

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MINAS**

**ESTUDIO ECONOMETRICO DE PRECIOS DE METALES NO FERROSOS
APLICACIÓN DE PVAR**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

ANTONIO ALESSANDRO CECCHI FYFE

**PROFESOR GUÍA:
SR. FERNANDO ACOSTA BARRIGA**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
SR. CHRISTIAN MOSCOSO WALLACE
SR. EDUARDO BRAVO MUÑOZ**

**SANTIAGO DE CHILE
2012**

RESUMEN

El análisis y modelación de precios de metales es esencial para tomar y ejecutar decisiones de inversión en todos los campos de la actividad minera: exploración, evaluación de recursos, planificación minera, proyectos de expansión, entre otros. Los modelos predictivos de precios han adquirido relevancia con la irrupción de la computación y los métodos matemáticos. Ellos han evolucionado al punto que ha sido posible pronosticar escenarios futuros del precio de los *commodities metálicos*. Sin embargo, la predicción siempre tiene asociada incertidumbre. Por otra parte, el dinamismo del mercado global hace difícil establecer supuestos que sean prolongados en el tiempo, lo que obliga a los economistas de minerales a reevaluar sus modelos constantemente.

Este trabajo utiliza la herramienta PVAR para estudiar el dinamismo del precio de seis metales que se tranzan en la Bolsa de Metales de Londres: aluminio, cobre, estaño, plomo, níquel y cinc. Esto, con el fin de analizar las interrelaciones entre el precio de metales y un conjunto de variables macroeconómicas que inciden sobre ellos: consumo y producción de metales, precios del petróleo, tipo de cambio del dólar, S&P500 y PIB. También se estudia las relaciones de causalidad existentes entre todas las variables mencionadas.

Se consideran diferentes combinaciones de las variables abordadas en tres casos, donde el consumo y el precio de metales siempre están presentes. El primer caso incorpora la producción de metales, el segundo estudia la combinación del tipo de cambio del dólar y el precio del petróleo. El último analiza la combinación del índice S&P500 y el precio del petróleo. En cada caso se estudia el consumo en dos partes: consumo de China y consumo mundial.

De los resultados, se determina que un alza del consumo de China es comparable a un aumento del consumo mundial. Se logra explicar la cantidad de tiempo que perdura el alza del precio frente a los aumentos del consumo. En el modelo que añade la producción, se logra satisfactoriamente cuantificar la duración de la baja de precios por un aumento de la producción. Del mismo modo, se encuentran relaciones interesantes entre el precio de metales, precio del petróleo, consumos y producción de metales.

ABSTRACT

Analysis of the metal prices commodities is essential in order to make mining investments such as: geological exploration, mine planning, expansions and constructions. Econometric models became famous at the beginning of the computer revolution and researchers developed sophisticated methods to compute model's algorithms. Those goals gave great advances in the mineral economics science. Nowadays researchers could predict bands of prices in terms of short and long run, although, is necessary to check a great number of assumptions and hypothesis before performing simulation and obtaining results. The complex dynamism of world market variables and actors make economists to reevaluate and determine new predictive models frequently.

This work uses the econometric tool called PVAR. This method have recently used in few studies related to natural resources, macroeconomic behavior of the market and social research. PVAR will be used to analyze the interrelation between prices of commodity metals: aluminum, copper, tin, lead, nickel and zinc and macroeconomics variables related to them. Those macro variables are metal consumption, oil price, dollar exchange, S&P500 and GDP. Furthermore, relations of causality will be analyzed between variables.

Three cases will be considered. In all cases, the consumption and metal prices are involved. First, the effects of metal production. Second, the dollar exchange and oil prices. Finally, the S&P500 index and oil prices. Each case analyzes the consumption in two parts: China's consumption and world consumption.

Results show that a increase of China's metal consumptions and World metal consumption have a similar effect in the level of increase of metal prices and the duration of the increase along time. The rise in metal production explains satisfactory the fall of metal prices. This work finds interesting causality relationships between prices of metals and oil, consumption and production levels.

The objective is to expose a general vision of metal dynamics and the macroeconomic state. In order to do this research, there were considered important authors related to commodities prices. This investigation expects that futures studies focus on new variables that could affect the state of the art and give a new perspective to miner economist in the industry.

...a mi nonno Giovanni Cecchi . Iré a Poggio a Caiano a cumplir lo que te prometí.

AGRADECIMIENTOS

Quiero partir agradeciendo a padre Renzo, a mi madre Marjorie y a mi hermano Giovanni. Ellos han estado presentes en todo los momentos de manera incondicional y sincera, el amor y la unión nunca se ha quebrado lo que me hace muy feliz. Doy gracias al apoyo de Anthony, sin él, las cosas hubieran sido más difíciles en los momentos duros que nos tocó pasar. Agradezco el cariño y la dedicación de Keith y Nena y al apoyo y preocupación constante de Inés.

Junto a mi familia, he crecido junto a Francisco Javier Piñeiro y Felipe Aguilera, estar con ustedes ha significado muchos momentos de alegría y crecimiento personal. Durante estos años de universidad he entablado grandes amistades que le dieron sentido a estudiar en la Escuela de Ingeniería con garra y paciencia. A mis amigos mineros: Werner Lange, Cristián Pérez, Fernando Acosta, Winston Rocher, Diego Muñoz, Jimmy Ip, entre muchos otros.

Siento un profundo agradecimiento a la paciencia y disposición del profesor Fernando Acosta. Fueron muchos momentos épicos que nos tocó vivir en el transcurso de la memoria. No podré olvidar las grandes dosis de gas lacrimógeno que respiramos constantemente cerca de la SBIF, las suculentas cuentas de Tijuana en California y la barwoman mala onda de ese lugar. Destaco al profesor Christian Moscoso W. por su gran empatía y trato con los alumnos. Si llego a ser profesor en algún lugar, él será un gran referente.

Durante el paso por la escuela fueron muchas cosas las que me acompañaron. Las enormes calles de Santiago, que muchas veces eran desafiantes caminar. El McDonald`s de la capital Griega, foco de grandes dilemas existenciales. Los famosos taxis que me dieron grandes momentos de alivio y al día siguiente grandes macheteos de dinero a mi familia y amigos. Al Plan B. Al endeudamiento. A los(as) morganadas(os) que recuerdo muchas veces en las conversaciones que tenía con Pera y Agui, a Ricardo Arjona, a los videos de M.P. Jackson que nos acompañaban en Taller Mina, y mi gran adicción al rock setentero y ochentero.

Contenido

1.	Introducción.....	1
1.1.	Motivación del Trabajo.....	1
1.2.	Objetivos	2
1.2.1.	Objetivos Generales.....	2
1.2.2.	Objetivos Específicos:	2
1.3.	Alcances	2
2.	Antecedentes.....	3
2.1.	Proyectos mineros y precios de metales.	3
2.2.	Literatura previa.	3
2.3.	Contexto actual del mercado de metales no ferrosos.....	6
2.4.	Antecedentes históricos del conjunto de metales	7
2.5.	Herramientas Econométricas: PVAR y FIR	14
2.6.	Aproximaciones de modelos econométricos.....	18
2.7.	Casos de aplicación de PVAR.....	19
2.8.	Test de Granger en Datos de Panel.....	20
3.	Metodología.....	20
3.1.	Presentación de variables	20
3.2.	Endogeneidad y exogeneidad de variables	27
3.3.	Especificación del modelo	27
3.3.1.	PVAR.....	27
3.3.2.	FIR	29
3.4.	Hipótesis econométricas	30
4.	Resultados.....	33
	Nomenclatura de las variables	33
4.1.	Causalidades.....	33
4.2.	Variables precio de metales, producción y consumo.....	36
4.2.1.	Respuesta del precio al consumo mundial y producción.....	36
4.2.2.	Respuestas del precio al consumo chino y producción.....	38
	<i>Respuestas de la producción y el consumo</i>	39
4.3.	Variables tipo de cambio del dólar, precio del petróleo, consumo y precio de metales	40
4.3.1.	Respuesta del precio al tipo de cambio, precio del petróleo y consumo mundial.	40
4.3.2.	Respuesta del precio al tipo de cambio, precio del petróleo y consumo chino..	43
4.4.	Variables s&p500, precio del petróleo, consumo y precio de metales.....	46
4.4.1.	Respuesta del precio a s&P500, precio del petróleo y consumo mundial.	46
4.4.2.	Respuestas del precio a S&P500, precio del petróleo y consumo chino	49

5. Conclusiones.....	51
Referencias	53
Anexo A: Definiciones.....	56
A.1 VAR.....	56
A.2 PVAR.....	58
A.3 FIR.....	62
A.4 Descomposición de varianzas	64
Anexo B: Estadísticas de consumo y producción de metal refinado.....	66
B.1 Consumidores de metal refinado	66
B.2 Principales productores de metal refinado.....	70
Anexo C: Resultados adicionales	76
C.1 Variables precio, consumo mundial y precio del petróleo.....	76
<i>Respuestas del barril y consumo</i>	76
C.2 Variables precio, consumo chino y precio del petróleo.....	77
<i>Respuestas del barril y consumo</i>	78
C.3 Variables precio, consumo mundial y S&P500	79
C.3 Variables precio, consumo chino y S&P500	80
Anexo D: Regresiones PVAR	81
Anexo E: Cálculo del número de rezagos.	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Consensus Forecast, precio real del cobre en c/lb.	3
Figura 2: Resultados predictivos de precios de <i>commodities</i>	4
Figura 3: Súper ciclos de precios del conjunto de metales no ferrosos.	5
Figura 4: FIR. Respuesta de la demanda de metales no ferrosos frente a shocks en el precio de barril.	6
Figura 5: Producción de todos los metales a lo largo de la historia.	7
Figura 6: Consumo acumulado de aluminio refinado desde enero-08 a diciembre 2010.	8
Figura 7: Producción acumulada de aluminio refinado desde enero-95 a diciembre 2010.	8
Figura 8: Consumo acumulado de cobre refinado desde enero-08 a diciembre 2010.	9
Figura 9: Producción acumulada de cobre refinado desde enero-95 a diciembre 2010.	9
Figura 10: Consumo acumulado de estaño desde enero-2008 a diciembre 2010.	10
Figura 11: Producción acumulada de cobre refinado desde enero-95 a diciembre 2010.	11
Figura 12: Consumo acumulado de plomo refinado desde enero-08 a diciembre 2010.	11
Figura 13: Producción acumulada de plomo refinado desde enero-95 a diciembre 2010.	12
Figura 14: Consumo acumulado de níquel semi refinado desde enero-08 a diciembre 2010.	12
Figura 15: Producción acumulada de níquel refinado desde enero-95 a diciembre 2010.	13
Figura 16: Consumo acumulado de cinc en desde enero-2008 a diciembre 2010.	14
Figura 17: Producción acumulada de cinc refinado desde Enero-95 a Diciembre 2010.	14
Figura 18 : Evolución de los precios nominales de los metales no ferrosos en frecuencia mensual	21
Figura 19: Evolución del consumo mundial de refinado de cada uno de los metales.	22
Figura 20: Evolución de la producción mundial de refinado de cada uno de los metales.	23
Figura 21: Precio del barril de petróleo acompañado del precio de los seis metales.	24
Figura 22: Evolución del tipo de cambio del dólar y S&P500.	25
Figura 23: PIB de China suavizado.	26
Figura 24: Evolución del PIB de ambos grupos.	26
Figura 25: FIR. Respuestas del precio al consumo mundial y producción.	36
Figura 26: FIR. Respuestas de la producción y consumo mundial.	37
Figura 27: FIR. Respuestas del precio al consumo chino y producción.	38
Figura 28: FIR. Respuestas de la producción y consumo chino.	39
29: FIR. Respuestas del precio al consumo mundial, producción y barril.	40
Figura 30: FIR. Respuestas del barril y consumo mundial.	42
Figura 31: FIR. Respuestas del precio al consumo chino, producción y barril.	43
Figura 32: FIR. Respuestas del barril y consumo chino.	45
Figura 33: FIR. Respuestas del precio al consumo mundial, barril y S&P500.	46
Figura 34: FIR. Respuestas del barril y consumo mundial.	48
Figura 35: FIR. Respuestas del precio al consumo chino, barril y S&P500.	49
Figura 36: FIR. Respuestas del barril y consumo chino.	50
Figura 37: Porcentaje del consumo mundial de aluminio refinado por países del G7 y China.	67
Figura 38: Porcentaje del consumo mundial de cobre refinado por países del G7 y China. ...	67
Figura 39: Porcentaje del consumo mundial de estaño refinado por países del G7 y China. ...	68
Figura 40: Porcentaje del consumo mundial de plomo refinado por países del G7 y China. ...	68
Figura 41: Porcentaje del consumo mundial de níquel semi refinado por países del G7 y China.	69
Figura 42: Porcentaje del consumo mundial de cinc refinado por países del G7 y China.	69
Figura 43: Porcentaje de la producción mundial de aluminio refinado por países.	70
Figura 44: Porcentaje de la producción mundial de cobre refinado por países.	71
Figura 45: Porcentaje de la producción mundial de estaño refinado por países.	72
Figura 46: Porcentaje de la producción mundial de plomo refinado por países.	73

Figura 47: Porcentaje de la producción mundial de níquel semi refinado por países.	74
Figura 48: Porcentaje de la producción mundial de cinc refinado por países.....	75
Figura 49: FIR con {b, cm, p}. Respuesta del precio .Tres rezagos.....	76
Figura 50: FIR con {b, cm, p}. Respuestas del barril y consumo mundial.....	76
Figura 51: FIR con {b, cc, p}. Respuestas del precio.....	77
Figura 52: FIR con {b, cc, p}. Respuestas del barril y consumo.	78
Figura 53: FIR con {sp, cm, p }. Respuesta del precio.....	79
Figura 54: FIR con {sp, cm, p}. Respuestas del consumo mundial.	79
Figura 55: FIR con {sp, cc, p}. Respuestas del precio.	80
Figura 56: FIR con {sp, cm, p}. Respuestas del consumo chino.	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estadísticas básicas de la serie de precios de metales.....	21
Tabla 2: Correlaciones entre las series de precios.....	21
Tabla 3: Estadísticas básicas del consumo de cada metal.....	22
Tabla 4: Estadísticas básicas relacionado a la data histórica de los seis metales tranzados en Londres.....	23
Tabla 5: Estadísticas del precio del barril de petróleo.....	24
Tabla 6: Estadísticas básicas del PIB Chino y del G7.....	27
Tabla 7: Correlaciones entre PIB.....	27
Tabla 8: Resultados del test de Granger aplicado a PVAR.....	34
Tabla 9: Test de Granger aplicado al barril, tipo de cambio del dólar y S&P500.....	34
Tabla 10: Descomposición de varianzas.....	36
Tabla 11: Descomposición de varianzas.....	38
Tabla 12: Descomposición de varianzas.....	41
Tabla 13: Descomposición de varianzas.....	44
Tabla 14: Descomposición de varianzas.....	47
Tabla 15: descomposición de varianzas.....	50
Tabla 16: Estadísticas del consumo chino de metal refinado.....	66
Tabla 17: Estadísticas del consumo del G7 de metal refinado.....	66
Tabla 18: Descomposición de varianzas.....	77
Tabla 19: Descomposición de varianzas.....	78
Tabla 20: Descomposición de varianzas.....	79
Tabla 21: Descomposición de varianzas.....	80
Tabla 22: PVAR {cm, pr, p}.....	81
Tabla 23: PVAR {cc, pr, p}.....	82
Tabla 24: PVAR {usd, b, cm, p}.....	84
Tabla 25: PVAR {usd, b, cc, p}.....	85
Tabla 26: PVAR {sp, b, cm, p}.....	86
Tabla 27: PVAR {sp, b, cc, p}.....	87
Tabla 28: PVAR {b, cm, p}.....	88
Tabla 29: PVAR {b, cc, p}.....	89
Tabla 30: PVAR {sp, cm, p}.....	89
Tabla 31: PVAR {sp, cc, p}.....	90
Tabla 32: Determinación del número de rezagos para $Y=\{cm, pr, p\}$	91
Tabla 33: Determinación del número de rezagos para $Y=\{cc, pr, p\}$	91
Tabla 34: Determinación del número de rezagos para $Y=\{usd, b, cm, p\}$	92
Tabla 35: Determinación del número de rezagos para $Y=\{usd, b, cc, p\}$	92
Tabla 36: Determinación del número de rezagos para $Y=\{sp, b, cm, p\}$	93
Tabla 37: Determinación del número de rezagos para $Y=\{sp, b, cc, p\}$	93
Tabla 38: Determinación del número de rezagos para $Y=\{usd, cm, p\}$	94
Tabla 39: Determinación del número de rezagos para $Y=\{usd, cc, p\}$	94
Tabla 40: Determinación del número de rezagos para $Y=\{sp, cm, p\}$	95
Tabla 41: Determinación del número de rezagos para $Y=\{sp, cm, p\}$	95

1. Introducción

1.1. Motivación del Trabajo

Los precios de los metales no ferrosos (aluminio, cobre, estaño, plomo, níquel y cinc) han experimentado cambios bruscos los últimos diez años. Estos *commodities* se mueven de forma conjunta y su dinamismo es un indicador del estado global de la economía.

Comprender el comportamiento de estos *commodities* y de las variables macroeconómicas que inciden sobre aquellos es de suma importancia para la evaluación de diversos proyectos mineros.

Constituye un desafío implementar nuevas herramientas matemáticas para el análisis de la evolución del precio de estos metales, frente a las alzas o bajas de distintas variables macroeconómicas. La combinación de variables macroeconómicas que han sido usadas históricamente en la elaboración de modelos predictivos de precio de metales son: demanda, tipo de cambio de monedas e índices de actividad industrial. Se analizará los efectos de incorporar variables macroeconómicas tales como la producción mundial, precio del petróleo e índice S&P500.

Se desea encontrar relaciones de causalidad entre el precio de metales y el resto de las variables consideradas. Los resultados que se desprendan serán valiosos, ya que ayudará a los agentes de inversión de proyectos mineros a tener en consideración algunas variables que influyen en el comportamiento actual de los metales no ferrosos, frente a la presencia de actores relevantes.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos Generales

- Estudiar la interrelación de los precios, consumo y producción de los metales no ferrosos.
- Se describirá los efectos que genera el conjunto de variables sobre sí mismas. Con los resultados, se plantean las variables que se deben tomar en cuenta a la hora de evaluar modelos de precio para la evaluación de inversiones mineros de gran envergadura.

1.2.2. Objetivos Específicos:

- Utilizar la herramienta econométrica “Vector Autorregresivo en Datos de Panel” (PVAR) para generar modelos econométricos que relacionen las variables macroeconómicas consideradas en el presente estudio.
- Aplicar los test de causalidad para identificar qué conjunto de variables macroeconómicas ayudan a predecir el precio de los metales. Encontrar relaciones de causalidad entre el conjunto de variables macroeconómicas.
- Con el uso de PVAR, se utilizará las funciones impulso respuesta (abreviado FIR) para estudiar las interrelaciones entre variables.

1.3. Alcances

- La herramienta PVAR¹ y FIR fueron programados en el software STATA 10 por Inessa Love. No se propondrá mejoras a estos métodos matemáticos.
- El test de Causalidad de Granger aplicado a PVAR fue programado por el autor de esta memoria en el software STATA 10.
- Algunas transformaciones de datos se llevan a cabo mediante el software EVIEWS 7.
- No se propondrá modelos predictivos de precios de metales.

¹ I. Love. Economista del Banco Mundial.

2. Antecedentes

2.1. Proyectos mineros y precios de metales.

La valoración de proyectos mineros metálicos requiere de la apropiada modelación del comportamiento futuro del precio del metal involucrado (o de los metales, en caso de ser un yacimiento polimetálico). Lo anterior es muy importante, ya que en la mayoría de los casos el horizonte en que se pactan los contratos de venta es muy pequeño en relación al horizonte de producción y desarrollo de una operación minera.

La dependencia del valor de un proyecto minero de la dinámica del precio de metal extraído es estrecha. Sin embargo, la flexibilidad operacional puede agregar valor a un proyecto minero siempre que se tenga claridad con respecto a los escenarios probables que se puedan generar en el mercado.

En la Figura 1 se muestra la proyección del precio del cobre de 5 a 10 años futuro, realizadas el 2009 por diversas empresas. Se aprecia las grandes diferencias entre las estimaciones IHS Global y Credit Suisse. Los estudios que llevan a cabo cada firma deben descansar en muchas ocasiones en hipótesis y supuestos que solo un pequeño grupo de economistas plantea.

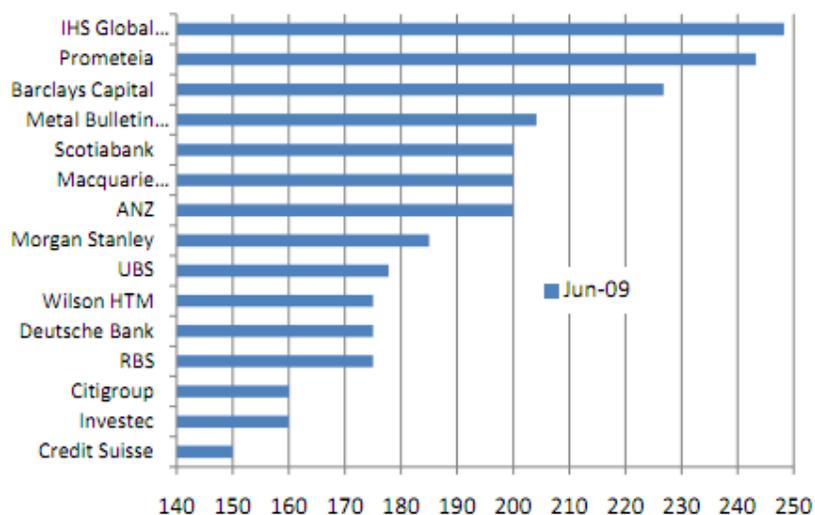


Figura 1: Consensus Forecast, precio real del cobre en c/lb.

