazo, explotando la relación directa entre la producción y el uso de la energía eléctrica.

La motivación para utilizar energía eléctrica viene de la matriz de insumo-producto (MIP 2003), donde esta energía es un insumo transversal, que todas las actividades productivas utilizan en mayor o menor medida, lo que permite intuir que un anticipo de esta información podría ser útil para proyectar el indicador de la evolución económica.

Otro factor importante es que la información de generación energética está disponible en tiempo real y se publica antes que el Imacec con un desfase de cinco a seis días respecto del mes de información.¹ Además, prácticamente tiene cobertura nacional debido a que el Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC) recopila la información del abastecimiento energético del Sistema Integrado del Norte Grande (SING) y del Sistema Interconectado Central (SIC).²

Varios países publican indicadores mensuales para la actividad, tales como Argentina, México, Perú, Costa Rica y Guatemala. Sin embargo, se desconoce literatura que analice la capacidad predictiva de dichos indicadores de energía para proyectar el crecimiento

mensual de la actividad. Hay, sin embargo, estudios que analizan la relación de causalidad unidireccional de crecimiento económico a consumo de energía. Es el caso de Ghosh (2002) para India en 1950-1997, de Fatai et al. (2004) para Australia y Nueva Zelanda, o de Hatemi e Irandoust (2005) para Suiza o de Ciarreta y Zarraga (2007) para España. En Soyta y Sari (2003) se verificó que, para Argentina, la causalidad es bidireccional. En general, los resultados indican que los valores pasados del consumo de electricidad mejoran las proyecciones del ciclo económico.

En el caso de Chile, se hicieron los tests de causalidad à la Granger y no se encontró ningún tipo de causalidad,³ tanto para las series en niveles como para las rezagadas en uno y dos periodos. A diferencia del presente análisis, los estudios mencionados utilizan datos con frecuencias anuales, en tanto que en esta nota serán mensuales.

En general, la literatura en que se desarrollan modelos de predicción del Imacec de Chile, se refiere a indicadores líderes; en particular, para Chile está el de Firinguetti y Rubio (2003) quienes encontraron una amplia gama de indicadores que permiten proyectar el Imacec. Sin embargo, requieren varios indicadores, en tanto que en esta nota se propone usar solo una variable. No obstante, los autores no encontraron registro de investigaciones que directamente utilicen

* Se agradece la motivación y el aporte de Michael Pedersen para documentar estos resultados, y los comentarios de Rodrigo Valdés, Igal Magendzo y Arí Aisen.

** Gerencia de Análisis Macroeconómico, Banco Central de Chile. E-mails: murrutia@bcentral.cl; asanchez@bcentral.cl.

¹ Ver fechas de publicación del 2007 en Anexo 1.

² En Chile, existen cuatro sistemas eléctricos interconectados. El Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), que cubre el territorio comprendido entre las ciudades de Arica y Antofagasta con un 30.2% de la capacidad instalada en el país; el Sistema Interconectado Central (SIC), que se extiende entre Taltal y Chiloé con un 69.8%; el Sistema de Aysén que atiende el consumo de la Región XI con un 0.28%; y el Sistema de Magallanes, que abastece la Región XII con un 0.54% de la capacidad instalada en el país.

³ Ver detalles de los tests en el anexo 2.

esta relación entre el uso de energía y la actividad para hacer estimaciones de corto plazo, siendo este el objetivo esencial de este documento.⁴ Por otra parte, Fuentes, Larraín y Schmidt-Hebbel (2006), utilizan el consumo de energía eléctrica como un factor de utilización del capital en uno de los componentes de la serie de PTF (productividad total de factores), tema que no se abordará aquí.

Esta minuta se estructura como sigue. En la siguiente sección se describen los datos utilizados, mientras en la sección III se presenta el modelo econométrico utilizado. En la cuarta se compara con un *benchmark* para evaluar la capacidad predictiva del modelo seleccionado. La última sección concluye.

II. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS DATOS

La serie del Imacec que se utiliza es con base 2003 empalmada,⁵ revisada y publicada por el Banco

Central de Chile en su Boletín Mensual y en el Avance Estadístico del Boletín Mensual.⁶

Se supondrá que los despachos de energía eléctrica son equivalentes al consumo total de energía eléctrica del país, es decir, las pérdidas que existen en la distribución se consideran parte de la generación, ya que no se dispone de antecedentes mensuales. La unidad de medida que se utiliza es el gigavatio/hora (GWh) y la fuente de información, como se mencionó anteriormente, es el Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC).