2.2. Literatura previa.

A continuación se muestran las publicaciones científicas sobre las cuales se sientan las bases del presente trabajo. **Reinhart y Borenzstein (1994)** plantean que muchos modelos econométricos que han tratado de determinar el precio de los *commodities* se han sustentado en factores relacionados a la demanda. En el estudio se incorpora la oferta como variable.

También se añade como variable explicativa la producción de nuevos países². La incorporación de ambas variables mejora de manera sustancial el modelo predictivo. Los modelos son en frecuencia trimestral y anual. Se usa el dólar como variable explicativa del precio de los *commodities*. Además se usa el precio del barril como input de algunas funciones de producción que forman parte de los modelos

Los resultados muestran que los cambios en la oferta explican en un 40% la varianza del precio de los *commodities* entre los períodos 1971-1984 y en un 60% entre 1985-1988. De manera inversa, la producción industrial³ explica en un 25% la varianza en el precio de los *commodities*, pero esta proporción cae bruscamente a un 5% entre los años 1985-1988. En el año 1994 se sugiere estudiar el efecto que provoca la entrada de China en el escenario macroeconómico.

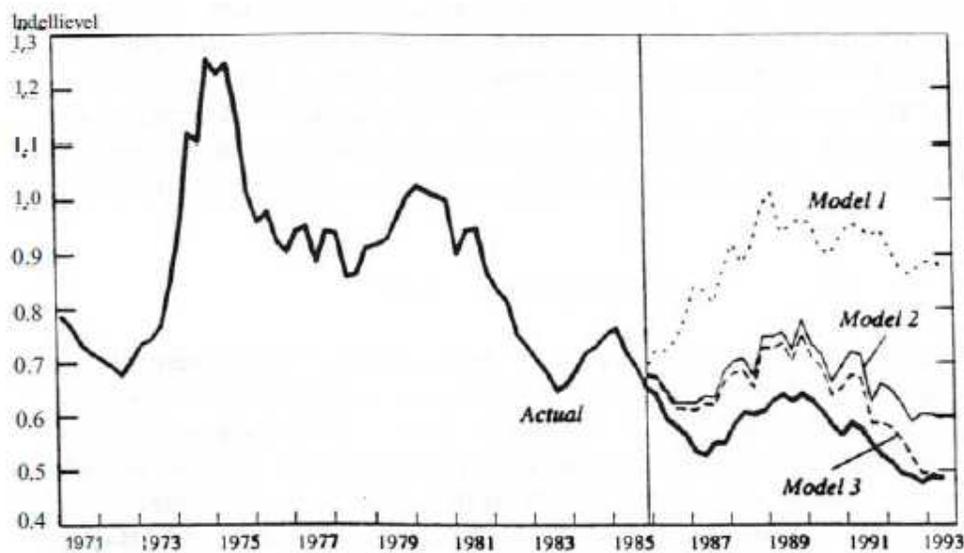


Figura 2: Resultados predictivos de precios de *commodities*⁴.

De acuerdo a la Figura 2, el primer modelo incorpora sólo demanda, el segundo modelo agrega la oferta al primer modelo. El tercer modelo agrega al segundo la producción de los nuevos países.

Palaskas y Varangis (1991) plantean que los *commodities* primarios⁵ tienden al comovimiento en sus precios. Se busca demostrar este comovimiento mediante el uso de test econométricos llamados test de comovimiento. Para series de datos mensuales, las variables macroeconómicas y los precios de otros *commodities* no son capaces de explicar por completo los cambios y las fluctuaciones en los precios de estos. Tampoco se cumple el exceso de comovimiento usando esta frecuencia. Con el uso de frecuencia trimestral y anual, el uso de

² Nuevos países de la disuelta URSS.

³ Índice de producción industrial.

⁴ Resultados de Reinhart, Carmen and Borenzstein (1994).

⁵ Handbook of primary commodities in the global economy (2010).

variables macroeconómicas logra explicar el movimiento del precio de *commodities* en el mediano y largo plazo.

Complementando a **Reinhart y Borenzstein** los autores **Cuddington y Jerrett (2008)** estudian el posible comienzo de un nuevo súper ciclo⁶ en los metales no ferrosos. Han existido, al menos, tres súper ciclos (Figura 3) con duraciones que varían entre 10-35 años. La amplitud de estos súper ciclos tienen variaciones de un 20% a 40% por sobre y bajo de la tendencia de cada metal. La publicación sostiene que hoy se presenta un cuarto súper ciclo causado por la industrialización y urbanización de China. La publicación señala la importancia de la producción de metales. Se sostiene que los súper ciclos son manejados principalmente por la variable de producción y esto tiene una causa subyacente en las tecnologías de producción.

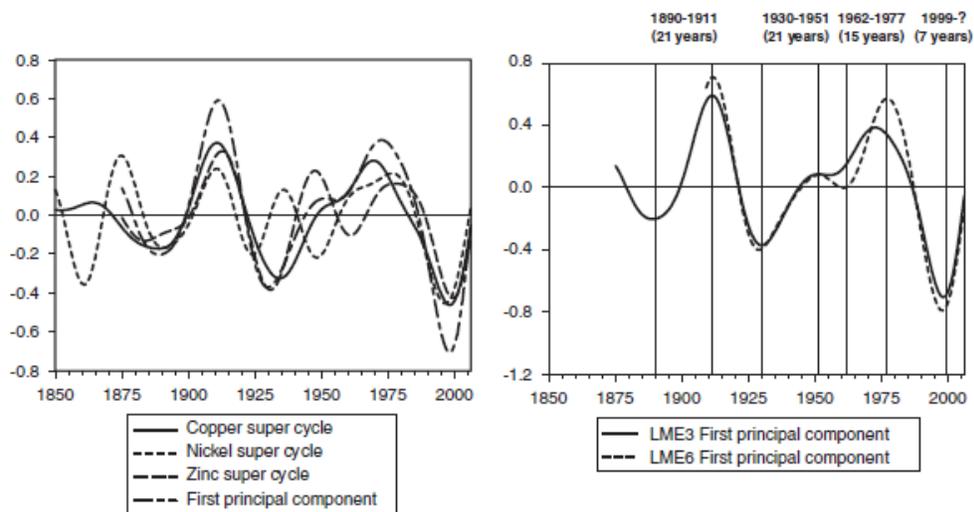


Figura 3: Súper ciclos de precios del conjunto de metales no ferrosos⁷.

Cuddington y Lian (2003) sostienen que la volatilidad del precio real de los *commodities* primarios es mayor bajo períodos flexibles en la tasa de cambio del dólar (La tasa de cambio del dólar es tomada con respecto al oro). Se concluye que el comportamiento del tipo de cambio del dólar tiene una importante influencia sobre los *commodities*. Se aprueba la hipótesis de que los períodos de mayor flexibilidad en la tasa de cambio del dólar están asociados con mayor volatilidad en los precios reales.

Kiseok Lee y Shawn Ni (2001) analizan los efectos causados por shocks en el precio del petróleo sobre la demanda y la oferta de diferentes sectores económicos. Los análisis de impulso respuesta indican que para sectores que tienen costos altos asociado al consumo de petróleo, los shocks producen un descenso en la oferta de estas industrias. En el caso de los metales no ferrosos, se genera una reducción en la demanda mundial tal como se muestra en la Figura 4.

⁶ Súper ciclo se entiende como una expansión en el precio de los metales en un período prolongado de tiempo.

⁷ Resultados de John T. Cuddington y Daniel Jerrett (2008).

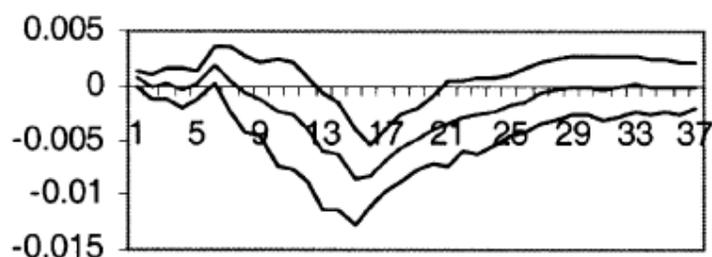


Figura 4: FIR. Respuesta de la demanda de metales no ferrosos frente a shocks en el precio de barril⁸.

Acosta y Fernández (2008) abordan los precios de cinco metales: aluminio, cobre, estaño, plomo y cinc. Lo que se busca es encontrar una relación entre el patrón temporal que se observa en los precios con indicadores de la actividad macroeconómica mundial. En este caso se utilizan variables macroeconómicas de siete países importantes de la OCDE más China: índices de producción industrial, tasas de interés y tipos de cambio. En este trabajo, se usa una herramienta conocida como El Filtro de Kalman⁹. Con esta herramienta se obtiene un componente común a las cinco series de precios, que es capaz de representar el estado general de la economía global. También se relaciona este factor con las variables macroeconómicas mencionadas, donde se estima una regresión entre el factor común y estos indicadores. Los resultados muestran que los precios de los *commodities* considerados en el análisis se ven afectados por el factor común a ellos. Se encuentra que el factor común tiene una relación significativa con el PIB de China.

2.3. Contexto actual del mercado de metales no ferrosos

De acuerdo a las necesidades de expansión que han ido experimentando las economías emergentes se configura el panorama actual de los metales. Estas economías han marcado un cambio los últimos quince años en los requerimientos de producción. El gran estallido del crecimiento Chino junto con el nuevo panorama que ofrecerá en un futuro cercano el *boom* de la demanda de India otorgará nuevos focos a diversos estudios para comprender las influencias que cada una de estas economías generarán en el comportamiento de los precios de metales. Hasta hoy el gran aumento en el valor de los precios ha sido causado por la expansión de la economía China. Países mineros como Chile estudian constantemente el dinamismo de la economía china para estudiar escenarios de inversión en minería.

Los cambios evidenciados en el sector minero de Chile.

En el caso de Chile la mayoría de las exportaciones de minerales se relacionan al consumo de China. El comercio entre Chile y China ha registrado un vertiginoso ascenso. En el año 1990 se exportó 91 millones de dólares, en 2004 alcanzó a 5.059 millones. El signo de la balanza comercial se ha tornado positivo para Chile a partir de los primeros años de la década del 2000. Gracias a ese dinamismo, China pasó a ser uno de los principales socios

⁸ Fuente: Resultados de Kiseok Lee y Shawn Ni (2001).

⁹ The Ensemble Kalman Filter: Theoretical formulation and practical implementation. Geir Evensen.

comerciales de Chile. Un acuerdo firmado en junio de 2005, Codelco garantizará un abastecimiento continuo de cobre vía China Minmetals a cambio de recursos frescos para financiar la expansión productiva de Codelco. En vista de los estrechos contactos en materia de comercio e inversión, ambos países suscribieron un Tratado de Libre Comercio, firmado en noviembre de 2005. Este es el primer acuerdo de este tipo que China suscribe con un país latinoamericano.

2.4. Antecedentes históricos del conjunto de metales

La producción de metales se ha ido adaptando al *boom* del consumo mundial. La Figura 5 presenta la evolución de la producción mundial de todos los metales desde tiempos de la postguerra hasta nuestros días.



Figura 5: Producción de todos los metales a lo largo de la historia¹⁰.

A continuación se describe las siguientes tendencias de cada uno de los seis metales considerando los actores relevantes:

-G7: Conjunto de países industrializados del mundo cuyo peso político, económico y militar es muy relevante a escala global. Está conformado por Alemania, Canadá, USA, Francia, Italia, Japón y Reino Unido.

-China: Es considerado como agente clave en la expansión del consumo de metales en la apertura del presente siglo.

-Resto del Mundo (RM): Todos los países excluyendo a China y al G7. El objetivo de este grupo es hacer comparativo los dos grupos anteriores.

- **Aluminio**

Es un material ligero y resistente. Se usa principalmente en la industria automotriz e inmobiliaria. El precio del aluminio¹¹ alcanzó los 2.700 USD/ton en diciembre de 2007. En

¹⁰ Fuente: USGS.

diciembre del 2008 cayó a 2.141 USD/ton. En 2009 la contracción continuó en contraposición al proceso de recuperación de la economía global. En 2010 comenzó la recuperación, los precios de venta evolucionaron en un 23% lo cual compensó la caída evidenciada durante la crisis. La tendencia al alza no se ha detenido hasta hoy. La producción mundial de aluminio primario ha crecido en 40 millones de toneladas los últimos 50 años.

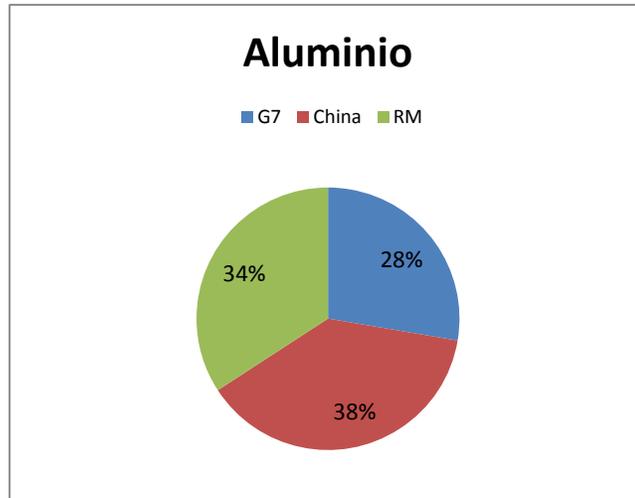


Figura 6: Consumo acumulado de aluminio refinado desde enero-08 a diciembre 2010¹¹.

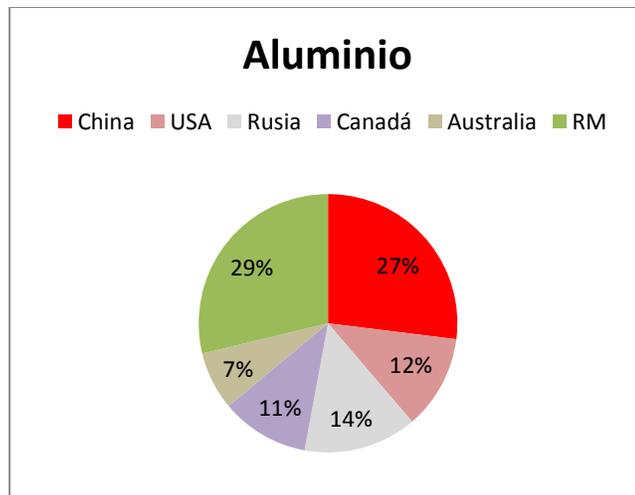


Figura 7: Producción acumulada de aluminio refinado desde enero-95 a diciembre 2010.

- **Cobre**

El cobre es el tercer metal más utilizado detrás del hierro y el aluminio. Se extrae principalmente en Chile, Perú, China, Estados Unidos y Australia. Los precios de cobre comenzaron a experimentar un alza sostenida a partir de comienzos del 2000. En septiembre

¹¹ Los precios de los seis metales en estudio están referenciados a valores nominales tranzados en la Bolsa de metales de Londres

del 2001 el metal se cotizó en 1.430 USD/ton llegando a 8.300 USD/ton en mayo del 2006. Los elevados precios se mantuvieron hasta mediados del 2008 y cayeron bruscamente llegando a 3.110 USD/ton en diciembre del 2008. La recuperación no tardó en llegar. En febrero del 2011 se alcanzó valores de 9.880 USD/ton.

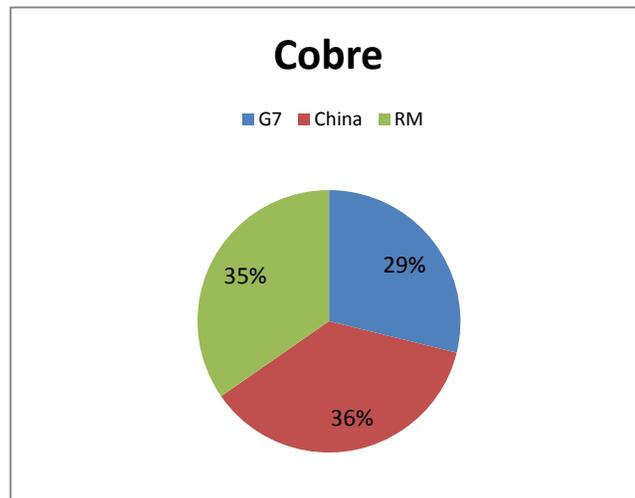


Figura 8: Consumo acumulado de cobre refinado desde enero-08 a diciembre 2010

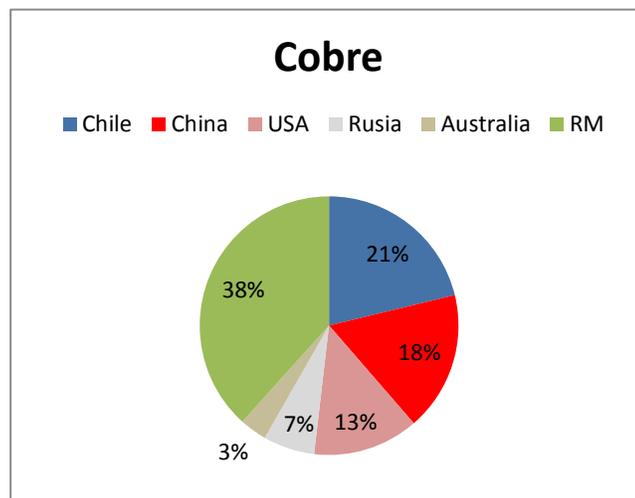


Figura 9: Producción acumulada de cobre refinado desde enero-95 a diciembre 2010.

Un aumento de 10% en la producción chilena de cobre genera una baja en el precio de 3,0% en el corto plazo¹². El consumo de cobre en las economías emergentes ha crecido considerablemente mientras que la tasa de consumo de los países industrializados tales como Estados Unidos ha caído. En el año 2002, China superó a Estados Unidos en volumen de consumo de cobre fino. El efecto del crecimiento chino triplicó el consumo mundial del metal

¹² Fuente: Codelco y Ministerio de Minería.

rojo entre los años 1999 y 2007. Con respecto a la producción de mineral, el 2007 cerca del 45% de la producción de cobre en mina fue extraído de Chile y Perú¹³.

- **Estaño**

El estaño se ha usado para la fabricación de bronce y para los revestimientos de piezas de cobre y hierro. El precio del estaño registró una tendencia creciente a finales del 2009, situándose por encima de los 17.000 USD/ton. En 2010 el precio registró una tendencia positiva llegando a 30.591 USD/ton en marzo del 2011, superior en 17,2% al precio registrado en diciembre 2010. Durante el año 2009, la demanda de estaño (como el resto de los metales) sufrió una disminución como resultado de la fuerte recesión. En 2010, se revirtió la situación debido a las condiciones del mercado post crisis¹⁴. A pesar de eso, el mercado del metal se mantuvo en déficit debido a la caída en la demanda de China. Se espera que el mercado de este mineral tenga un incremento en los precios si las preocupaciones sobre la crisis de deuda en Europa y China se mitigan. La producción mundial de estaño se ha situado cerca de 300 mil toneladas los últimos años. Cerca de una veintena de países producen minerales de estaño, son significativas las producciones de China, Indonesia, Brasil, Perú y Tailandia.

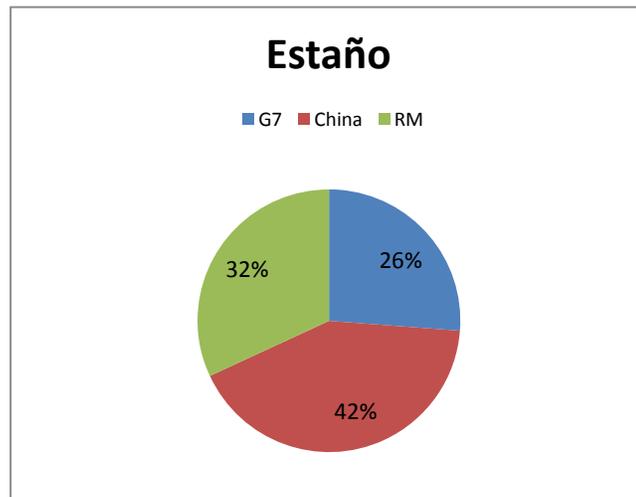


Figura 10: Consumo acumulado de estaño desde enero-2008 a diciembre 2010.

¹³ Fuente: Bloomberg.

¹⁴ Mejoras en el índice de confianza del mercado mundial en general.

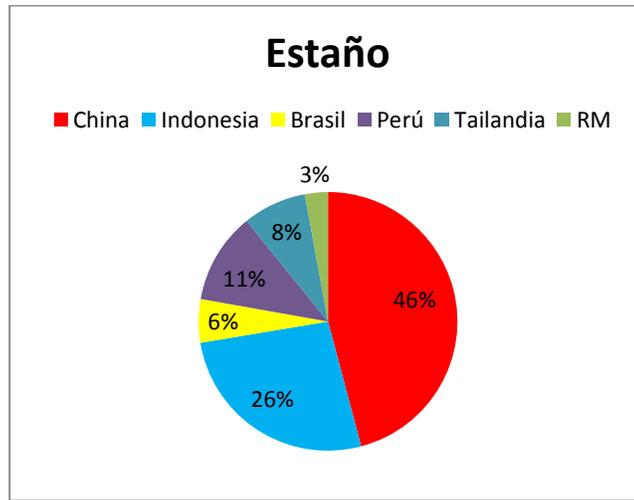


Figura 11: Producción acumulada de cobre refinado desde enero-95 a diciembre 2010.

- **Plomo**

Es usado para la fabricación de baterías, en la industria de la plomería y en la fabricación de instrumentales que aíslan la radiación electromagnética. Este metal alcanzó los 3.500 USD/ton a comienzos del 2008. Simultáneamente fue acompañado de una baja en su almacenamiento mundial. Con la crisis *subprime* el metal cayó a niveles cercanos a 1.000 USD/ton. Los principales consumidores de plomo son China, Estados Unidos y Alemania. El futuro de la utilización del plomo yace en las aplicaciones de baterías y el almacenamiento energético. Un 57% de la producción de refinado se localiza en sólo seis países: China, USA, Canadá y México. La mayoría de los depósitos minerales de cinc contienen al menos dos metales, siendo los más frecuentes un primer grupo compuesto por cinc, y plata y un segundo grupo compuesto por cobre.

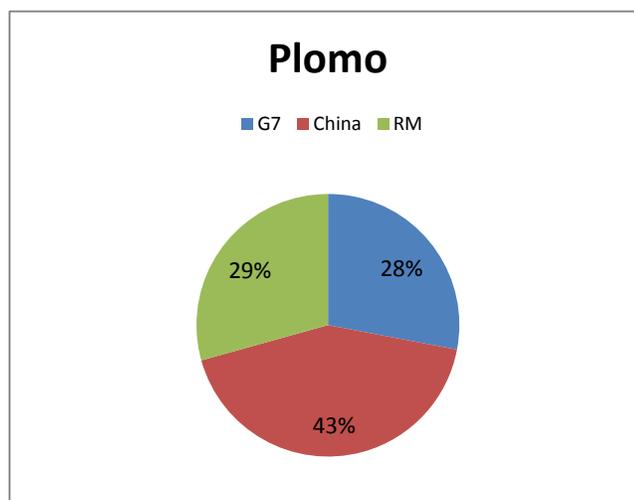


Figura 12: Consumo acumulado de plomo refinado desde enero-08 a diciembre 2010.

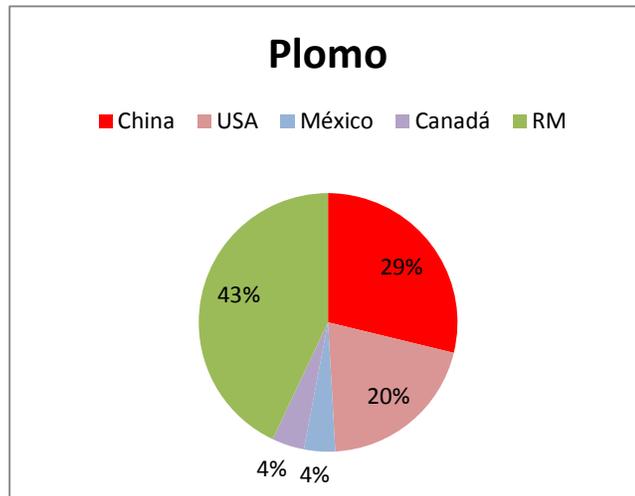


Figura 13: Producción acumulada de plomo refinado desde enero-95 a diciembre 2010.

- **Níquel**

Se utiliza en aleaciones duras, maleables y resistentes a la corrosión, fabricación de aceros acero inoxidable. Tiene gran demanda en la industria siderúrgica para la obtención de aceros de calidad y en muchas aleaciones con cobre, cromo, aluminio, plomo, cobalto, manganeso, oro y plata. En 2007 se cotizó en 51.780 USD/ton. En 2008 el metal llegó a 9.850 USD/ton, es decir, una caída superior a un 500% de su valor más alto. A partir de marzo del 2009 en adelante el precio experimentó una rápida recuperación llegando a 28.410 USD/ton en febrero del 2011.

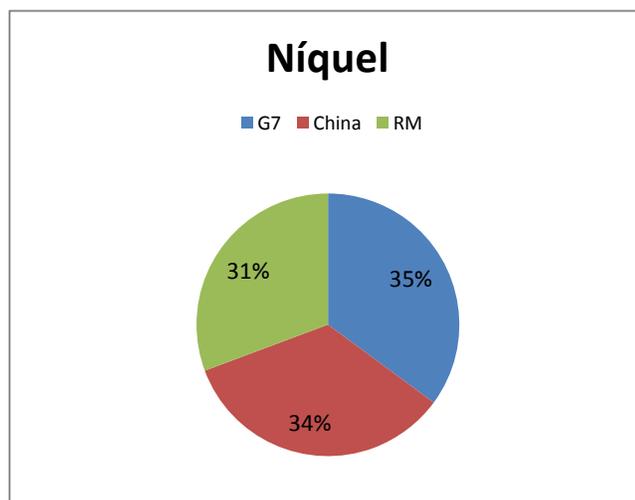


Figura 14: Consumo acumulado de níquel semi refinado desde enero-08 a diciembre 2010.

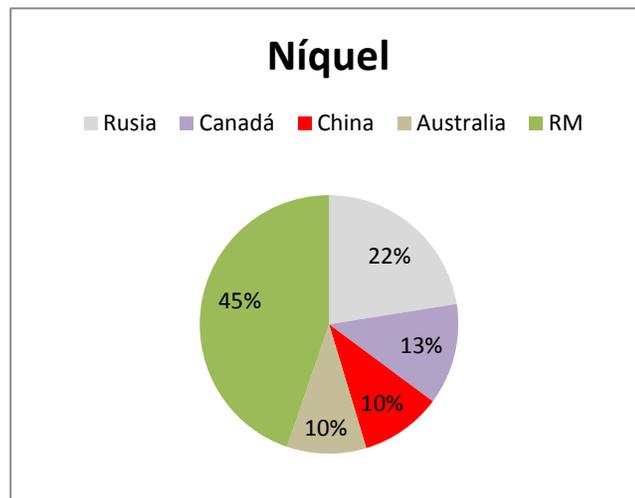


Figura 15: Producción acumulada de níquel refinado desde enero-95 a diciembre 2010.

Actualmente, el consumo de níquel sigue una tendencia positiva. A comienzos del 2009 el volumen de consumo llegó cerca de 1.300 mil toneladas métricas, teniéndose como el principal producto de exportación el “níquel sin alea” o también llamado “níquel semi refinado”¹⁵, este representa aproximadamente el 45% de todos los productos exportados de níquel. Los principales países consumidores del metal son China, Japón, Estados Unidos Alemania y Corea del Sur. Por otra parte, Canadá, Rusia, China y Australia son los principales productores de níquel semi refinado representando más del 50% de la producción.

- **Cinc**

El cinc es usado para la galvanización de aceros y proteger contra la corrosión, para la producción de latón y aleaciones de bronce. A principios del 2005 se cotizó cerca de 1.100 USD/ton. Posteriormente vino un rápido ascenso en los precios superando los 4.000 USD/ton en 2007. Por efecto de la crisis, en 2009, los precios cayeron a 1.000 USD/ton. Posterior a lo anterior, la tendencia ha sido positiva bordeando los 2.500 USD/ton a principios del 2011.

Se ha registrado un aumento del almacenamiento de cinc desde el 2008 al presente¹⁶. El consumo de cinc creció aproximadamente 9% en la última década. Los sectores de producción de galvanizado y matricería¹⁷ abarcaron el 73% del mercado. China es el mayor productor y consumidor de cinc refinado del mundo y se estima que el consumo de refinado en dicho país representa cerca del 42% del total mundial.

¹⁵ Fuente: Instituto Boliviano de Comercio Exterior

¹⁶ Monitoreo del almacenamiento efectuado por la LME.

¹⁷ Refiere a los modelos de matricería para diferentes usos industriales.

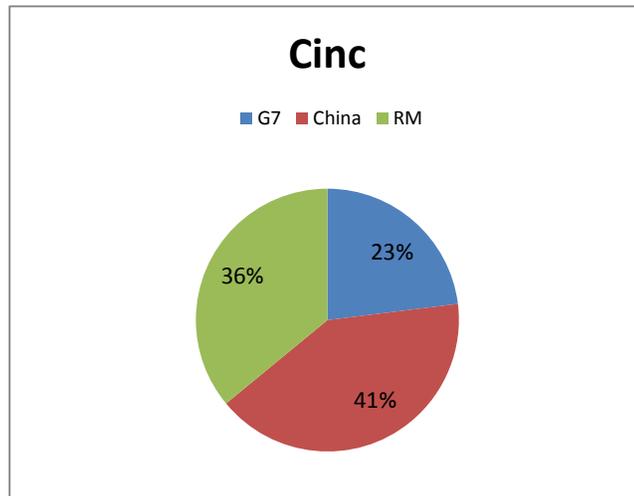


Figura 16: Consumo acumulado de cinc en desde enero-2008 a diciembre 2010.

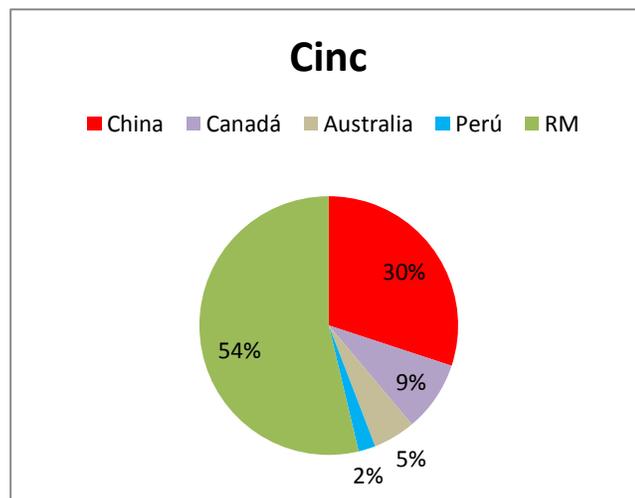


Figura 17: Producción acumulada de cinc refinado desde Enero-95 a Diciembre 2010.

-Comentarios:

Se tiene una marcada dominancia de China en el consumo de todos los metales refinados expuestos, superando al consumo del G7 y del resto de los países.

2.5. Herramientas Econométricas: PVAR y FIR

Vector Autorregresivo (VAR)

En situaciones reales es necesario predecir varias series de tiempo de manera “conjunta”, dado que puede estar relacionadas entre sí. Una de las metodologías es abordarlo

con modelos compuesto de varias ecuaciones simultáneas, por esta razón surgen como alternativa los modelos VAR¹⁸.

VAR¹⁹ es un sistema de ecuaciones, donde idealmente, el un número de ecuaciones es igual al número de variables en estudio. La variable en un VAR tiene carácter autorregresiva, es decir, que se presenta con rezagos en el sistema de ecuaciones. Por lo tanto, cada variable es explicada por los rezagos de sí misma y por las demás variables junto a sus rezagos.

El siguiente ejemplo de VAR es el más sencillo: intervienen dos variables llamadas “y” y “z”, explicadas en función de un rezago. Las variables $\{\varepsilon_{yt}\}$ y $\{\varepsilon_{zt}\}$ son ruidos blancos no correlacionados, con desviaciones estándar de σ_y y σ_z respectivamente. Las dos componentes de ruido blanco denominados “error estocástico” afectan igualmente los valores de las variables y_t y z_t en el período “t”.

El modelo se define de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} y_t &= b_{10} - b_{12}z_t + \gamma_{11}y_{t-1} + \gamma_{12}z_{t-1} + \varepsilon_{yt} \\ z_t &= b_{20} - b_{21}y_t + \gamma_{21}y_{t-1} + \gamma_{22}z_{t-1} + \varepsilon_{zt} \end{aligned}$$

De disponerse de suficiente data histórica. Los coeficientes pueden ser estimados consistentemente por MCO²⁰.

El sistema VAR en forma matricial se expone a continuación:

$$\begin{bmatrix} 1 & b_{12} \\ b_{21} & 1 \end{bmatrix} [y_t \ z_t]^t = [b_{10} \ b_{20}]^t + \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} \end{bmatrix} [y_{t-1} \ z_{t-1}]^t + [\varepsilon_{yt} \ \varepsilon_{zt}]^t$$

Abreviado con la siguiente notación matricial se tiene:

$$Bx_t = \Gamma_0 + \Gamma_1 x_{t-1} + \varepsilon_t$$

Pre-multiplicando por B^{-1} :

$$\begin{aligned} x_t &= A_0 + A_1 x_{t-1} + e_t \\ A_0 &= B^{-1} \Gamma_0 \\ A_1 &= B^{-1} \Gamma_1 \\ e_t &= B^{-1} \varepsilon_t \end{aligned}$$

¹⁹ VAR es la abreviación del inglés de Vector Autoregression (Vector Autorregresivo).

²⁰ Metodología de Mínimos Cuadrados Ordinarios.

Para efectos prácticos, se reescribe el sistema de ecuaciones de la siguiente manera, llamado “VAR estándar”:

$$\begin{aligned}y_t &= a_{10} + a_{11}y_{t-1} + a_{12}z_{t-1} + e_{1t} \\z_t &= a_{20} + a_{21}y_{t-1} + a_{22}z_{t-1} + e_{2t}\end{aligned}$$

Cabe notar que e_{1t} y e_{2t} tienen componentes de los dos shocks ε_{yt} y ε_{zt} :

$$\begin{aligned}e_{1t} &= (\varepsilon_{yt} - b_{12}\varepsilon_{zt})/(1 - b_{12}b_{21}) \\e_{2t} &= (\varepsilon_{zt} - b_{21}\varepsilon_{yt})/(1 - b_{12}b_{21})\end{aligned}$$

Para más detalles ver anexos, sección A.1.

Modelos con datos de Panel

Se dice que estamos en presencia de un conjunto de datos de Panel cuando se dispone, simultáneamente, de información de “corte transversal” y de “serie temporal”. El primero se refiere cuando se dispone de observaciones sobre determinadas características de un conjunto de agentes y el segundo cuando estos agentes se ordenan a través de un período continuado de tiempo. Matemáticamente, un Panel de datos se define del siguiente modo:

$$y_{it} = \{x_{1t}, \dots, x_{nt}\}$$

i: número de agentes.

t: número de períodos.

Los paneles de datos se distinguen unos de otros según su dimensión transversal y temporal. Paneles con un número muy amplio de observaciones transversales y un número de períodos pequeño se denominan “paneles micro”. Cuando el número de períodos es extenso y la información transversal es reducida se le denomina “paneles macro”. Cuando es extenso tanto en dimensión temporal como transversal se denomina un “campo aleatorio”.

Si el número de observaciones transversales es el mismo para cada período temporal se habla de “paneles equilibrados” o “paneles balanceados”.

Los modelos que se usan en el análisis con datos de Panel se pueden clasificar según los datos utilizados y según las relaciones entre las variables. El principal objetivo de aplicar y estudiar los datos de Panel, es capturar la heterogeneidad no observable, entre los agentes en estudio a través del tiempo. De la heterogeneidad no observable, se estudian los efectos individuales específicos y los efectos temporales.

En un Panel se pueden analizar o contrastar hipótesis que no es posible con una única sección cruzada. Por ejemplo, contrastar si ha habido diferencias en el comportamiento del consumo de las familias después de un cambio de política económica en un momento determinado del tiempo. Se puede realizar análisis dinámicos al incorporar la dimensión

temporal de los datos, en especial cuando se estudia períodos de grandes cambios. Los modelos de Panel son muy usados en la investigación del comportamiento en poblaciones de diversos tipos.

Panel Autorregresivo en Datos de Panel (PVAR) y funciones impulso respuesta (FIR)

Esta metodología llamada Panel Autorregresivo es equivalente a un VAR, donde el vector que compone el modelo es un Panel. A continuación se define un modelo de PVAR²¹:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \sum_{s=1}^n \alpha_s y_{i,t-s} + f_i + u_{it}$$

$y_{i,t-s}$: rezagos del vector

u_t : ruido blanco

α_0 : intercepto

α_s : coeficientes

f_i : efectos fijos

Y_{it} es el vector que contiene las variables del sistema para cada entidad²² denotada por “i” y el tiempo (o período) denotado por “t”. El efecto fijo “fi” es el efecto “idiosincrático” (constante a lo largo del tiempo).

PVAR es un método econométrico que descansa en el trabajo de **Holtz-Newey-Rosen (1988)**. Las FIR son una manera práctica de visualizar la interrelación de las variables. A modo de ejemplo, con un modelo PVAR compuesto de varias variables. Se desea analizar la interrelación entre un subgrupo de variables “x” e “y”. Se realizan “shocks” en la primera variable para ver los efectos que provoca sobre la otra y viceversa.

El término “**shock en la variable x**” se le denomina también “**innovación**” o “**impulso**” en la variable “x”. En este trabajo, un “**shock en x**” es el incremento positivo del valor²³ de esta variable previo a la respuesta de la variable “y”. Al generar un shock en “x” se mantiene sin efecto las innovaciones asociadas a las demás variables en todos los períodos sucesivos que se desea analizar.

²¹ Modelo AR(1).

²² Se entiende por entidad a la naturaleza de la variable en estudio. Pueden ser personas, empresas, poblaciones, etc.

²³ Ese valor corresponde al valor absoluto e_t . El “shock” por definición es positivo.

Las FIR tiene dominio entero y codominio real positivo. El valor de una FIR en un periodo “s” depende del valor de la FIR en los instantes previos, por lo que conserva su naturaleza autorregresiva.

2.6. Aproximaciones de modelos econométricos

Los modelos econométricos tienen dos aproximaciones: modelos econométricos estructurales y los modelos de series de tiempo²⁴. El primero se construye y se estima en base a la teoría económica, considerando variables dependientes y un conjunto de variables exógenas. El objetivo de los modelos estructurales es capturar las relaciones de tipo estructural, identificando la relación teórica entre las variable. Uno de los problemas de esta aproximación es la dificultad de tener pronósticos precisos²⁵. El segundo tipo de aproximación usa como premisa que las variables tienen una historia estadística recurrente que puede ser modelada para fines de pronóstico y predicción. En los modelos de serie de tiempo subyace la idea de que no se puede conocer completamente la estructura de la economía.

Con respecto a los modelos de series de tiempo se tienen dos tipos: modelos: univariados y multivariados. En el primer tipo, las variaciones se expresan como valores pasados de la variable y en términos de errores contemporáneos. El segundo tipo, reflejan la importancia de la influencia de otras variables observables que se conoce o se sospecha que están relacionados con la variable de interés²⁶. De este último tipo de modelos destacan los VAR, en donde no existe "a priori" una imposición de condiciones o restricciones de exogeneidad. Los modelos VAR son formas que toman en cuenta las interacciones que se presentan entre las variables. Sea $Y_t = (Y_{1t}, \dots, Y_{mt})$ un vector de variables que se desea modelar con un VAR, bajo las condiciones de exogeneidad conjunta y ergodicidad. La variable Y_t tiene la siguiente representación matemática:

$$\phi(L)Y_t = E_t$$

E_t : vector de términos de error estocástico.

La matriz $\phi(L)$ de orden “m x m” es una función de operadores de rezagos donde cada elemento de la matriz tiene la siguiente expresión²⁷.

$$\Phi_{ij} = \sum_{i=0}^{\infty} \Phi_{kj,i} L^i$$

Φ_{ij} : elementos de la matriz ϕ

²⁴ Fuente: Kennedy (1985); Granger y Newbold (1986).

²⁵ Fuente: Sims (1980).

²⁶ Fuente: Kling y Bessler, (1985).

²⁷ Descomposición de Wold.

L^l : operadores de rezago

Para llevar a cabo la estimación de la estructura autorregresiva infinita se tiene que aproximar a una estructura finita. La elección del número de rezagos de las variables elegidas que conforman el sistema VAR puede depender tanto de la teoría económica como de test econométricos.

La elección del tipo de modelo, dependerá en parte de la información que se tenga como la validez de los datos.

Los modelos univariados ARIMA²⁸ no incorporan información de tipo económica, por lo que se podría considerar una elección pobre de modelo de pronóstico. Sin embargo, ha tenido un éxito en la proyección de variables a corto plazo.

En los modelos multivariados las predicciones descansan entre la aproximaciones tradicionales de ecuaciones simultáneas y los modelos de series temporales univariados. Los modelos VAR hacen uso de información proporcionada por la teoría económica, esto hace que el modelo predictivo sea mejor en muchos casos prácticos.

2.7. Casos de aplicación de PVAR

Con los siguientes antecedentes de estudios se pretende resumir la importancia de la herramienta que ha dado pie a avances progresivos en distintas ramas científicas.

Love y Zicchino (2006) aplican PVAR para estudiar la relación dinámica entre las condiciones financieras y el nivel de inversión. A través de las FIR se comprueba que el factor financiero de las compañías tiene un efecto sobre el nivel de inversión de éstas. Se descubre qué grado de impacto genera un alza de los factores financieros sobre el nivel de inversión. La publicación muestra que en países con sistemas financieros menos desarrollados se tiene mayores restricciones de financiación.

Klein (2010) estudia la relación inversa entra la intensidad de uso de petróleo y el crecimiento a largo plazo. El estudio explora las relaciones entre el sector petrolero y el no petrolero en cada país. Los resultados muestran que en economías con baja intensidad de uso de petróleo, se presentan incentivos a fortalecer las instituciones fiscales y privadas. En economías con alta intensidad de uso de petróleo, se presentan débiles incentivos para fortalecer las instituciones fiscales.