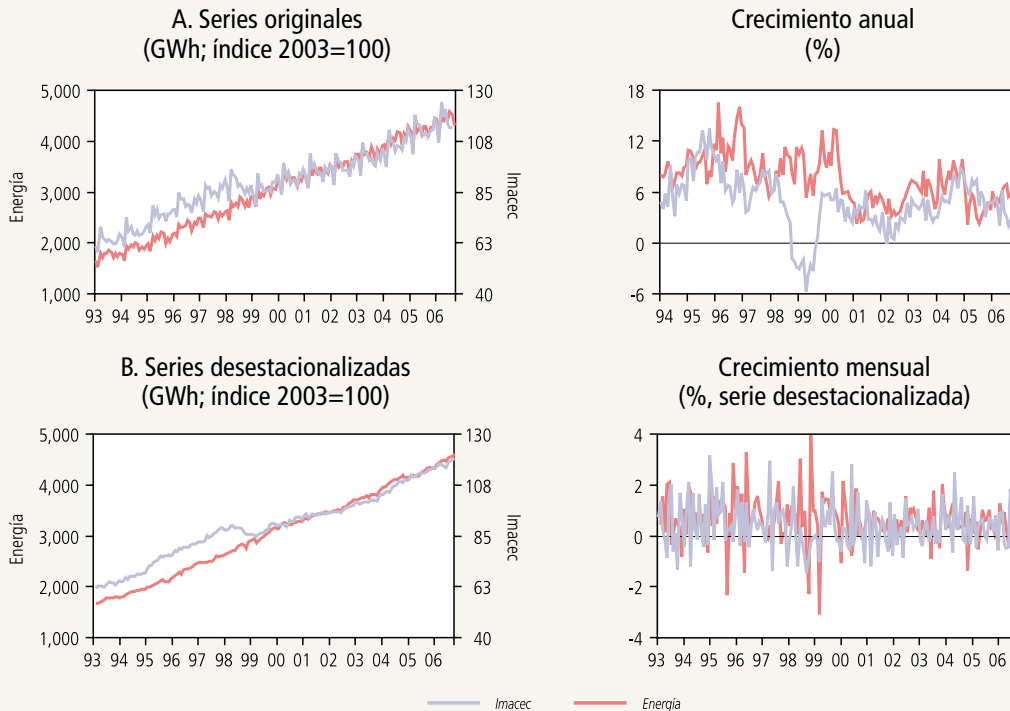
⁴ Es importante mencionar que el gran dilema energético que el país está viviendo llevará a los consumidores y empresarios a buscar sistemas de energía más eficientes y de menor costo, que podrían no ser medidos por el sistema interconectado (SIC y SING).

⁵ Según la metodología detallada en Banco Central de Chile (2007).

⁶ La serie histórica empalmada se encuentra publicada en www.bcentral.cl.

GRÁFICO 1

Imacec y Despachos de Energía Eléctrica



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Banco Central de Chile.

El período a considerar en la muestra va desde enero de 1993 a diciembre del 2006, con periodicidad mensual, ya que solo se dispone de despachos de energía eléctrica desde enero de 1993 en adelante.

Al comparar las series de generación de energía eléctrica y el Imacec, tanto en niveles como en términos de crecimiento anual (gráfico 1A), no se advierte correlación entre ellas, excepto en algunos períodos como el lapso 2001-2005. Sin embargo, analizando las series desestacionalizadas, las cifras de crecimiento mensual presentan una alta similitud, principalmente en períodos de gran volatilidad (gráfico 1B). Este es un motivo más para utilizar la generación eléctrica como variable explicativa de la actividad.

Al observar la evolución de las series originales, se aprecia que hay diferencia entre la estacionalidad de las dos series (gráfico 1A). Para investigar esto con más detalle, se utilizó el procedimiento X-12-ARIMA, el mismo que usa el Banco Central de Chile⁷ y, en particular, se enfocó en el componente calendario y en el componente estacional (gráfico 2). En el componente calendario se aprecian diferencias de mayor magnitud, especialmente en períodos particulares de años bisiestos⁸ donde la generación de energía crece relativamente más que la actividad. Por el lado del componente estacional, ambas series presentan patrones concretos, donde al parecer la energía tendría un impacto menos profundo que el Imacec. Con este análisis, resulta relevante incluir ambos componentes como variables particulares en el modelo econométrico a estimar.