Gavin y Theodorou (2003) mencionan que las economías de los países desarrollados deben compartir varias variables y parámetros en común que explican el comportamiento de sus economías. Se encuentra un modelo común de VAR para 15 países desarrollados²⁹.

²⁸ Para más información ver Applied Econometric Time Series.

²⁹ Países miembros de la OECD.

$$Y_{it} = A_i + B_i(L)Y_{i,t-1} + U_{it}$$

Y_{it} : vector que contiene las variables macroeconómicas.

A_i : vector de constantes.

U_{it} : vector de ruido blanco.

2.8. Test de Granger en Datos de Panel

El test de causalidad de Granger es usado para comprobar si los resultados de una variable ayuda a predecir a otra. Mediante un test de hipótesis se tiene que cumplir que la serie de tiempo “**x**” ayuda a predecir la conducta futura de una serie de tiempo “**y**”. Se aplicará el test de causalidad de Granger en datos de Panel³⁰ para las distintas variables escogidas que serán mencionadas en el capítulo de resultados con el objetivo de establecer el orden de exogeneidad entre las variables y construir PVAR consistentes. El test de Granger en datos de Panel es el test más adecuado para determinar el orden relativo de exogeneidad entre variables.

3. Metodología

Se presentan cada una de las variables escogidas en este estudio y la información relacionada al comportamiento de los datos. También se indican los supuestos e hipótesis que se requieren para llevar a cabo la construcción del PVAR.

Horizonte de tiempo y Frecuencia de Datos

Se tiene la opción de usar datos anuales, trimestrales y mensuales. Por la extensión del horizonte de tiempo y la naturaleza de las variables se usará datos trimestrales desde marzo de 1995 a diciembre del 2010. De acuerdo a **Palaskas y Varangis (1991)** estudiar el precio usando frecuencia mensual inhabilita que las variables macroeconómicas sean explicativas del precio, por otra parte, la elección de una base anual impediría tener suficiente información histórica.

3.1. Presentación de variables

Precios

Se usará el precio nominal de los seis metales no ferrosos que se tranzan en la Bolsa de Metales de Londres: aluminio, cobre, estaño, plomo, níquel y cinc. La Figura 18 describe la evolución de aquellos en la próxima página.

³⁰ M.V. Hood (2006) aplica el test de casualidad de Granger en datos de Panel.

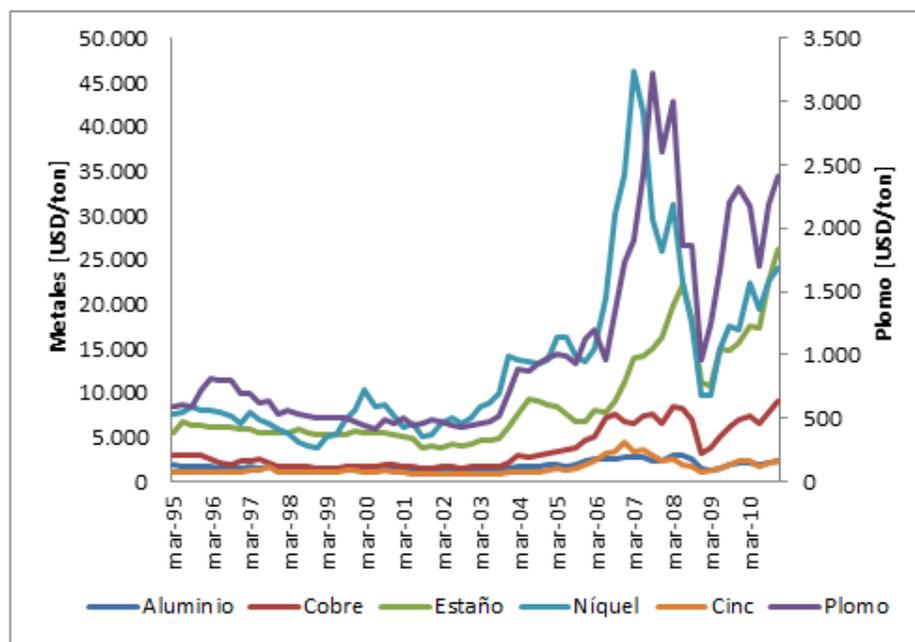


Figura 18 : Evolución de los precios nominales de los metales no ferrosos en frecuencia mensual³¹

Metal	Unidad	Aluminio	Cobre	Estaño	Plomo	Níquel	Cinc
Nºdatos		64	64	64	64	64	64
Media	[USD/ton]	1.789,74	3.593,13	8.721,56	1.040,60	13.244,14	1.483,18
Desv.est.	[USD/ton]	474,15	2.329,73	5.238,32	738,91	9.367,59	816,73
Mediana	[USD/ton]	1.609,23	2.637,34	6.195,95	711,55	8.836,08	1.108,93
Máximo	[USD/ton]	3.071,24	9.147,26	26.342,62	3.719,72	52.179,05	4.405,40
Mínimo	[USD/ton]	1.181,59	1.377,28	3.694,50	412,10	3.871,93	747,60
Kurtosis		0,02	-0,65	1,49	1,37	3,09	2,08
Skewness		1,05	0,94	1,51	1,47	1,73	1,67

Tabla 1: Estadísticas básicas de la serie de precios de metales.

En la Tabla 2, los precios de los metales tienen una alta correlación. Estas correlaciones ha despertado el interés de muchos economistas a estudiar el comovimiento de los *commodities metálicos*.

Correlación	Aluminio	Cobre	Estaño	Níquel	Plomo	Cinc
Aluminio	1,00					
Cobre	0,91	1,00				
Estaño	0,73	0,89	1,00			
Níquel	0,87	0,85	0,69	1,00		
Plomo	0,78	0,91	0,89	0,80	1,00	
Cinc	0,87	0,85	0,59	0,89	0,74	1,00

Tabla 2: Correlaciones entre las series de precios.

³¹ Fuente: Bolsa de Metales de Londres.

Consumo

Esta variable ha sido históricamente usada en la determinación de los precios dentro de un rango de meses semanas y días. Se accede a información histórica del consumo de metal refinado de todos los países. La información de las series de consumo fue obtenida de WBMS World Bureau of Metal Statistics.

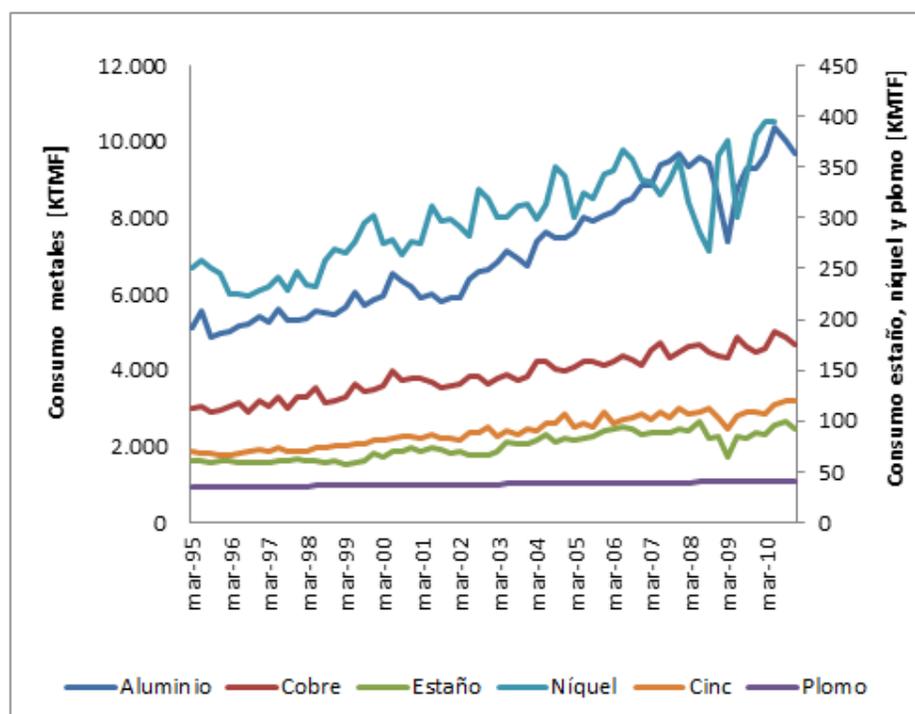


Figura 19: Evolución del consumo mundial de refinado de cada uno de los metales.

Consumo Metal	Aluminio	Cobre	Estaño	Plomo	Níquel	Zinc
Número de Datos	64	64	64	64	64	64
Media	7094.41	3865.41	74.76	1773.39	298.10	2393.52
Desv. est.	1627.23	575.22	12.80	326.41	45.93	410.62
Mediana	6667.18	3819.04	72.01	1702.90	299.84	2357.54
Máximo	10367.66	5010.39	99.33	2589.90	395.26	3205.50
Mínimo	4857.00	2901.11	57.05	1277.09	223.65	1776.58
Kurtosis	-1.22	-1.02	-1.38	-0.80	-0.76	-1.16
Skewness	0.41	0.03	0.23	0.44	0.16	0.16

Tabla 3: Estadísticas básicas del consumo de cada metal.

Producción

De acuerdo a las publicaciones de **Cuddington (2008)** y **Reinhart (1994)**, se incorpora la producción de metal refinado en base trimestral acumulada como variable explicativa del precio. La razón por la cual se usa base trimestral acumulada es otorgarle mayor suavidad a las curvas de producción.

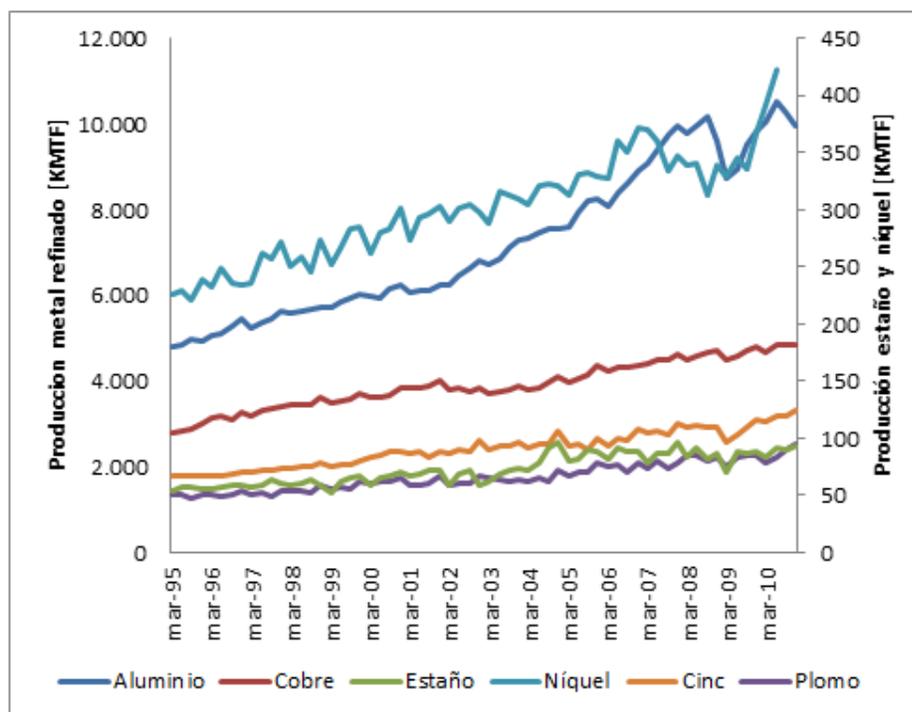


Figura 20: Evolución de la producción mundial de refinado de cada uno de los metales.

Producción metal	Unidades	Aluminio	Cobre	Estaño	Plomo	Níquel	Cinc
Nºdatos		64	64	64	64	64	64
Media	[KMTF]	5.486,02	3.912,79	73,09	1.763,90	300,74	2.420,71
Desv. est.	[KMTF]	1.440,17	553,22	70,91	324,09	45,32	421,51
Mediana	[KMTF]	5.093,47	3.843,02	13,23	1.690,30	302,15	2.410,51
Máximo	[KMTF]	8.294,52	4.837,10	96,78	2.536,18	423,38	3.329,89
Mínimo	[KMTF]	3.564,19	2.816,51	52,16	1.272,72	221,30	1.782,18
Kurtosis		-1,13	-0,89	-1,39	-0,84	-0,37	-0,94
Skewness		0,52	-0,01	0,22	0,44	0,20	0,15

Tabla 4: Estadísticas básicas relacionado a la data histórica de los seis metales tranzados en Londres.

Para más detalles acerca de la producción y el consumo de metales ver anexos, sección B.

Precio del petróleo

Su valor puede concebirse como un indicador de la actividad industrial mundial³². Se usa como variable explicativa en el nivel de producción y oferta de muchas empresas consumidoras que tienen diferentes niveles de intensidad de uso de petróleo, de acuerdo a Ni y Li (2001)³³.

³² 1 Barril = 42 Galones USA.

³³ On the dynamic effects of oil price shocks (2001).

Se usan precios nominales³⁴, promediados de Dubai Fateh, U.K. Brent y West Texas Intermediate.

Precio Petróleo	Unidades	Valor
Nºdatos		64
Media	[USD/barril]	43,93
Desv. est.	[USD/barril]	28,05
Mediana	[USD/barril]	30,94
Máximo	[USD/barril]	140,00
Mínimo	[USD/barril]	12,09
Kurtosis		0,81
Skewness		1,11

Tabla 5: Estadísticas del precio del barril de petróleo.

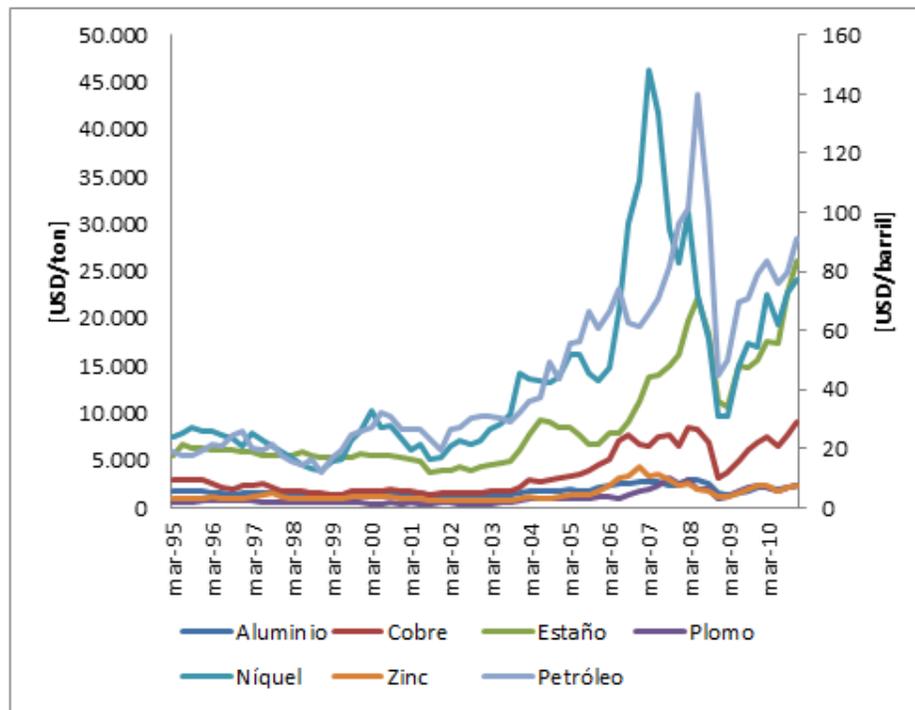


Figura 21: Precio del barril de petróleo acompañado del precio de los seis metales.

Tipo de cambio de dólar en [USD/SDR] y S&P500

El tipo de cambio del dólar se mide con respecto a una canasta de monedas fuertes usadas en el comercio internacional: euro, libra esterlina y dólar americano. Las proporciones y cantidades de cada moneda que conforman el SDR³⁵ son tomadas de acuerdo a la importancia relativa de cada moneda en el comercio mundial.

³⁴ Fuente: Banco Mundial.

³⁵ SDR: Derechos especiales de giro definidas fijada por el FMI como una canasta de monedas fuertes.

Diversos estudios³⁶ han mostrado que los modelos predictivos mejoran usando el tipo de cambio como variable. **Chen, Rogoff y Rossi (2008)**³⁷ plantean que el tipo de cambio del dólar tiene una cualidad robusta para la predicción global de precios de *commodities*.

Según **Robert F. Engle (2003)**³⁸ la variable **Standard & Poor's 500** (S&P500) es uno de los índices bursátiles de más relevancia en USA y se considera el más representativo de la situación real del mercado mundial. Este índice se ha usado como variable explicativa para predecir y estudiar el comportamiento de diversos *commodities*.

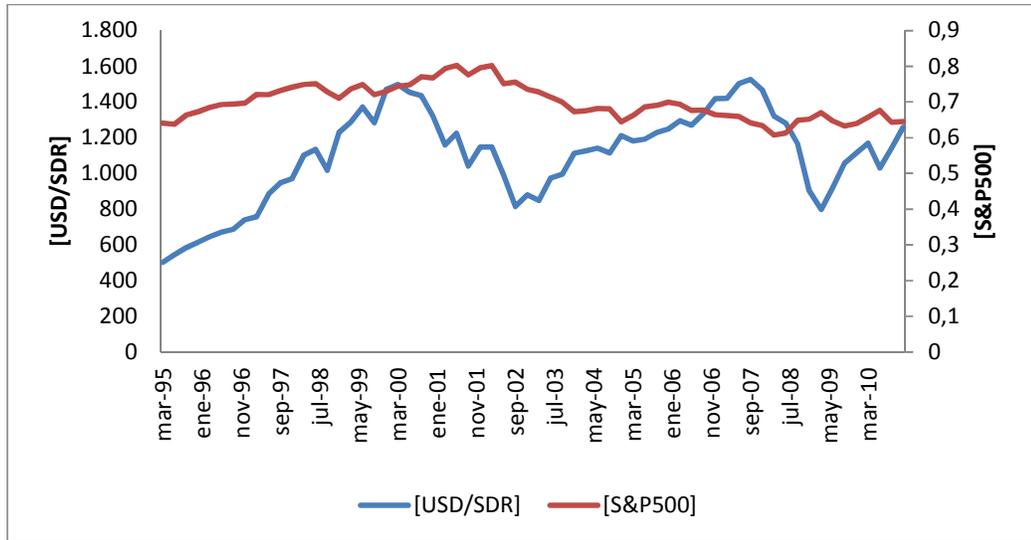


Figura 22: Evolución del tipo de cambio del dólar y S&P500.

³⁶ Base metals and gold prices: strong influence of US dollar valuation, Noll Moriaty (2010).

³⁷ Can Exchange Rates Forecast Commodity Prices? Chen, Rogoff, and Rossi (2008).

³⁸ Novel de Economía 2003.

Producto interno bruto

Acosta y Fernandez (2009) demuestran que los precios de los *commodities* metálicos se ven afectados por el PIB Chino³⁹. En esta sección se propondrá el análisis usando este indicador como variable. El estudio de Noll Moriarty (2009) relaciona los ciclos de precios de los metales no ferrosos con el PIB de Estados Unidos. El PIB de China se obtiene con forma escalonada, tal como se ve en la Figura 23. La curva se suaviza mediante el uso del filtro Hodrick Prescott⁴⁰ contenido en el software EVIEWS.

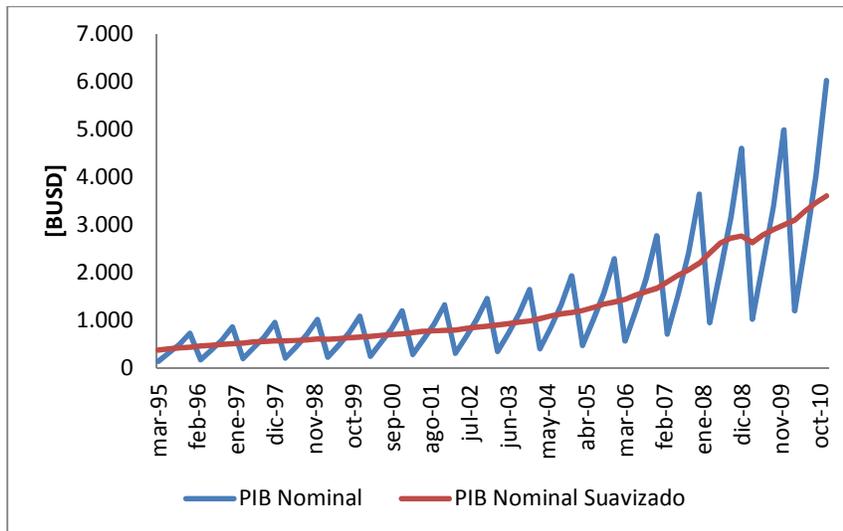


Figura 23: PIB de China suavizado.

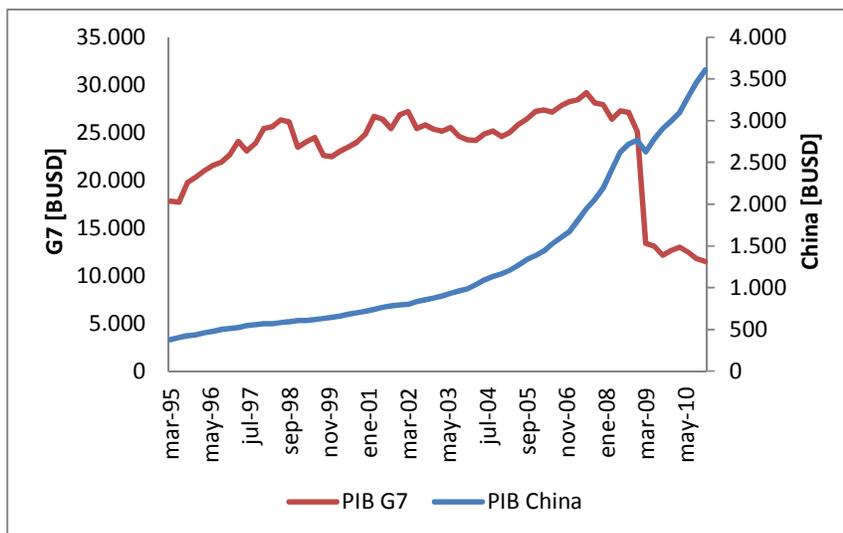


Figura 24: Evolución del PIB de ambos grupos.