III. EL MODELO ECONOMÉTRICO

En esta sección se presenta un modelo econométrico, para proyectar el Imacec en el corto plazo con las cifras del consumo de energía. Dadas las diferencias entre los componentes calendario y estacional mostrados en la sección anterior, se propone el modelo que incluye el Imacec (y_t) no desestacionalizado al lado izquierdo, la energía (e_t) desestacionalizada más los componentes calendario (yc_t) y estacional (ys_t) del Imacec al lado derecho, todos los componentes diferenciados en un período y en logaritmo natural. Los últimos dos componentes se incluyen para corregir las diferencias entre la estacionalidad en la series del Imacec y de energía. Para evitar correlación serial de los residuos, se especifica un modelo ARMA para los errores.⁹ El modelo estimado es:

$$\Delta y_t = 0.0025 + 0.2342 \Delta e_t + 0.9916 \Delta yc_t + 0.9945 \Delta ys_t + \mu_t, \tag{1}$$

$$\mu_t = -0.2270 \varepsilon_{t-1} + 0.2348 \varepsilon_{t-3} + \varepsilon_t,$$

$R^2 = 0.98$ $R^2 \text{ ajust} = 0.97$

Des. est. = 0.06 LM: 0.202(0.0119)

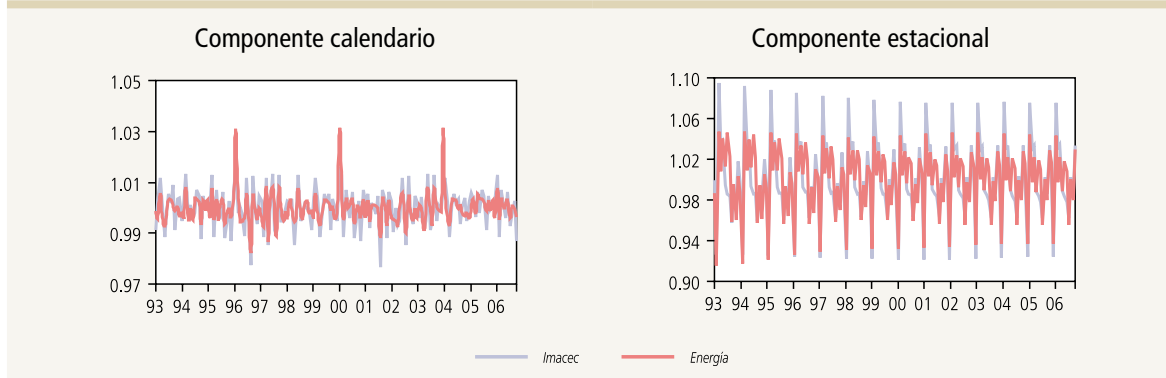
⁷ Una buena descripción del ajuste estacional del Banco Central de Chile se encuentra en Bravo et al. (2002).

⁸ Estos períodos se manifiestan en los años 1996, 2000 y 2004.

⁹ donde ε_t es ruido blanco, $E(\varepsilon_t) = 0$ $Cov(\varepsilon_t, \varepsilon_{t-k}) = \sigma_\varepsilon^2$, para $k = 0$ y cero en otro caso.

GRÁFICO 2

Componentes del Imacec y Generación de Energía Eléctrica



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Banco Central de Chile.

donde los números entre paréntesis son desviaciones estándar y LM es el valor p del test de Breusch-Godfrey de correlación serial con el valor para el modelo sin especificación ARMA entre paréntesis.¹⁰ También se incluyen rezagos de las variables del Imacec y energía, las cuales resultan no significativas con un valor p de 0.53 y 0.81, respectivamente.

En la ecuación (1), se observa que los parámetros para Δy_c y Δy_s son muy cercanos a la unidad. Se realizó el test-F con la hipótesis de que ambos son iguales a 1; dicha hipótesis fue aceptada con un valor p de 0.81. La implicancia de esto es que el modelo (1) se puede formular con datos desestacionalizados del Imacec al lado izquierdo y sin los componentes calendario y estacional al lado derecho; en la siguiente sección es nombrado como SA. Sin embargo, se trabaja con el modelo especificado en la ecuación (1), dado que al evaluar su capacidad predictiva no aparece como mejor. En el análisis de la sección siguiente se detalla su evaluación.