³⁹ El PIB (Producto Interno Bruto) tanto de China como del G7 son obtenidos en Bloomberg en valores nominales.

⁴⁰ Para más información se puede ver la publicación de Mark W French (2001).

PIB	Unidades	China	G7
Número de Datos		64	64
Media	[BUSD]	1.293,23	23.310,47
Desv. Est.	[BUSD]	910,09	4.734,25
Mediana	[BUSD]	887,52	24.855,23
Máximo	[BUSD]	3.607,87	29.188,46
Mínimo	[BUSD]	376,47	11.465,74
Kurtosis		0,00	1,02
Skewness		1,12	-1,42

Tabla 6: Estadísticas básicas del PIB Chino y del G7.

PIB	China	G7
China	1,00	
G7	-0,46	1,00

Tabla 7: Correlaciones entre PIB.

3.2. Endogeneidad y exogeneidad de variables

Al momento de aplicar las FIR se establecer un orden relativo de exogeneidad y endogeneidad entre variables. Estudiar la respuesta del precio frente al resto de las variables se establece el siguiente orden de exogeneidad y endogeneidad.

-Precio de los metales: variable endógena.

-Consumo, producción y producto interno bruto: son explicativas del precio, por lo que son consideradas exógenas con respecto a este y son endógenas con respecto al precio del petróleo, tipo de cambio del dólar y S&P500.

-Precio del petróleo, tipo de cambio del dólar y S&P500: son consideradas las variables explicativas exógenas.

También se estudiarán las respuestas del consumo, producción y precio del petróleo frente a cambios en el resto de las variables, los resultados deben mantener la premisa del orden de exogeneidad para su interpretación.

3.3. Especificación del modelo

3.3.1. PVAR

El modelo PVAR con el que se trabajará es de tipo AR(n) con efectos fijos. La ecuación se describe en la siguiente página.

$$Y_{it} = \Gamma_0 + \sum_{s=1}^n \Gamma_s Y_{i,t-s} + f_i + d_{i,t} + e_{it}$$

Donde Y_{it}^t estará conformado por subconjuntos del siguiente vector:

$\{\text{precio de petróleo}_t, \text{tipo de cambio}_t, \text{s\&p500}_t, \text{consumo}_{it}, \text{producción}_{it}, \text{precio de metales}_{it}\}$

A continuación se describen las partes de la ecuación:

Secciones Cruzadas

Las secciones cruzadas ordenadas por “i” refieren al tipo de metal:

1=Aluminio, 2= Cobre, 3=Estaño, 4=Plomo, 5=Níquel y 6=Cinc

Serie de tiempo

Para todas las variables se tiene: $t=1 \dots 64$.

Lo que equivale que las series son trimestrales que parten del primer trimestre del año 1995 ($t=1$) al último trimestre del año 2010 ($t=64$).

Coefficientes:

$$\Gamma_s, s = 1 \dots n.$$

Representan los parámetros determinados por GMM⁴¹. Se considera el intercepto nulo Γ_0 ⁴². Al derivar la función PVAR para el cálculo de las FIR, el intercepto desaparece y no es un parámetro que defina parte de los resultados. Para ver los valores de cada coeficiente según el modelo ver anexos, sección D.

Efectos Fijos

$-d_{i,t}$: efectos fijos de tiempo. Estos capturan alteraciones temporales que ocurren en todas las secciones cruzadas de la misma manera.

$-f_i$: efectos fijos estáticos, aseguran la heterogeneidad individual en las variables.

⁴¹ Computing Generalized Method of Moments and Generalized Empirical Likelihood with R. Chausse (2010).

⁴² Applied Econometric Time Series. Walter Enders.

Aleatoriedad

$-e_{it}$: introduce la aleatoriedad al modelo. Se le llama “error estocástico”. En PVAR, el ruido blanco se escala al orden de magnitud de los datos que se estudian⁴³.

Rezagos

Los siguientes test son usados para determinar el número de rezagos del PVAR:

- Akaike information criterion (AIC).**
- Hannan and Quinn information criterion (HQIC).**
- Schwarz -Bayesian information criterio (SBIC).**

Se usan los tres criterios. La elección de varios rezagos puede incrementar el error predictivo y la elección de un número bajo de rezagos puede dejar afuera información relevante sobre el pasado. Se le presta atención a los tres criterios y en especial al criterio HQIC, ya que ha mostrado buenos resultados en el estudio de series de tiempo trimestrales⁴⁴. Los resultados de los test se encuentran en anexos, sección E.

3.3.2. FIR

Se estudiarán las FIR del precio de metales, consumos de refinado, producción de refinado y precio del petróleo considerando las siguientes variables dentro de los modelos:

- Precio de metales**
- Consumo China**
- Consumo G7**
- Consumo Mundial**
- Producción Mundial**
- Precio del barril de petróleo**
- S&P500**
- Tipo de Cambio**

Método de Montecarlo

Muchas veces las FIR están construidas usando coeficientes estimados en una sola oportunidad. El cálculo de coeficientes añade error porque que se realiza sobre una muestra única (la muestra original). El objetivo es vencer esta limitación construyendo muchas muestras para realizar reiterados cálculos de PVAR y lograr así construir un intervalo de

⁴³ Los valores de ruido blanco en un período “t” deben reproducirse para reflejar una actualización acotado dentro de un -100% y 100% de variación con respecto a la variable en el período t-1.

⁴⁴ Time series 1.3 draft, Oscar Torres-Reyna, University of Princeton.

⁴⁵ Para más información ver texto Introduction to Econometrics (Stock & Watson).

confianza para el cálculo de las FIR. Con el modelo empleado (posterior a la remoción de los efectos fijos) en este trabajo se muestra los pasos de la metodología:

$$Y_{it} = \Gamma_o + \sum_{s=1}^n \Gamma_s Y_{i,t-s} + e_i$$

Los pasos de la metodología de Montecarlo son las siguientes:

1. Estimación de los coeficientes Γ_1 hasta Γ_n . Se denota Γ'_i al valor estimado de Γ_i .
2. Para la muestra que se tiene, se realiza una lista para representar la secuencia $\{\varepsilon_t\}$ y se calcula los valores de $\{\varepsilon'_t\}$ en base a la muestra original. De este modo, se dispone de los datos simulados para construir el modelo:

$$Y'_{it} = \Gamma'_o + \sum_{s=1}^n \Gamma'_s Y_{i,t-s} + e'_i$$

3. En este momento, se considera que no se sabe los valores de los coeficientes usados para generar la muestra $\{Y'_{it}\}$. Se reestima Y'_{it} .
4. Con el modelo recalculado, se determina su FIR y se realiza el gráfico.
5. Se repite del punto uno al cuatro quinientas veces para construir el intervalo de confianza.

A través de este método, no se necesita realizar suposiciones concernientes al coeficiente de determinación o a la distribución de coeficientes. Para la aplicación de este procedimiento es necesario aplicar la descomposición de Cholesky previamente.

Descomposición de varianzas

En cada análisis de FIR se obtendrá la matriz de descomposición de varianzas. El estudio de los valores en la matriz de descomposición de varianzas permitirá definir la importancia relativa entre las variables explicativas (más detalle sobre la descomposición de varianzas ver anexos, sección A.4).

3.4. Hipótesis econométricas

Las hipótesis econométricas que se exponen a continuación se deben cumplir de manera completa o bajo restricciones. La revisión de cada una de las hipótesis es necesaria en todo estudio econométrico para así asegurar la consistencia del trabajo que se realiza.

Hipótesis de linealidad en los parámetros

Establece la linealidad en los parámetros en la relación entre la variable endógena y las exógenas. En este trabajo todas las relaciones entre los parámetros son de naturaleza lineal.

Hipótesis de especificación correcta

Esta hipótesis plantea que las variables explicativas del precio son aquellas variables que de algún u otro modo han explicado su comportamiento. La hipótesis supone aceptar en la práctica dos cosas:

-Aceptar que siempre hay una teoría detrás que permite saber cuáles son las variables relevantes en cada modelo.

-Aceptar que sobre estas variables se dispone siempre de información correcta y adecuada.

En este trabajo se dispone de los antecedentes bibliográficos mostrados que identifica el rol que juega cada variable para explicar el precio de los metales.

Hipótesis de grados de libertad positivos

Los grados de libertad de un modelo se definen como la diferencia entre el número de datos disponible y el número de variables explicativas.

$$\text{grados de libertad} = n^{\text{a}} \text{ de datos disponibles} - n^{\text{a}} \text{ de variable sexplicativas}$$

Dado que se trabaja con series trimestrales con seis metales distintos dentro del período 1995-2010 y se tiene de seis variables explicativas, se tiene:

$$\text{grados de libertad} = 64 * 6 * -6 = 378$$

Esta hipótesis supone que es necesario tener como mínimo de tantos datos como parámetros a estimar. La hipótesis se cumple.

Hipótesis de parámetros constantes

La hipótesis supone que los parámetros determinados para el modelo son constantes en el tiempo. Si el período de muestras con el que se trabaja es muy amplio y heterogéneo es más difícil mantener esta hipótesis que si la muestra es corta y homogénea. En este estudio se asumen los parámetros constantes. La aplicación de PVAR impone esta restricción. Estos parámetros son determinados por GMM.

Hipótesis de independencia lineal entre las variables explicativas

Esta hipótesis implica que cada una de las variables explicativas usadas en un modelo contiene información subyacente o implícita que explica a la variable endógena y que no tiene las demás variables explicativas. De no cumplirse esta condición para todas las variables explicativas existiría variables que dependen linealmente de otras, esta situación es llamada multicolinealidad exacta. No se puede realizar un PVAR con las variables PIB y consumo, ya que en este caso se presentaría el problema.

Hipótesis referentes a las perturbaciones aleatorias del modelo

El término del error empleado en modelo de PVAR satisface las siguientes condiciones:

-*Esperanza nula*: en todo instante de tiempo $E(\varepsilon_t) = 0$, para todo $t=1,2,\dots,n$.

-*Varianza constante*: supone que se cumple la condición $Var(\varepsilon_t) = \sigma^2$ para todo $t=1,2,\dots,n$. Si la dispersión alrededor de la media de las perturbaciones cambia a través del tiempo, se habla de heterocedasticidad temporal. Es común la presencia de heterocedasticidad temporal en modelos donde se usan datos de sección cruzada. Esto no impedirá trabajar con PVAR⁴⁶.

Ausencia de autocorrelación en todo instante de tiempo: esto implica que la covarianza entre errores en distintos instantes de tiempo es cero. De ocurrir lo contrario, se ayudaría a predecir el error en tiempos futuros y los errores serían explicativos de algún u otro modo. Es frecuente que no se cumpla esta condición en algunos contextos relacionados al mercado de acciones. En fines prácticos esto se traduce que la matriz de autocorrelación sea aproximadamente diagonal en donde todas las covarianzas sean aproximadamente cercanas a cero.

Hipótesis de estacionariedad y transformación de datos

Todas las variables usadas en el presente estudio no son estacionarias⁴⁷. Esto no es un impedimento para el uso PVAR debido a que la condición de estacionariedad se relaja al momento de trabajar con un gran volumen de datos. De acuerdo a **Holtz-Newey-Rosen (1988)** es necesario transformar las variables para eliminar los efectos fijos en el modelo. Para la eliminación de los efectos fijos en cada sección cruzada (asociados al tiempo y asociados a cada sección cruzada) se le resta a cada dato el promedio del valor de la sección cruzada⁴⁸. Para la eliminación de los efectos fijos estáticos se aplica la transformación de Helmert⁴⁹. Una vez eliminado los efectos fijos se puede aplicar la regresión para el cálculo de PVAR y el cálculo de las FIR.

⁴⁶ Holtz-Newey-Rosen (1988).

⁴⁷ Los precios de los metales presentan raíz unitaria.

⁴⁸ Llamado Time Demeaning.

⁴⁹ Arellano y Bover (1995).

4. Resultados

Se presenta los resultados de los test de causalidad de Granger. Se presentan las FIR del precio de los metales, del consumo, producción y del precio del petróleo.

Se realiza comparaciones de las respuestas obtenidas para un horizonte de seis trimestres.

Las FIR se componen de tres curvas. Dos líneas obtenidas mediante simulación de Montecarlo (para 500 repeticiones de impulso-respuesta) para graficar la banda de error del cálculo de las FIR. La curva inferior corresponde a p5% y la superior p95% por lo que se trabajará con un intervalo de confianza del 95%. La línea intermedia representa la respuesta de la variable sin emplear Montecarlo.

Nomenclatura de las variables

Se señala la notación usada en los resultados de las FIR.

- **p**: precio de los metales. Se referirá a “precio”⁵⁰.
- **b**: precio del petróleo. Se referirá a “barril”.
- **pr**: producción mundial de refinado. Se referirá a “producción”.
- **usd**: tipo de cambio o dólar.
- **sp**: S&P500. Se referirá a “sp”.
- **cc**: consumo chino de refinado. Se referirá a “consumo chino”.
- **cg7**: consumo del G7 de refinado. Se referirá a “consumo g7”.
- **cm**: consumo mundial de refinado. Se referirá a “consumo mundial”.
- **gc**: PIB chino.
- **gg7**: PIB del G7.

4.1. Causalidades

De acuerdo a la metodología desarrollada por M.V.Hood (2006) se presentan los resultados de los test de causalidad de Granger aplicado a PVAR en la Tabla 8. Esta tabla contiene el estadístico asociado a la hipótesis nula: “la variable *exógena* no causa a la Granger la variable *endógena*”. La Tabla 9 contiene el estadístico y su p-valor asociado a la misma hipótesis. Rechazar la hipótesis nula implica que existe la relación de casualidad⁵¹. No se puede aplicar este método si se quiere hacer un test causalidad entre dos variables constantes a través de las secciones cruzadas. Para estudiar el precio del petróleo, tipo de cambio del dólar y S&P500 se aplica el test de causalidad de Granger en series de tiempo sin Panel y los resultados son entregados en la Tabla 9, similar al formato que entrega STATA.

⁵⁰ La variable **p** se presenta estandarizada.

⁵¹ La relación de casualidad se cumple para todo el panel, sin embargo, puede darse el caso que no ocurra y se cumpla para casi todas las secciones cruzadas.

Exógena	Endógena	F1	F2
cm	p	2,90	1,54
cc	p	4,13	0,88
cg7	p	0,50	7,20
pr	p	2,55	1,10
cm	pr	37,53	22,17
cc	pr	29,03	39,70
cg7	pr	9,26	0,18
b	cm	3,33	0,38
usd	cm	14,10	2,51
sp	cm	17,21	9,96
b	cc	8,33	2,40
usd	cc	2,16	0,63
sp	cc	2,72	3,92
b	cg7	18,25	1,40
usd	cg7	10,63	2,34
sp	cg7	22,92	29,72
usd	p	26,46	29,74
b	p	20,61	18,55
sp	p	12,92	15,94
cc	gc	7,74	28,24
cg7	gg7	4,06	8,80
gc	cc	0,75	1,57
gg7	cg7	0,31	0,70

Tabla 8: Resultados del test de Granger aplicado a PVAR.

En relación la Tabla 8, los estadísticos F1 y F2 (el primero considera un PVAR con tres rezagos y el segundo con cuatro rezagos) destacados en negro tienen asociado un p-valor menor o igual al 5%. Lo anterior implica el rechazo de la hipótesis nula, por lo que se cumple la condición de causalidad de Granger. Los datos subrayados en rojo tienen un p-valor superior a 5%, no se puede rechazar la hipótesis nula.

Exógena	Endógena	chi2	p-valor
usd	b	14,72	0,00
sp	b	5,74	0,05
b	usd	2,53	0,28
sp	usd	0,33	0,85
b	sp	8,23	0,02
usd	sp	5,50	0,06

Tabla 9: Test de Granger aplicado al barril, tipo de cambio del dólar y S&P500.

De acuerdo a la Tabla 9, se destaca en color negro el estadístico chi cuadrado y su p-valor menor o igual a 5%, los datos con p-valor superior a 5% se destacan en color rojo. Los valores de F de la Tabla 8 son calculados del siguiente modo⁵²:

- RSS1: suma de los residuos del modelo sin restricciones de causalidad considerando “p” rezagos.

⁵²M.V. Hood (2006).

- RSS2: suma de los residuos del modelo con restricciones de causalidad considerando "p" rezagos.

$$F = \frac{\left[\frac{RSS2 - RSS1}{p(N - 1)} \right]}{RSS1/[NT - N(1 + p) - p]}$$

p : número de rezagos del modelo.

N : número de secciones cruzadas.

T : número de períodos de las secciones cruzadas.

Los grados de libertad para determinar el p-valor asociado al F son Np y $NT - N(1 + p) - p$ respectivamente.

Al calcular PVAR usando un panel $Y_{it} = \{v1_{it}, v2_{it}, v3_{it}, v4_{it}\}$ se deben cumplir las relaciones de causalidad con el fin de asegurar que el modelo sea consistente. La causalidad de Granger en datos de panel se debe conceptualizar: *todas las secciones cruzadas de un vector causa a la granger la de otro vector dentro del panel*. De acuerdo a lo anterior se debe cumplir las siguientes condiciones:

v1 causa a la Granger v2.

v1 causa a la Granger v3.

v1 causa a la Granger v4.

v2 causa a la Granger v3.

v2 causa a la Granger v4.

v3 causa a la Granger v4.

A estas condiciones se le denominarán **“conjunto de condiciones de causalidad”**

El no cumplimiento de una de estas condiciones no impide la aplicación de PVAR pero se pierde consistencia para desprender conclusiones robustas en los resultados de las FIR.

Las relaciones de causalidad se cumplen para tres rezagos. Esto permite satisfacer el **“conjunto de condiciones de casualidad”**. Para cuatro rezagos, el consumo mundial y chino no ayuda a explicar el barril y el consumo mundial. Se desecha la aplicación de PVAR con cuatro rezagos.

En la Tabla 9, el dólar y sp predicen el comportamiento del barril. El barril y dólar predicen a sp. Sin embargo, el barril y sp no pueden predecir el dólar. Esto conlleva a imponer que la variable más exógena entre las tres es el dólar. Las otras dos variables no tienen un orden relativo de exogeneidad.

4.2. Variables precio de metales, producción y consumo

4.2.1. Respuesta del precio al consumo mundial y producción

El modelo PVAR considera el panel $Y_{it} = \{cm_{it}, pr_{it}, p_{it}\}$.

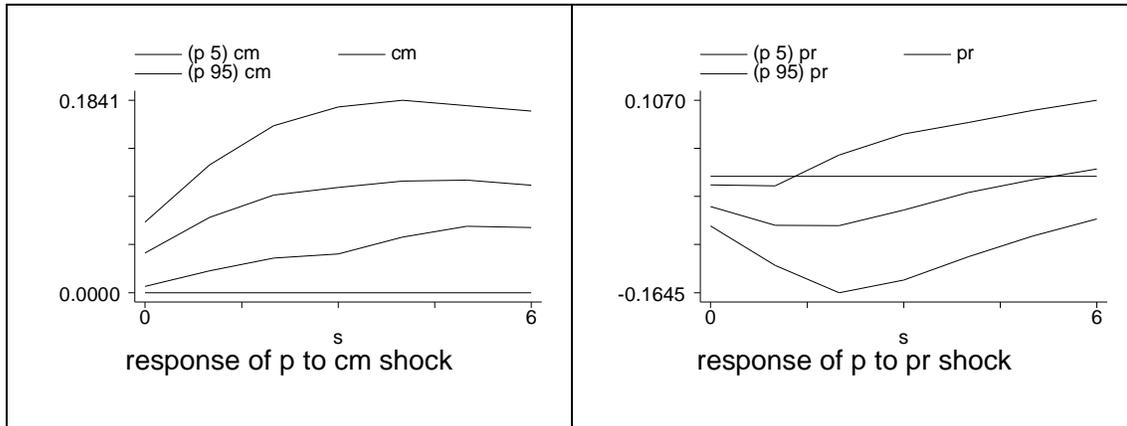


Figura 25: FIR. Respuestas del precio al consumo mundial y producción.

-La respuesta del precio al consumo mundial es positiva. El alza en los precios de los metales es de tres períodos.

-La respuesta del precio a la producción es negativa el primer período, luego experimenta una evolución positiva. La matriz de descomposición de varianzas es la siguiente:

	s	cm	pr	p
cm	10	0,68	0,14	0,19
pr	10	0,57	0,23	0,20
p	10	0,14	0,03	0,83
cm	20	0,63	0,23	0,14
pr	20	0,57	0,29	0,14
p	20	0,20	0,07	0,73

Tabla 10: Descomposición de varianzas.

Las variables ordenadas en filas representan las respuestas de las FIR y las ordenadas por columnas representan las variables explicativas. En las filas hay que prestar atención a las variable cm, pr y p. Los valores de “s” representan la prolongación del horizonte de tiempo del gráfico de FIR.