Al graficar el nivel de las estimaciones versus el dato efectivo mes a mes (gráfico 3) se aprecia que el modelo detallado en la ecuación (1) anticipa los cambios bruscos de tendencia del Imacec.

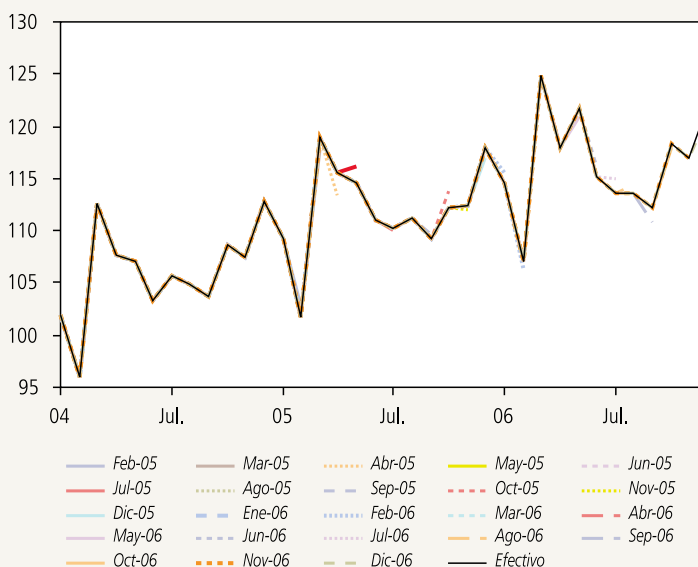
IV. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD PREDICTIVA

En esta sección se evalúa la capacidad que tiene el modelo para hacer proyecciones del Imacec a un mes, definido en la sección anterior, la cual se describe en la ecuación (1). Como ya se mencionó, el objetivo es hacer proyecciones contemporáneas, es decir, usar el dato del mes para proyectar el Imacec del mismo mes. A priori se puede anticipar un buen desempeño, dados los altos valores de R^2 ya reportados.

Como modelos de comparación (*benchmarks*) se aplica un ARIMA(1 0 1)(0 1 1), modelo que usa actualmente el Banco Central para la desestacionalización del Imacec. Adicionalmente se realizan comparaciones con otros modelos: el modelo de la ecuación (1) restringido, es decir, sin incluir la estructura ARMA,

GRÁFICO 3

Estimaciones del Imacec en Niveles de Ecuación (1)^a (índice 2003=100)



Fuente: Banco Central de Chile.
a. Modelo de parámetros fijos (PF), ignorando la parte estructural ARMA.

denotado como PF, y el modelo con el Imacec desestacionalizado al lado izquierdo, excluyendo los componentes calendario y estacional del Imacec del lado derecho, denotado como SA.¹¹

Para hacer el ejercicio como en tiempo real, se desestacionalizan mes a mes las series de Imacec y energía, re-estimándose cada mes los modelos, y se calculan recursivamente los valores proyectados. El período de evaluación contiene 23 meses, desde febrero de 2005 a diciembre de 2006. Se aplica la medida de la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RECM), definido como:

$$RECM = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (Y_t - Y_t^*)^2}{T}}$$

¹⁰ Los tests de Dickey-Fuller y Phillips-Perron indican que ambas series en niveles son integradas de orden uno y no cointegran. Resultados disponibles a petición.

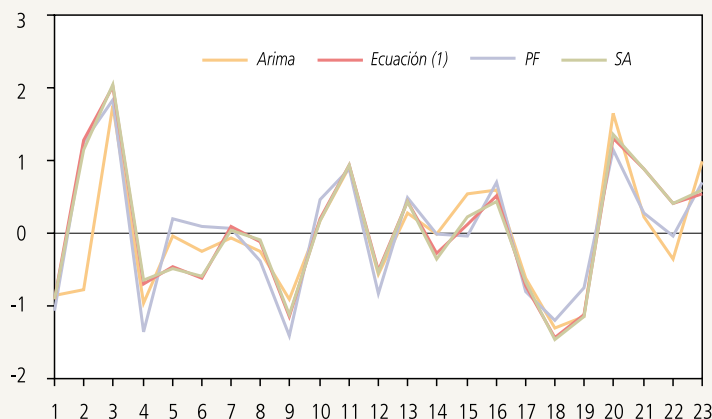
¹¹ El modelo SA se especifica en la siguiente ecuación:

$$\Delta y_{sa,t} = 0.0025 + \frac{0.2317}{(0.0008)} \Delta esa_t + \mu_t, \mu_t = \frac{-0.3142}{(0.0632)} \varepsilon_{t-1} + \frac{0.3854}{(0.0847)} \varepsilon_{t-3} + \varepsilon_t$$

con $R^2 = 0.21$ R^2 ajust = 0.20
Des. Est. = 0.0087 LM: 0.37(0.0004).

GRÁFICO 4

Comparación de los Residuos (con estimaciones de variaciones mensuales)



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Central de Chile.
(*) Modelo de parámetros fijos (PF), ignorando la parte estructural ARMA.

donde Y es el Imacec efectivo, Y^* es la proyección del Imacec y T es el número de observaciones a evaluar, en este caso, $T=23$.

Los modelos se evalúan con dos ejercicios: el primero mide la capacidad predictiva directamente de la variación mes a mes, y el segundo utiliza cifras mensuales para calcular las variaciones anuales. El segundo ejercicio se realiza porque el Imacec se publica en variaciones anuales y los resultados de ambos son algo distintos. A continuación se detallan los dos ejercicios de evaluación.

1. Primer Ejercicio: Estimación de Variaciones Mensuales

En este ejercicio se evalúa el comportamiento de las variaciones mensuales estimadas; los resultados evidencian que el modelo con menor RECM, fuera de muestra, es el representado por el modelo ARIMA (ver cuadro 1 y gráfico 4). Sin embargo, de los 23 periodos, el modelo PF estima la mejor proyección nueve veces. El test formal de Diebold y Mariano (1995) reporta que no hay diferencias estadísticas significativas entre los errores del modelo ARIMA y PF. Sin embargo, si se hace el ejercicio de comparar los residuos del modelo ARIMA y los errores usando la

proyección más cercana al dato efectivo, este test manifiesta una diferencia estadística significativa de los errores. Por lo tanto, contar con estos dos modelos para elaborar la estimación final es de interés para aplicar juicio.

2. Segundo Ejercicio: Estimación de Variaciones Anuales

A diferencia de los resultados del ejercicio anterior, los de este señalan que el mejor modelo es el propuesto en la ecuación (1) (cuadro 2 y gráfico 5).

CUADRO 1

Comparación de los RECM (con estimaciones mensuales)

Evaluación variación mensual	RECM fuera de muestra (1)	Mejor modelo (2)	Peor modelo (2)
Ecuación (1) (ignora la estructura ARMA) (PF)	0.88	9	7
Ecuación (1)	0.88	2	5
Regresión IMACEC y energía desestacionalizada	0.89	5	4
Modelo ARIMA	0.84	7	7
Observaciones fuera de muestra		23	23

Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Central de Chile.

(1) RECM: Raíz cuadrada del error cuadrático medio. (2) Corresponde al número de veces que el residuo estuvo más cercano/lejano al mínimo de los errores de los 4 modelos.

Al analizar los RECM fuera de muestra se obtiene que no hay diferencia en términos de capacidad predictiva al ignorar la estructura ARMA de la ecuación (1), tanto porque ambos modelos tienen los menores RECM como también porque tienen el mismo número de periodos en que fueron la peor proyección. Al considerar la regresión con las series desestacionalizadas de Imacec y energía, los resultados no son mejores que los reportados en la ecuación (1) (cuadro 2).

Al igual que en el ejercicio anterior, se realizó el test de Diebold y Mariano (1995), el que también reportó que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los errores de los modelos ARIMA y el modelo ignorando la parte estructural (PF). En tanto, si se hace el ejercicio donde se comparan los residuos del modelo ARIMA y los errores usando la proyección más cercana al dato efectivo, este test reporta diferencias estadísticas significativas entre los errores. Esto sugiere calcular las estimaciones en variaciones anuales con los modelos PF y ARIMA, para luego aplicar juicio al momento de proyectar.