Hasta s=10

-El consumo ayuda a explicar un 13% al precio. La producción ayuda a explicar en un 2.9% al precio. El precio es la variable que ayuda a explicarse mejor a sí misma con un 83%.

-El consumo mundial explica un 67% al consumo mundial. La producción de refinado y el precio explican el consumo en 22% y 19% respectivamente.

-La producción es explicada en 57% por el consumo mundial, 23% por la producción y 19% por el precio.

Hasta s=20

-Aumenta la capacidad explicativa del consumo y la producción para el precio. Pierde capacidad explicativa el precio con respecto a sí misma.

-El consumo mundial se explica en gran medida por sí mismo. Adquiere protagonismo la producción.

-La producción es explicada en gran parte por el consumo mundial.

Respuestas de la producción y consumo

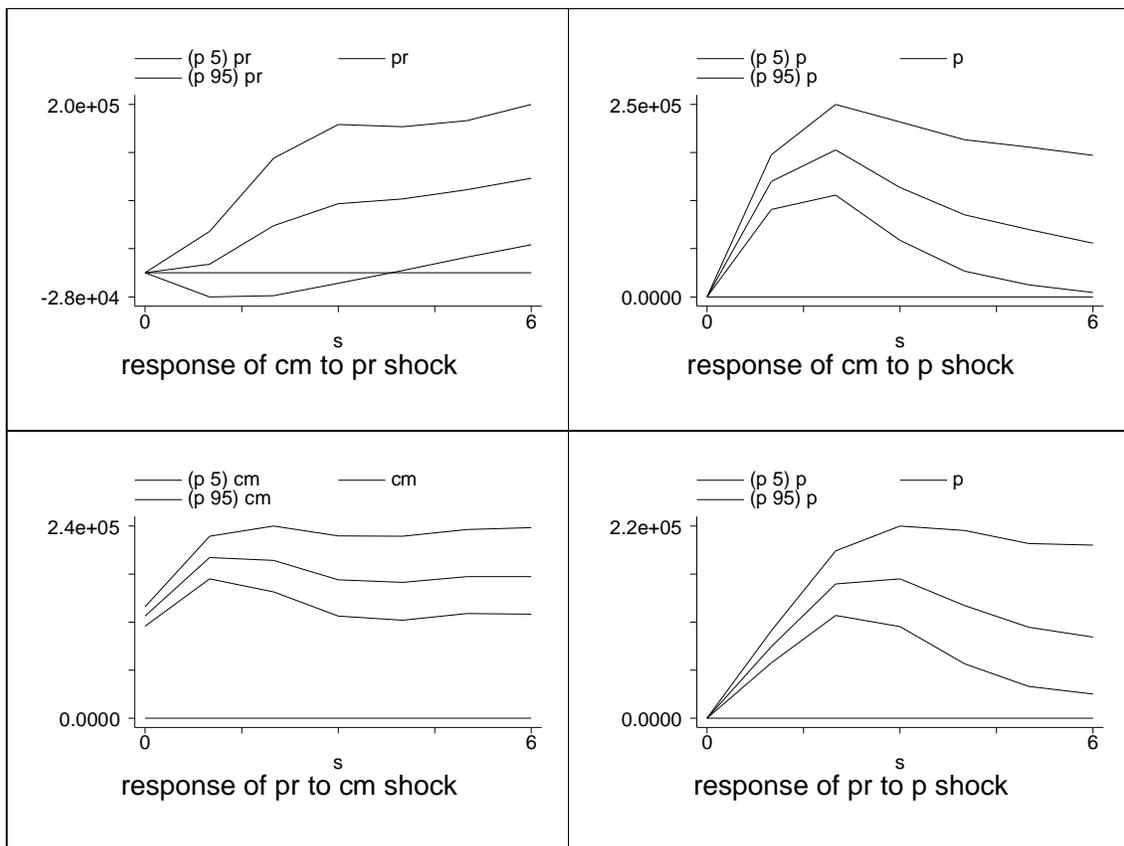


Figura 26: FIR. Respuestas de la producción y consumo mundial.

-La respuesta de la producción al consumo mundial es positiva. A su vez, la respuesta del consumo mundial a la producción puede ser positiva o negativa los primeros tres períodos.

-Las respuesta de la producción al precio es positiva y alcanza el máximo entre el segundo y tercer período. La respuesta del consumo mundial al precio es positiva y alcanza el máximo entre el primer y segundo período.

4.2.2. Respuestas del precio al consumo chino y producción

El modelo de PVAR considera el panel $Y_{it} = \{cc_{it}, pr_{it}, p_{it}\}$.

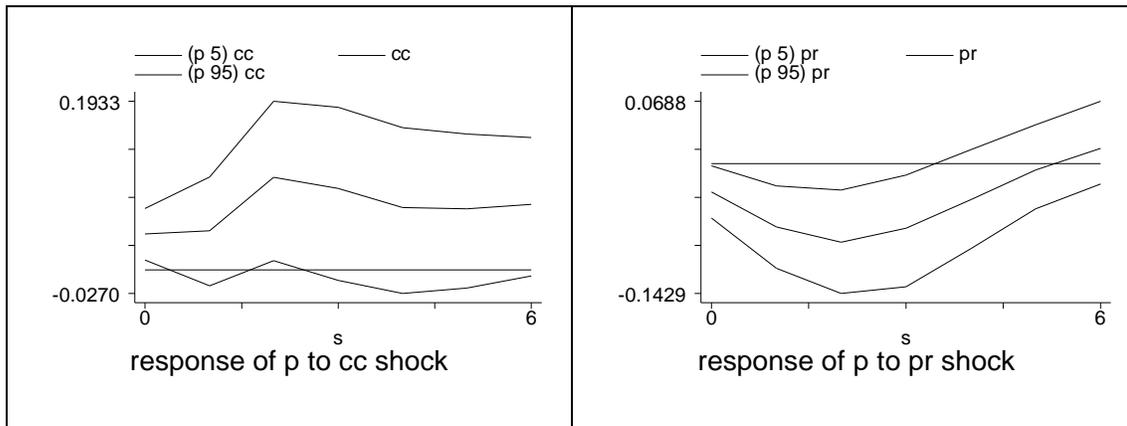


Figura 27: FIR. Respuestas del precio al consumo chino y producción.

-La respuesta del precio al consumo chino es positiva y alcanza el máximo antes del tercer período.

-La respuesta del precio a la producción es negativa y perdura dos períodos. En este modelo el precio es más sensible a los shocks de la producción. Los órdenes de magnitud de la respuesta del precio son similares al caso anterior.

	s	cc	pr	p
cc	10	0,97	0,01	0,02
pr	10	0,70	0,19	0,11
p	10	0,10	0,04	0,85
cc	20	0,94	0,05	0,01
pr	20	0,77	0,18	0,05
p	20	0,20	0,08	0,71

Tabla 11: Descomposición de varianzas.

Hasta s=10

-El consumo de china ayuda a explicar en 10% la evolución del precio y la producción un 4,3%. La incorporación del consumo de china hace más persistente la respuesta negativa del precio.

-El consumo chino es explicado en gran medida por sí mismo.

-La producción de refinado es explicada en un 70% por el consumo chino, 18% y 10% por la producción y el precio respectivamente.

Hasta s=20

-Para el precio, aumenta la capacidad explicativa del consumo y la producción.

-El consumo es explicado en gran medida por sí mismo, adquiere mayor protagonismo la producción.

-La producción sigue siendo explicada en gran parte en gran medida por el consumo chino.

Respuestas de la producción y el consumo

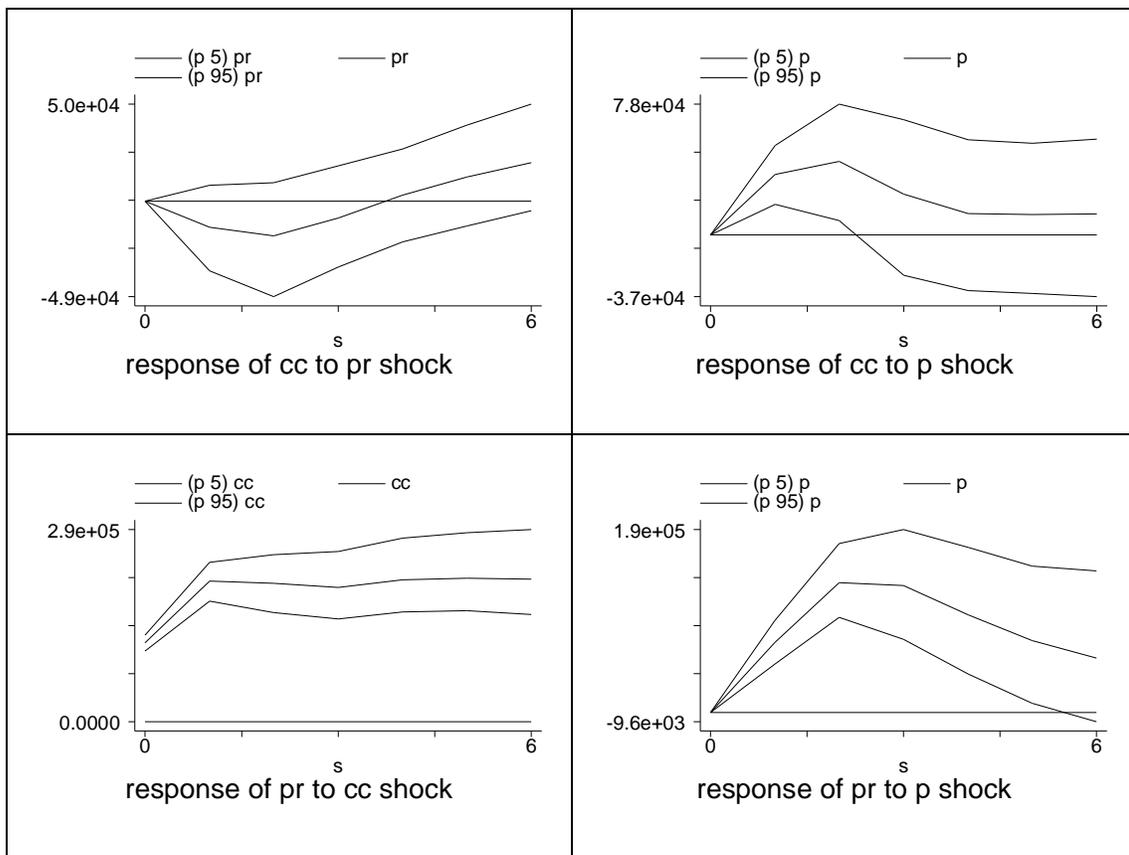


Figura 28: FIR. Respuestas de la producción y consumo chino.

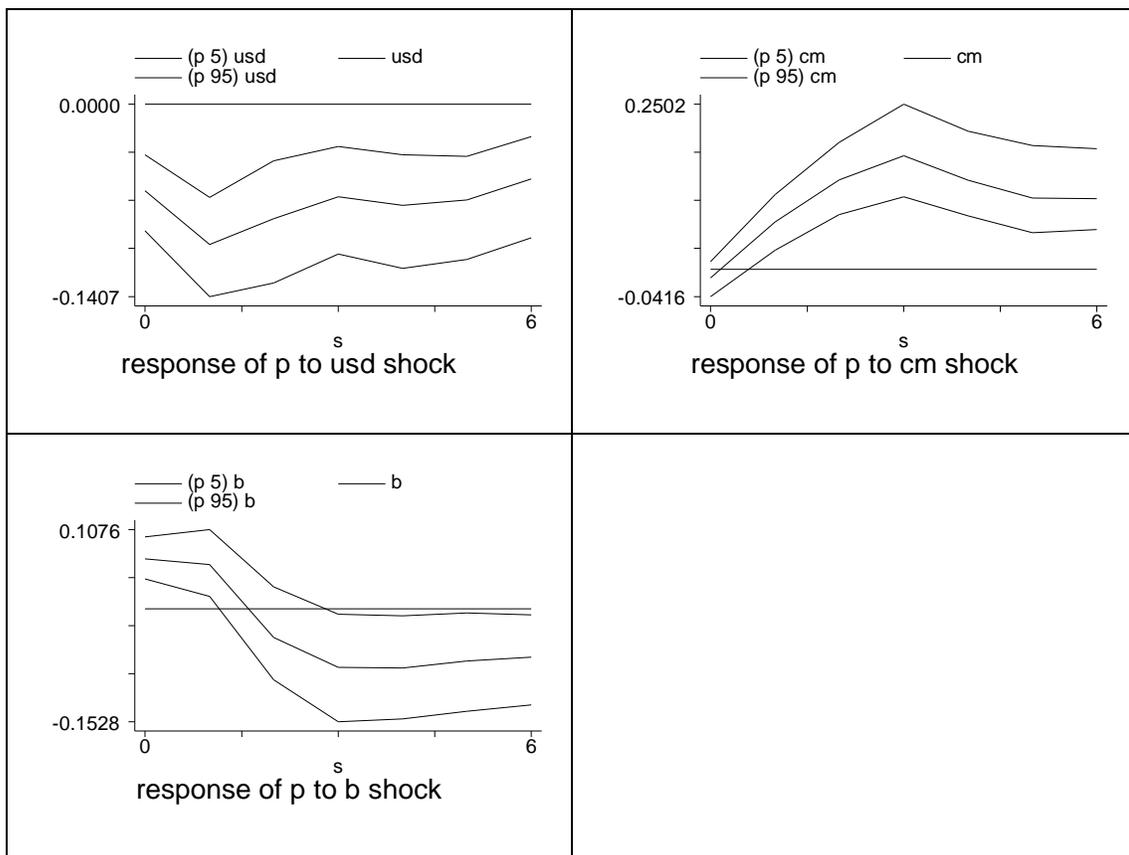
-La respuesta de la producción al consumo chino es positiva y muy parecida a la respuesta al consumo mundial. La respuesta del consumo chino a la producción de refinado es indefinida.

-La repuesta de la producción al precio es positiva y alcanza el máximo entre el segundo y tercer período. La repuesta del consumo chino al precio es positiva. Las dos últimas FIR son similares al caso de $Y_{it} = \{cm_{it}, pr_{it}, p_{it}\}$.

4.3. Variables tipo de cambio del dólar, precio del petróleo, consumo y precio de metales

4.3.1. Respuesta del precio al tipo de cambio, precio del petróleo y consumo mundial.

El modelo de PVAR condiera el panel $Y_{it} = \{usd, b, cm_{it}, p_{it}\}$.



29: FIR. Respuestas del precio al consumo mundial, producción y barril.

-La respuesta del precio al tipo de cambio de dólar es negativa el primer período, la tendencia los siguientes períodos es positiva.

-La respuesta del precio al barril es negativa, alcanza el mínimo en el tercer período y perdura por al menos cinco períodos más.

-La respuesta del precio al consumo mundial es positiva y alcanza el máximo en el tercer período.

	s	usd	b	cm	p
usd	10	0,48	0,17	0,34	0,00
b	10	0,06	0,39	0,50	0,06
cm	10	0,02	0,12	0,83	0,03
p	10	0,07	0,07	0,24	0,62
usd	20	0,28	0,17	0,53	0,01
b	20	0,03	0,26	0,66	0,04
cm	20	0,01	0,11	0,85	0,03
p	20	0,05	0,09	0,42	0,44

Tabla 12: Descomposición de varianzas.

Hasta s=10

-El precio es explicado en 7% por el tipo de cambio, 7% por el barril y 24% por el consumo mundial.

-El consumo mundial es explicado por el consumo mundial en 83% y 12% por el barril.

-El barril es explicado por el consumo mundial en 49% y por sí mismo 38%. El precio y el tipo de cambio están bajo el 5%.

Hasta s=20:

-El precio es explicado por el consumo mundial en 42%. El resto de las variables explican menos del 9%.

-El consumo mundial es explicado mayormente por sí mismo.

-El barril es explicado por el consumo mundial en 66% y por sí mismo en 26%.

Respuestas del consumo y barril

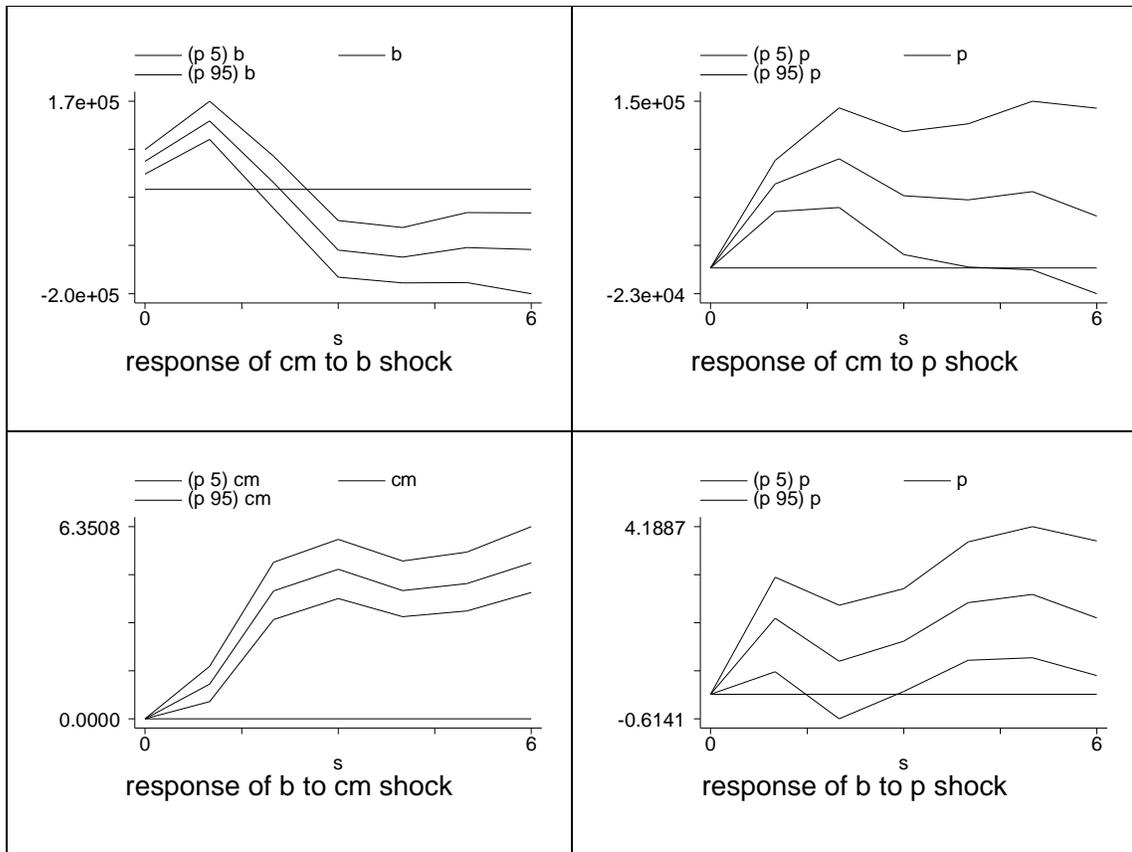


Figura 30: FIR. Respuestas del barril y consumo mundial.

-La respuesta del consumo mundial al barril es positiva dentro de los dos primeros períodos y luego decae. La respuesta del barril al consumo mundial es positiva y hasta el período seis no se estabiliza.

-La respuesta del consumo mundial al precio es positiva y alcanza el máximo entre el segundo y tercer período. La respuesta del barril al precio es positiva y no se estabiliza antes del quinto período.

4.3.2. Respuesta del precio al tipo de cambio, precio del petróleo y consumo chino.

El modelo de PVAR considera el panel $Y_{it} = \{ \text{usd} , b , \text{cc}_{it} , p_{it} \}$.

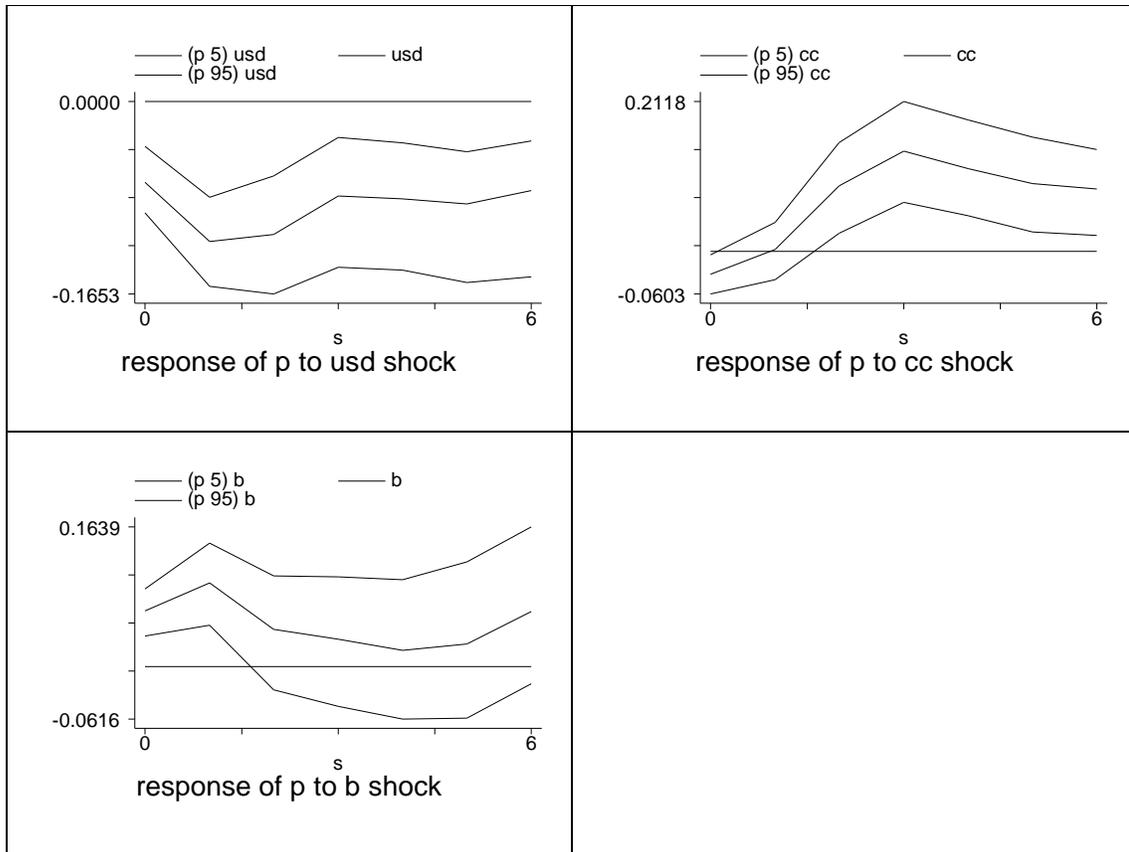


Figura 31: FIR. Respuestas del precio al consumo chino, producción y barril.

-La respuesta del precio al tipo de cambio es negativa y los siguientes períodos es positiva, similar al caso de $Y_{it} = \{ \text{usd} , b , \text{cm}_{it} , p_{it} \}$.

-La respuesta del precio al barril es positiva el primer período y negativa los siguientes. Se llega al mínimo al quinto período.

-La respuesta del precio al consumo chino es positiva y alcanza el máximo al tercer período.

	s	usd	b	cc	p
usd	10	0,67	0,03	0,28	0,02
b	10	0,10	0,46	0,33	0,12
cc	10	0,01	0,14	0,81	0,03
p	10	0,12	0,08	0,13	0,67
usd	20	0,44	0,08	0,45	0,03
b	20	0,07	0,34	0,49	0,09
cc	20	0,02	0,18	0,77	0,03
p	20	0,11	0,11	0,26	0,52

Tabla 13: Descomposición de varianzas.

Hasta s=10

-La evolución del precio es explicada en 11% por el tipo de cambio, 7,8% por el barril y 13% por el consumo chino.

-El consumo chino es explicado en 81% por sí mismo, en 14% por el barril, 1,4% por el tipo de cambio y 2,9% por el precio.

-El barril es explicado en 9% por el tipo de cambio, 45% por el barril, 32% por el consumo chino y 11% por el precio.

Hasta s=20

-El tipo de cambio aumenta la capacidad explicativa del precio. El consumo chino también aumenta explicando en 25% al precio.

-El consumo chino es explicado mayormente por sí mismo.

-El consumo chino aumenta su capacidad explicativa para el barril. Lo mismo que sucede en el caso de $Y_{it} = \{usd, b, cm_{it}, p_{it}\}$.

Respuestas del consumo y barril

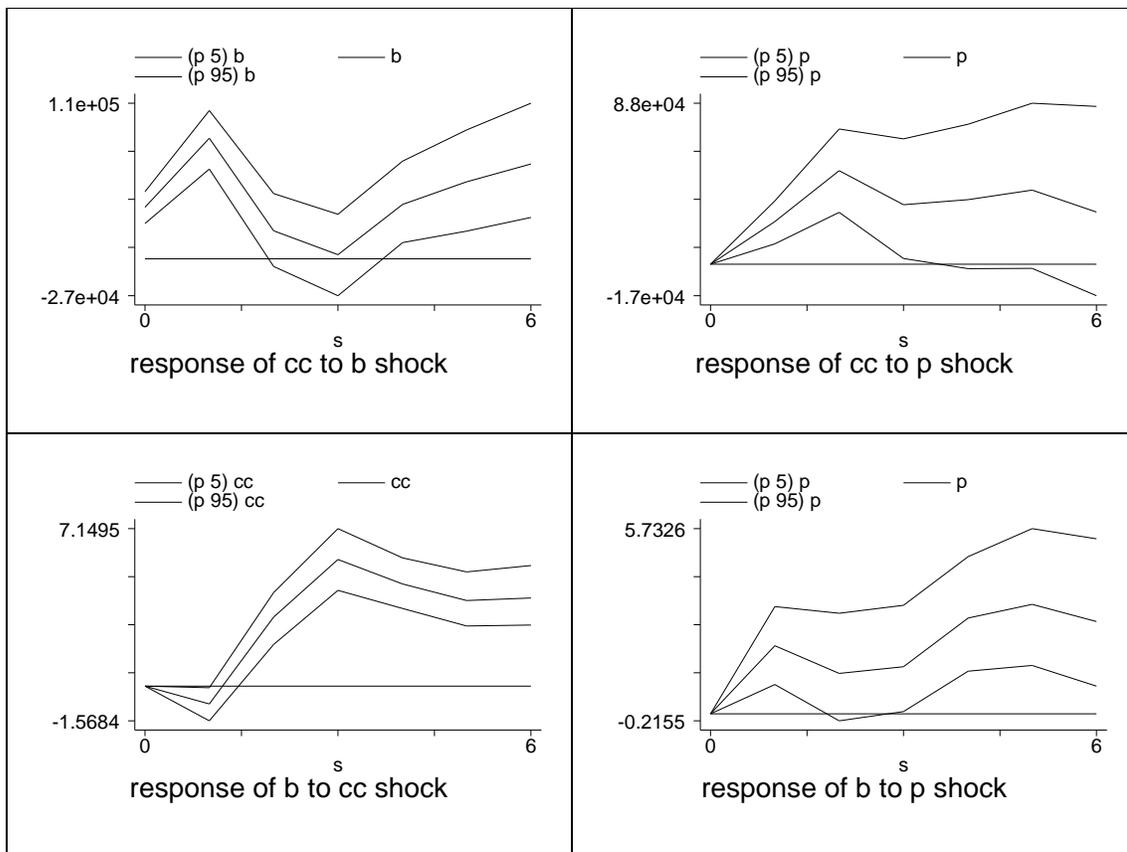


Figura 32: FIR. Respuestas del barril y consumo chino.

-La respuesta del consumo chino al barril es positiva los dos primeros períodos, luego llega al mínimo en el tercer período. La repuesta del barril al consumo mundial es positiva y se estabiliza al tercer período.

-La repuesta del consumo mundial al precio es positiva y alcanza el máximo entre el segundo y tercer período. La respuesta del barril al precio es positiva y no se estabiliza antes del quinto período.

4.4. Variables s&p500, precio del petróleo, consumo y precio de metales

4.4.1. Respuesta del precio a s&P500, precio del petróleo y consumo mundial.

El modelo de PVAR considera el panel $Y_{it} = \{sp, b, cm_{it}, p_{it}\}$.

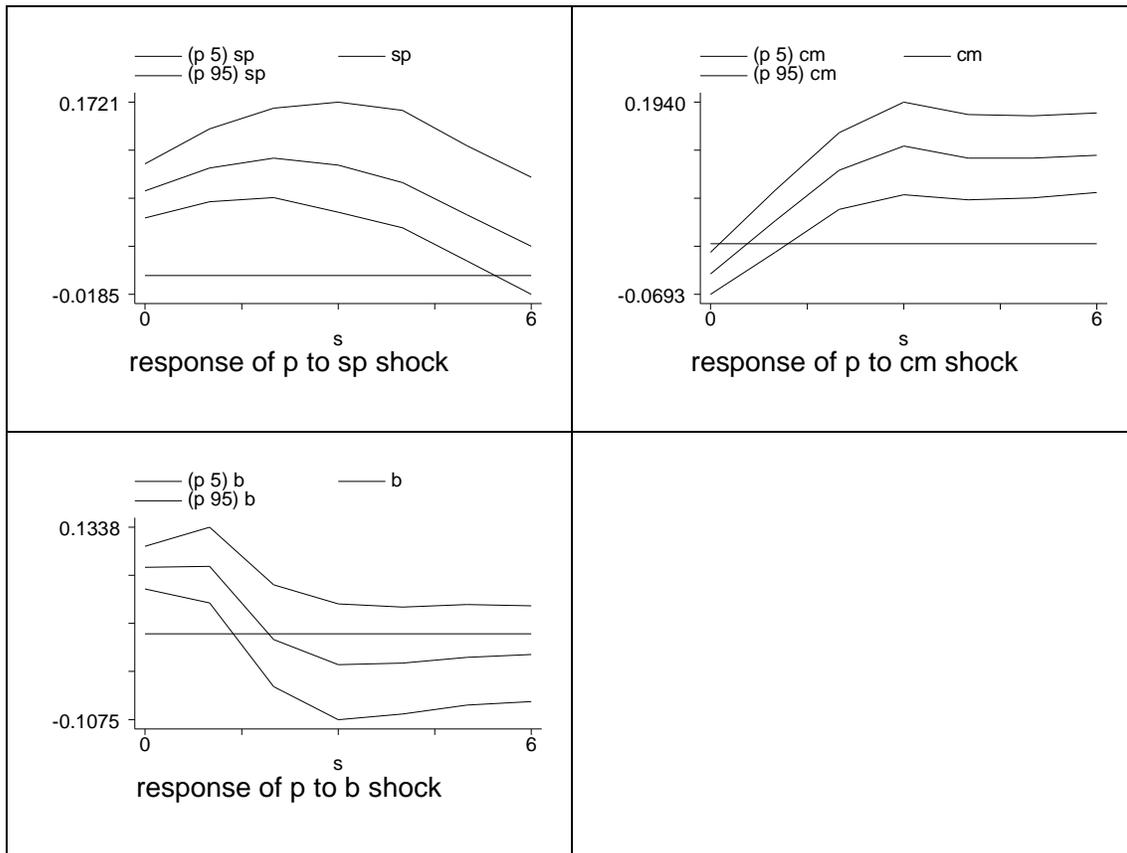


Figura 33: FIR. Respuestas del precio al consumo mundial, barril y S&P500.

-La respuesta del precio a sp es positiva y alcanza el máximo al tercer período.

-La respuesta del precio al barril es positiva el primer instante y luego cae llegando al mínimo al tercer período.

-La respuesta del precio al consumo mundial es positiva y alcanza el máximo al tercer período.

	s	sp	b	cm	p
sp	10	0,66	0,15	0,13	0,01
b	10	0,05	0,23	0,61	0,04
cm	10	0,03	0,03	0,89	0,02
p	10	0,09	0,02	0,35	0,49
sp	20	0,59	0,14	0,15	0,02
b	20	0,05	0,13	0,72	0,02
cm	20	0,04	0,06	0,82	0,01
p	20	0,07	0,05	0,56	0,24

Tabla 14: Descomposición de varianzas.

Hasta s=10

-El precio es explicado 34% por el consumo mundial y 54% por el precio.

-El consumo mundial es explicado principalmente por el consumo mundial en 89%.

-El barril es explicado por el consumo mundial y el barril con un 33% y 56% respectivamente.

Hasta s=20

-El consumo mundial aumenta 29% la capacidad explicativa del precio.

-La capacidad explicativa del barril al barril cae en más de 15%.

-El consumo mundial se explica a sí misma en 82%

Respuestas del barril y consumo

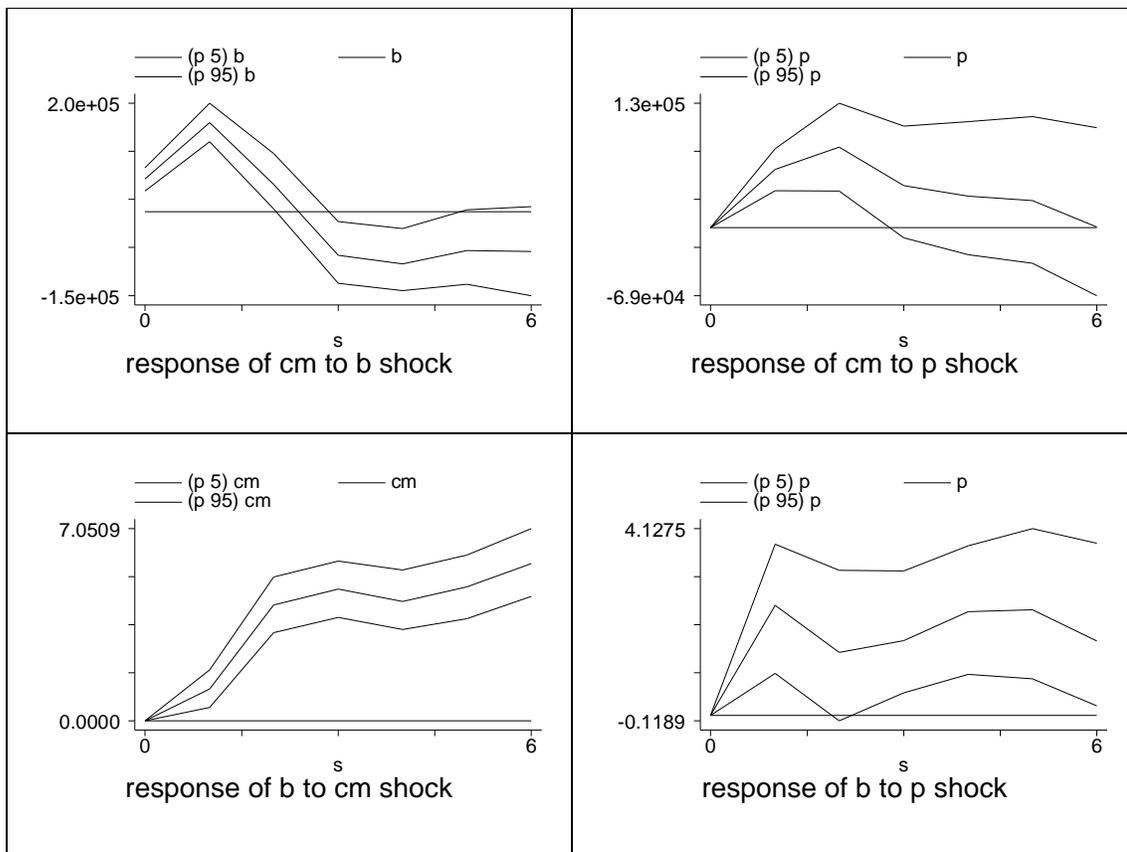


Figura 34: FIR. Respuestas del barril y consumo mundial.

-La respuesta del consumo mundial al barril es positiva dentro de los dos primeros períodos y luego llega al mínimo en el tercer período. La repuesta del barril al consumo mundial es positiva y no se estabiliza.

-La repuesta del consumo mundial al precio es positiva y alcanza el máximo entre el segundo y tercer período. La respuesta del barril al precio es positiva y no se estabiliza antes del sexto período.

4.4.2. Respuestas del precio a S&P500, precio del petróleo y consumo chino

El modelo de PVAR considera el panel $Y_{it} = \{sp, b, cc_{it}, p_{it}\}$.

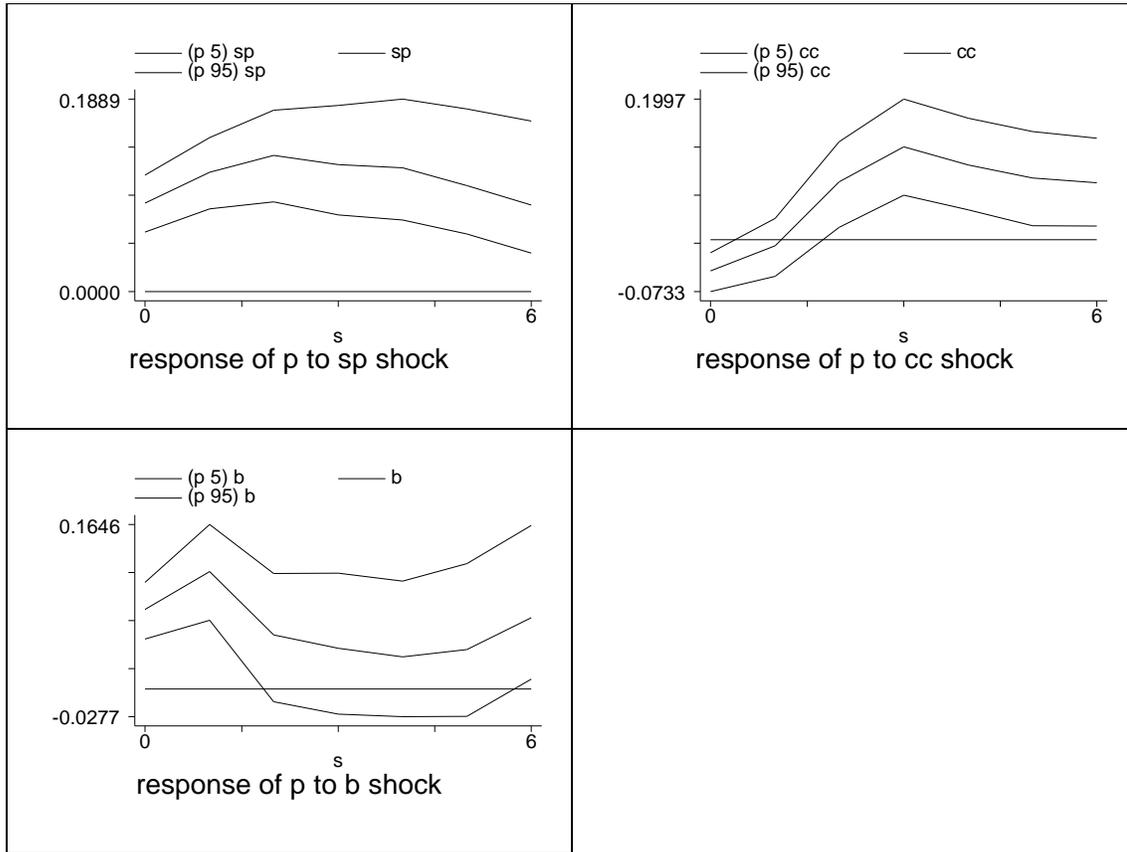


Figura 35: FIR. Respuestas del precio al consumo chino, barril y S&P500.

-La respuesta del precio al sp es positiva y alcanza el máximo entre el primer y segundo período.

-La respuesta del precio al barril positiva y luego cae hasta el quinto período.

-La respuesta del precio al consumo chino es positiva, llega al máximo al tercer período.

	s	sp	b	cc	p
sp	10	0,75	0,08	0,06	0,02
b	10	0,14	0,25	0,35	0,05
cc	10	0,04	0,07	0,84	0,02
p	10	0,12	0,04	0,13	0,55
sp	20	0,74	0,08	0,06	0,02
b	20	0,12	0,17	0,50	0,04
cc	20	0,06	0,06	0,82	0,01
p	20	0,12	0,04	0,25	0,43

Tabla 15: descomposición de varianzas.

Hasta s=10

-El precio es explicado en 15% por el sp, 9% por el barril y 11% por el consumo chino.

-El consumo chino es explicado por el consumo chino en 78%.

-El barril es explicado por el barril en 42%. El consumo chino explica un 29%.

Hasta s=20

-Para el precio, el consumo chino aumenta su capacidad explicativa en 11%.

-El consumo chino es explicado mayormente por el consumo chino en 74%.

-El barril es explicado mayormente por el consumo chino en 44%. El barril deja de explicar al barril en más de un 10%.

Respuestas del barril y consumo

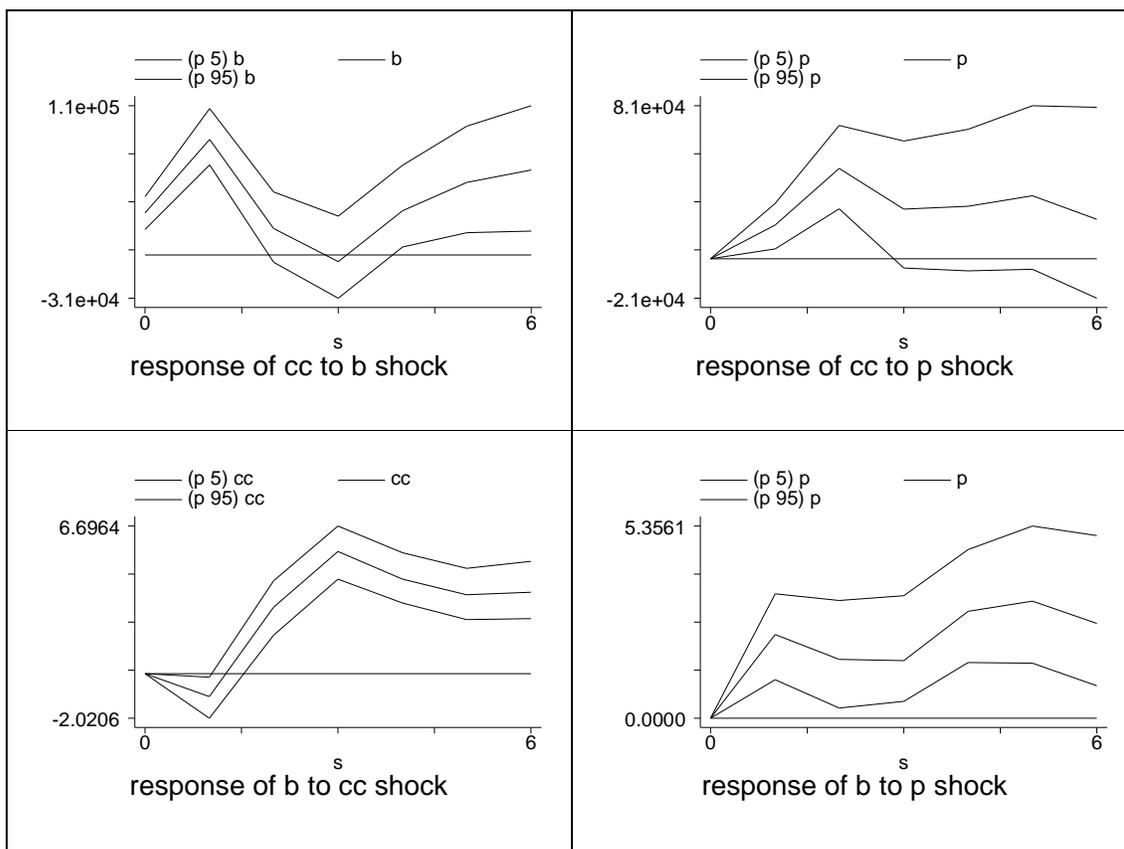


Figura 36: FIR. Respuestas del barril y consumo chino.