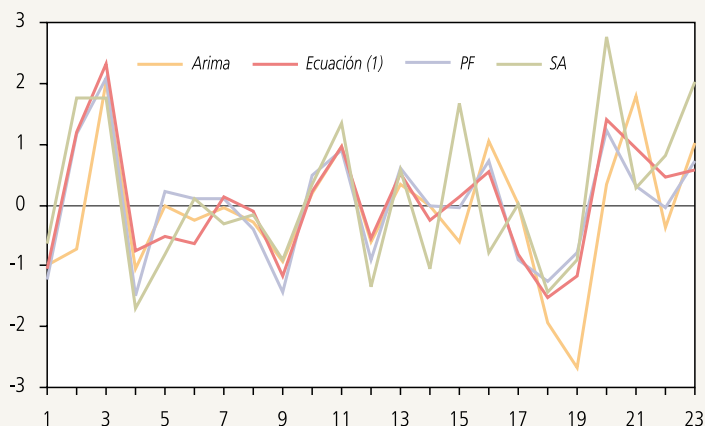
Posterior a la evaluación de los modelos antes detallados, se actualizó la capacidad predictiva de todos los modelos utilizados en esta sección, y se amplió el período de evaluación fuera de muestra

a 37 observaciones. Con ello, se confirma que el modelo de mejor capacidad predictiva es el definido en la ecuación (1) (PF). Adicionalmente, a este modelo se le incorporó la variable real de agregados monetarios (M2) de igual temporalidad, reportando ser significativa al 1%.¹² Sin embargo, al realizar el proceso de capacidad predictiva, el RECM no fue

¹² Para este ejercicio se consideraron los agregados monetarios M1, M2 y M3 definidos en Arraño (2006), en términos reales y desestacionalizados, rezagados y con igual temporalidad, todos bajo logaritmo y diferenciados en un período. Estas cifras se publican en el Boletín Mensual del Banco Central de Chile.

GRÁFICO 5

Comparación de los Residuos (con estimaciones de variaciones anuales)



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Central de Chile.

CUADRO 2

Comparación de los RECM (con estimaciones de variaciones anuales)

Evaluación variación anual	RECM fuera de muestra (1)	Mejor modelo (2)	Peor modelo (2)
Ecuación (1) (ignora la estructura ARMA) (PF)	0.93	5	5
Ecuación (1)	0.93	2	5
Regresión IMACEC y energía desestacionalizada (SA)	1.23	8	9
Modelo ARIMA	1.06	8	4
Observaciones fuera de muestra		23	23

Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Central de Chile.

(1) RECM: Raíz cuadrada del error cuadrático medio. (2) Corresponde al número de veces que el residuo estuvo más cercano/lejano al mínimo de los errores de los 4 modelos.

mejor que el reportado por la ecuación (1) (PF) (ver el cuadro de comparación de RECM en el anexo 3).

V. CONCLUSIONES

Más allá de la mejor capacidad predictiva del modelo analizado en este documento y la experiencia proporcionada en la literatura acerca de la relación entre actividad y energía, se sugiere considerar como variable explicativa del crecimiento económico de Chile, la demanda de energía eléctrica, pues se encontró evidencia robusta y significativa para explicarlo. En particular, los resultados sugieren estimar el Imacec con energía del mes t , ignorando la parte estructural del modelo ARMA. Es importante destacar que el modelo sugerido anticipa, con gran acierto, los cambios bruscos de crecimiento intra-mes. Este hecho coyuntural es muy importante para la toma de decisiones en la política monetaria. Si bien es una proyección con cifras temporales de muy corto plazo, se anticipa el crecimiento de la actividad en un mes, pues las cifras de energía se proporcionan con mayor oportunidad que el Imacec.

Se propone extender este ejercicio a otros sectores de la economía, especialmente aquellos que son intensivos en el uso de energía, como son la industria y la minería.

REFERENCIAS

Arraño, E. (2006). "Agregados Monetarios: Nuevas Definiciones." Estudios Económicos Estadísticos N°53, Banco Central de Chile.

Banco Central de Chile (2007). "Empalme del PIB y de los Componentes del Gasto: Series Anuales y Trimestrales 1986-2002, Base 2003." Documento de Trabajo N°55, Banco Central de Chile.

Bravo, F., V. Correa, L. Luna y F. Ruiz (2002). "Desestacionalización de Series Económicas: El Procedimiento Usado por el Banco Central de Chile." Documento de Trabajo N°177, Banco Central de Chile.

Ciarreta, A. y A. Zarraga (2007). "Electricity Consumption and Economic Growth: Evidence from Spain." Documento de Trabajo Biltoki N°1, Departamento de Economía Aplicada, Universidad del País Vasco.

Diebold, F. y R. Mariano (1995). "Comparing Predictive Accuracy." *Journal of Business and Economic Statistics* 13: 253-63.

Fatai, K., L. Oxley y F.G. Scrimgeour (2004). "Modelling the Causal Relationship between Energy Consumption and GDP in New Zealand, Australia, India, Indonesia, The Phillipines and Thailand." *Mathematics and Computers in Simulation* 64: 431-45.

Firinguetti, L. y H. Rubio (2003). "Indicadores Líderes del Imacec." Documento de Trabajo N°208, Banco Central de Chile.

Fuentes, R., M. Larraín y K. Schmidt-Hebbel (2006). "Source of Growth and Behavior of TPF in Chile." *Cuadernos de Economía* 43(mayo): 113-42.

Ghosh, S. (2002). "Electricity Consumption and Economic Growth in Taiwan." *Energy Policy* 30: 125-9.

Hatemi, A. y M. Irandoust (2005). "Energy Consumption and Economic Growth in Sweden: A Leveraged Bootstrap Approach, 1965-2000." *International Journal of Applied Econometrics and Quantitative Studies* 2(4): 87-98.

Soytas, U. y R. Sari (2003). "Energy Consumption and GDP: Causality Relationship in G-7 Countries and Emerging Markets." *Energy Economics* 25: 33-7.

ANEXO 1

Períodos de Publicación del Imacec y de la Generación de Energía Eléctrica				
Indicador del período	2007		2008	
	Publicado en el mes		Publicado en el mes	
	IMACEC	Energía	IMACEC	Energía
Enero	5 de marzo	7 de febrero	5 de marzo	7 de febrero
Febrero	5 de marzo	7 de marzo	5 de abril	7 de marzo
Marzo	7 de mayo	9 de abril	7 de mayo	7 de abril
Abril	5 de junio	7 de mayo	5 de junio	7 de mayo
Mayo	5 de julio	7 de junio	5 de julio	9 de junio
Junio	6 de agosto	9 de julio	6 de agosto	7 de julio
Julio	5 de septiembre	7 de agosto	5 de septiembre	7 de agosto
Agosto	5 de octubre	7 de septiembre	5 de octubre	8 de septiembre
Septiembre	5 de noviembre	8 de octubre	5 de noviembre	7 de octubre
Octubre	5 de diciembre	7 de noviembre	5 de diciembre	7 de noviembre
Noviembre	7 de enero	7 de diciembre		
Diciembre	7 de febrero	7 de enero		

Fuente: Banco Central de Chile.

ANEXO 2

Test de de Causalidad à la Granger

Series en niveles con un rezago			
Hipótesis nula	Observaciones	F-estadístico	Probabilidad
y_{sa} no causa à la Granger a e_{sa}	168	2.151	0.144
e_{sa} no causa à la Granger a y_{sa}		2.653	0.105

Series en niveles con dos rezagos			
Hipótesis nula	Observaciones	F-estadístico	Probabilidad
y_{sa} no causa à la Granger a e_{sa}	168	0.809	0.446
e_{sa} no causa à la Granger a y_{sa}		0.715	0.490

Donde: y_{sa} es el indicador de Imacec desestacionalizado y e_{sa} es el consumo de energía desestacionalizado

Series diferenciadas con un rezago			
Hipótesis nula	Observaciones	F-estadístico	Probabilidad
dy_{sa} no causa à la Granger a de_{sa}	167	0.185	0.666
de_{sa} no causa à la Granger a dy_{sa}		0.020	0.886

Donde: dy_{sa} es el indicador de Imacec desestacionalizado diferenciado en un período; de_{sa} es el consumo de energía desestacionalizado diferenciado en un período.

Series diferenciadas con dos rezagos			
Hipótesis nula	Observaciones	F-estadístico	Probabilidad
dy_{sa} no causa à la Granger a de_{sa}	166	0.543	0.581
de_{sa} no causa à la Granger a dy_{sa}		0.008	0.991

ANEXO 3

Comparación de RECM del Modelo Actualizado	
Modelo	RECM (fuera de muestra con 37 observaciones)
Ecuación (1) ignorando la estructura ARMA (PF)	0.81
ARIMA	1.41
Ecuación (1) (PF) con Importaciones y agregados monetario ^a	1.80

a. Las variables que resultaron ser significativas fueron: agregados monetarios (M2) definidos en Arraño (2006).