-La respuesta del consumo chino al barril es positiva dentro de los dos primeros períodos y luego llega al mínimo al tercer período. La respuesta del barril al consumo mundial es positiva y se estabiliza en el quinto período.

-La respuesta del consumo chino al precio es positiva y alcanza el máximo en el segundo período. La respuesta del barril al precio es positiva y no se estabiliza.

5. Conclusiones

De los resultados, surgen planteamientos importantes para evaluar modelos de precios de los *commodities metálicos*. Se deja a criterio del lector las variables relevantes a considerar para llevar a cabo un análisis que involucre los factores que repercuten sobre el precio de estos metales.

Actualmente, los efectos sobre el comportamiento del precio de los metales, causados por el consumo de metales de China son comparables en magnitud a los efectos de las variaciones del consumo mundial de metales. Un aumento *positivo* del consumo chino genera un alza positiva en los precios de metales que perdura aproximadamente tres trimestres. La duración de la respuesta es similar cuando se estudia el efecto del consumo mundial. El consumo del G7 no causa a la Granger el precio de los metales. Dicho de otra manera, el consumo del G7 no ayuda a predecir el comportamiento del precio de los metales. El PIB tanto de China como del G7 no causa la Granger el consumo de metales de ambos grupos.

En tanto a la producción mundial de metal refinado, ésta ayuda a predecir la caída de los precios de metales cuando se produce un alza positiva en el nivel de producción. Estos efectos tienen una persistencia de entre uno y dos trimestres sobre los precios. La persistencia de la respuesta del precio a alzas en la producción aumenta al usarse el consumo chino como variable explicativa. En los análisis de producción mundial y consumo, la respuesta de la producción de refinado frente a alzas del consumo mundial y de China, tiene una duración de un trimestre. Lo anterior se explica por la poca capacidad de la producción para adaptarse a la demanda.

Para un horizonte de diez trimestres, el análisis de descomposición de varianzas muestra que la producción de metales es explicada en mayor parte por el consumo y el precio de éstos, mientras que el consumo de metales es explicado en mayor medida por sí mismo y por el precio de metales.

Con respecto a las variables tipo de cambio del dólar, S&P500 y precios de barril del petróleo, éstas ayudan predecir la serie de precios de los metales. Las repuestas del precio de metales frente a cambios en el S&P500 y el tipo de cambio del dólar son diferentes. Alzas en el S&P500 producen respuestas positivas en el precio de los metales, mientras que cambios positivos en el tipo de cambio del dólar no producen efectos con tendencias definidas en un

plazo de seis trimestres. Las respuestas de los precios de metales son negativas frente a alzas en el precio del petróleo, con persistencias de entre uno y dos trimestres. La respuesta negativa de los precios de los metales base frente a alzas en el precio del petróleo se explican principalmente por la naturaleza de la industria minero metalúrgica, pues un aumento en el precio del crudo genera desaceleración económica y caída en la demanda de bienes manufacturados. No obstante, las repuestas del barril son positivas a incrementos en los precios de metales. El consumo de metales del mundo y de China no responde de manera clara frente a las alzas en el precio del barril. Es importante prestar atención a la evolución de las futuras crisis y conflictos bélicos que puedan generar subidas bruscas del precio del barril.

Como conclusión general, se logra satisfactoriamente explicar (consistente con los lineamientos de la teoría económica) la interrelación entre el precio de metales y las variables macroeconómicas que interfieren en su comportamiento. De este trabajo se espera que surjan nuevas investigaciones relacionadas al estudio del precio de los metales. Se sugiere investigar los actores relevantes que ingresarán al escenario mundial (países que componen el “E7”) y que incidirán de manera directa en la fijación del precio. Los próximos proyectos mineros dependerán fuertemente del detalle y la astucia de los economistas de minerales para entregar estimaciones pertinentes de esta variable tan sensible y tan compleja muchas veces.

Referencias

- [1] Acosta, F. y Fernández, V.; 2008. “*Impacto de Variable Macroeconómicas en el ciclo de precios de commodities Minerales*”. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Biblioteca Central.
- [2] Arellano, M. y Bover O.; 1995. “Another Look at the Instrumental Variable Estimation of Error Component Models”. *Journal of Econometrics* 68, pp. 29-51.
- [3] Chen, Y.C; Rogoff, K. y Rossi, B.; 2008. “*Can Exchange Rates Forecast Commodity Prices*”. National Bureau of Economic Research. Nber working paper series, Working Paper 13.901.
- [4] Cuddington, J. y Jerret, D.; 2008. “*Broadening the statical search for metal price super cycle to steel and related metals*”. Elsevier, Resources Policy, vol. 33.
- [5] Cuddington, J. T. y Jerrett, D.; 2008. “*Super Cycles in Real Metal Prices*”. IMF Staff Papers, Vol 55, No. 4, pp 188-195.
- [6] Cuddinton, J. T. y Lian, H.; 2003. “*Commodity Price Volatility Across Exchange Rate Regimes*”. Department of Economics, Georgetown University, 580 Intercultural Center. Washington DC 20057-1036.
- [7] Enders, W.; 2004. Texto “Applied Econometric Time Series”. Wiley, Second Edition.
- [8] Engel, E. y Valdés, R.; 2001. “*Prediciendo el Precio del Cobre: ¿Más allá del Camino Aleatorio*”
- [9] Engle, R.F.; 2003. “*Risk and Volatility Econometric Models and Financial Practice*”. Nobel Lecture, December 8, 2003.
- [10] Gavin, W.T. y Theodorou, A.T.; 2003. “*A common Model Approach to Marcoeconomics: Using Panel Data to Reduce Sampling Error*”. Federal Reserve Bank of St. Louis. Working Paper 2003-045B.
- [11] Granger, C. W. J.; 1969. “*Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-Spectral Methods*”. *Econometrica*, Vol. 37, No. 3. (Aug, 1969), pp. 424-438.
- [12] Holtz-Eakin, D.; Newey W. y Rosen, H.S.; 1988. “*Estimating Vector Autoregressions with Panel Data*”. *Econometrica Journal*, Vol. 56, No. 6, pp. 1371-1395.
- [13] Klein, N.; 2010. “*Linkage between the Oil and the Non-Oil Sectors – A Panel VAR Approach*”. IMF Working Paper, WP/10/118.

- [14] Labys, W.C.; 2005. “*Commodity Price Fluctuations: A Century of Analysis*”. Wvu Regional Research Institute Paper Series. Research Paper 2005-1.
- [15] Lee, K. y Ni, S.; 2001. “*On the dynamic effects of oil price shocks: A study using industry level data*”. Journal of Monetary Economics, Volume 49, pp. 823-852.
- [16] Love, I. y Zicchino, L.; 2006. “*Financial Development and Dynamic Investment Behavior: Evidence From Panel Vector Autoregression*”. “The Quarterly Review of Economics and Finance, Vol. 46, pp. 190-210.
- [17] M.V. Hood III; 2006. “*Two Sides of the Same Coin? Employing Granger Causality Tests in a Panel Framework*”. Oxford Journals. Social Science. Political Analysis, Volume 16, Issue 6, pp. 324-344.
- [18] Moscoso Wallace, C.; 2011. Apuntes del curso de Postgrado en Economía de Minerales: “*Análisis de Mercado de Minerales*”. Universidad de Chile y Curtin University of Technology.
- [19] Palaskas, T. B. y Varangis, P. N.; 1991. “*Is there Excess Co-Movement of Primary Commodity Prices*”. International Economics Department. World Bank. WPS 758.
- [20] PricewaterhouseCoopers; Enero 2011. “*The World in 2050. The accelerating shift of global-economic power: Challenges and opportunities*”.

Anexos

Anexo A: Definiciones

A.1 VAR

Considérese el siguiente sistema bivariable de primer orden:

$$y_t = b_{10} - b_{12}z_t + \gamma_{11}y_{t-1} + \gamma_{12}z_{t-1} + \varepsilon_{yt}$$

$$z_t = b_{20} - b_{21}y_t + \gamma_{21}y_{t-1} + \gamma_{22}z_{t-1} + \varepsilon_{zt}$$

Se asumen $\{y_t\}$ y $\{z_t\}$ procesos estacionario. Las series $\{\varepsilon_{yt}\}$ y $\{\varepsilon_{zt}\}$ son ruidos blancos no correlacionados, con desviaciones estándar de σ_x y σ_z respectivamente.

El sistema de ecuaciones se le denomina Vector Autorregresivo (VAR). La variable y_t se ve afectada por z_t y viceversa. Las dos componentes de ruido blanco afectan igualmente los valores de las variables y_t y z_t en el período t .

Este sistema se escribe matricialmente del siguiente modo:

$$\begin{bmatrix} 1 & b_{12} \\ b_{21} & 1 \end{bmatrix} [y_t \ z_t]^t = [b_{10} \ b_{20}]^t + \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} \end{bmatrix} [y_{t-1} \ z_{t-1}]^t + [\varepsilon_{yt} \ \varepsilon_{zt}]^t$$

$$Bx_t = \Gamma_0 + \Gamma_1 x_{t-1} + \varepsilon_t$$

La descomposición de Cholesky implica la imposición que el parámetro $b_{21}=0$. Para un ejemplo de VAR de mayor dimensión la matriz de coeficientes “b” tiene forma triangular superior:

$$\begin{bmatrix} 1 & \dots & b_{1n} \\ & 1 & \\ 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

La ecuación matricial se pre-multiplicando por B^{-1} y se tiene:

$$\begin{aligned} x_t &= A_0 + A_1 x_{t-1} + e_t \\ A_0 &= B^{-1} \Gamma_0 \\ A_1 &= B^{-1} \Gamma_1 \\ e_t &= B^{-1} \varepsilon_t \end{aligned}$$

Por lo que el sistema de ecuaciones que componen a x_t es el siguiente:

$$y_t = a_{10} + a_{11}y_{t-1} + a_{12}z_{t-1} + e_{1t}$$

$$z_t = a_{20} + a_{21}y_{t-1} + a_{22}z_{t-1} + e_{2t}$$

Las variables e_{1t} y e_{2t} tienen componentes de ε_{yt} y ε_{zt} en la cual se resumen matricialmente en $e_t = B^{-1}\varepsilon_t$ y se descompone de la siguiente manera:

$$e_{1t} = (\varepsilon_{yt} - b_{12}\varepsilon_{zt})/(1 - b_{12}b_{21})$$

$$e_{2t} = (\varepsilon_{zt} - b_{21}\varepsilon_{yt})/(1 - b_{12}b_{21})$$

Se demuestra que las esperanzas y varianzas de $\{e_{1t}\}$ y $\{e_{2t}\}$ conservan las propiedades de ruido blanco (aplicando Cholesky). A continuación se demuestra para $\{e_{1t}\}$:

$$Ee_{1t} = E\left\{\frac{(\varepsilon_{yt} - b_{12}\varepsilon_{zt})}{(1 - b_{12}b_{21})}\right\} = 0$$

$$Ee_{1t}^2 = E\left\{\frac{(\varepsilon_{yt} - b_{12}\varepsilon_{zt})^2}{(1 - b_{12}b_{21})^2}\right\} = \frac{(\sigma_y^2 - b_{12}^2\sigma_z^2)}{(1 - b_{12}b_{21})^2}$$

e_{1t} es independiente del tiempo. Se calcula la auto correlación entre e_{1t} y e_{1t-i} para i distinto de cero:

$$Ee_{1t}e_{1t-i} = E\left\{\frac{(\varepsilon_{yt} - b_{12}\varepsilon_{zt})(\varepsilon_{y,t-i} - b_{12}\varepsilon_{z,t-i})}{(1 - b_{12}b_{21})^2}\right\}$$

A continuación se ve la correlación existente entre e_{1t} y e_{2t} :

$$Ee_{1t}e_{2t} = E\left\{\frac{(\varepsilon_{yt} - b_{12}\varepsilon_{zt})(\varepsilon_{zt} - b_{21}\varepsilon_{yt})}{(1 - b_{12}b_{21})^2}\right\} = \frac{-(b_{21}\sigma_y^2 + b_{12}^2\sigma_z^2)}{(1 - b_{12}b_{21})^2}$$

A.2 PVAR

Se tiene la siguiente definición matemática:

$$Y_{it}^j = \alpha_0 + \sum_{s=1}^n \alpha_s Y_{t-s} + f_i + u_{it}$$

u_t : ruido blanco

α_0 : intercepto

$$y_{it} = \alpha_{0t} + \sum_{l=1}^m \alpha_{lt} y_{it-1} + \sum_{l=1}^m \delta_{lt} x_{it-1} + u_{it} + \Psi_t f_i + u_{it}$$

f_i efecto "no observable de individual para cada i"

$\Psi_t f_i$ describe efectos de no estacionariedad a través del tiempo

$$i = 1 \dots N ; t = 1 \dots T$$

Las variables deben cumplir las condiciones de ortogonalidad siguientes:

$$E[y_{is} u_{it}] = E[x_{is} u_{it}] = E[f_i u_{it}] = 0 \text{ para } s < t$$

$$y_{it} = \alpha_{0t} + \sum_{l=1}^m \alpha_{lt} y_{it-1} + \sum_{l=1}^m \delta_{lt} x_{it-1} + u_{it} + \Psi_t f_i + u_{it}$$

$$r_t = \Psi_t / \Psi_{t-1}$$

Multiplicando la ecuación por r_t en el período $t-1$ y restándolo, se tiene la siguiente ecuación denominada Ecuación Transformada:

$$(1) \quad y_{it} = a_t + \sum_{l=1}^{m+1} c_{lt} y_{it-1} + \sum_{l=1}^{m+1} d_{lt} x_{it-1} + v_{it}, \quad t = (m+2) \dots T$$

$$a_t = \alpha_{0t} - r_t \alpha_{0t-1}$$

$$c_{1t} = r_t + \alpha_{1t}$$

$$c_{lt} = \alpha_{lt} - r_t \alpha_{l-1,t-1}$$

$$c_{m+1,t} = -r_t \alpha_{m,t-1}$$

$$d_{1t} = \delta_{1t}$$

$$d_{lt} = \delta_{lt} - r_t \delta_{l-1,t-1}$$

$$d_{m+1,t} = -r_t \delta_{m,t-1}$$

$$v_{it} = u_{it} - r_t u_{i,t-1}$$

$$l = 2 \dots m$$

$$E[y_{is} v_{it}] = E[x_{is} v_{it}] = 0 \text{ para } s < t - 1$$

$$Z_{it} = [1, y_{it-2} \dots y_{i1} \dots x_{it-2} \dots x_{it}]$$

$2m + 3$ variables para el primer sistema.

Dimensión del vector Z_{it} es $2t - 3$

Por lo que $T \geq m + 3$

Se define los siguientes vectores agrupando todas las variables ($i=1 \dots n$) en el tiempo “ t ”.

Para $t \leq m + 2$ no se puede asegurar la determinación de las ecuaciones anteriormente descritas.

$$t = (m + 3) \dots T$$

$$Y_t = [y_{1t} \dots y_{Nt}]'$$

$$X_t = [x_{1t} \dots x_{Nt}]'$$

$$W_t = [e, Y_{t-1} \dots Y_{t-m-1}, X_{t-1} \dots X_{t-m-1}]$$

$$V_t = [v_{1t} \dots v_{Nt}]'$$

$$B_t = [a_t, c_{1t} \dots c_{m+1}, d_{1t} \dots d_{m+1,t}]'$$

$$Y_t = W_t B_t + B_t, t = (m + 3) \dots T$$

Agrupando vectores según todas las observaciones desde $t = m+3 \dots T$.

$$Y = [Y'_{m+3} \dots Y'_T]'$$

$$\text{dimensión} = (T - m - 2) N \times 1$$

$$B = [B_{m+3} \dots B_t]'$$

$$\text{dimensión} = (T - m - 2)(2m + 3) \times 1$$

$$V = [V'_{m+3} \dots V'_T]'$$

$$W = \text{diag}[W'_{m+3} \dots W'_t]$$

$$\text{dimensión} = (T - m - 2)N \times (T - m - 2)(2m + 3)$$

$$Y = WB + V$$

$$Z_t = [e, Y_{t-2} \dots Y_1, X_{t-2} \dots X_1]$$

$$Z = \text{diag}[Z_{m+3} \dots Z_T]$$

Condición de ortogonalidad.

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \left[\frac{Z'V}{N} \right] = \lim_{N \rightarrow \infty} \begin{bmatrix} Z'_{m+3}V_{m+3}/N \\ \dots \\ Z'_TV_T/N \end{bmatrix} = 0$$

Que se cumpla la condición permite trabajar con la ecuación generalizada:

$$Y = BW + V$$

$$Z'Y = Z'WB + Z'V$$

El vector $Z'V$ se conoce vector de disturbancia

La matriz de covarianza de la disturbancia se le denomina omega y se calcula de la siguiente manera:

$$\Omega = E\{Z'VV'Z\}$$

Ω no es conocido. Para determinarlo se debe utilizar el método 2SLS⁵³ para cada período usando B_t^{\sim} . Se calcula de la siguiente manera:

$$V_t^{\sim} = Y_t - W_t B_t^{\sim}$$

$$B_t^{\sim} = [W_t'Z_t(Z_t'Z_t)^{-1}Z_t'W_t]^{-1}W_t'Z_t(Z_t'Z_t)^{-1}Z_t'W_tY_t$$

$$(\Omega^{\sim}/N)_{rs} = \sum_{i=1}^N (v_{ir}v_{is}Z'_{ir}Z_{is}/N)$$

Donde v_{it} ($t = r, s$) es el elemento i - ésimo de V_t

Z_{it} es la "i" columna de de Z_t por lo que finalmente Ω^{\sim} es usado para formar un estimador GLS.

$$B^{\sim} = [W'Z\Omega^{\sim-1}Z'W]^{-1}W'Z\Omega^{\sim-1}Z'Y$$

⁵³ Two Stage Lead Squares.

Imposición de restricciones

Se comienza con la ecuación generalizada:

$$B = H\gamma + G$$

Donde γ es $K \times 1$, H es una matriz constante de dimensión $(T - m - 2)(2m + 3) \times K$ y G es un vector constante de las mismas dimensiones de G . Reemplazando B en la ecuación $Y = WB + V$ y restando WG por ambos lados de la ecuación se obtiene:

$$Y^{\sim} = Y - WG = WH\gamma + V = W^{\sim}\gamma + V$$

La ecuación anterior es análoga a la ecuación generalizada. El vector γ se puede estimar de acuerdo a la metodología anterior usando las matrices G y H .

Test de Hipótesis

Se discuten básicamente tres ideas:

- Test de causalidad de Granger.
- Estacionariedad de parámetros.
- Elección correcta del largo de paso “ m ”.

Se considera restricciones lineales para los parámetros estimados resumidos en la matriz “ B ”. La hipótesis nula es la siguiente:

$$(4) \quad H_0 : B = H\gamma + G$$

Se definen los siguientes valores:

$$Q = (Y - WB^{\sim})'Z(\Omega^{-1})Z'(Y - WB^{\sim})/N$$

$$Q_R = (Y - W_{\gamma^{\lambda}}^{\sim})'Z(\Omega^{-1})' \frac{Y - W_{\gamma^{\lambda}}^{\sim}}{N}$$

Ambos tienen distribución χ^2 . Se define el estadístico L a continuación:

$$L = Q_R - Q$$

Con grado de libertad igual a la diferencia entre los grados de libertad de Q_R y Q .

Cuando todos los parámetros están determinados, se cumple la condición de que los grados de libertad de Q es $\dim(ZV')$ $-\dim(B)$. Los grados de libertad de Q_R es $\dim(B) - \dim(\gamma)$.

A.3 FIR

Para explicar FIR se utilizará un caso sencillo de VAR, compuesto de dos variables de primer orden. Se escribe el modelo de la siguiente manera (VAR de forma estructural):

$$x_t = a_{10} - a_{21}y_t + \beta_{11}x_{t-1} + \beta_{12}y_{t-1} + \epsilon_{xt}$$

$$y_t = a_{20} - a_{21}x_t + \beta_{21}x_{t-1} + \beta_{22}y_{t-2} + \epsilon_{yt}$$

La serie $\{x_t\}$ está afectada por realizaciones de la serie $\{y_t\}$ y viceversa. Los errores ϵ_{xt} y ϵ_{yt} son ruidos blancos de varianza constante. Se consideran perturbancias dentro del sistema y estos no están correlacionados. El sistema de forma matricial:

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} \\ a_{21} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{20} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{21} & \beta_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{t-1} \\ x_{t-2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_{xt} \\ \epsilon_{yt} \end{bmatrix}$$

$$Az_t = \Lambda_0 + \Lambda_1 z_{t-1} + \epsilon_t$$

La matriz A debe ser invertible para poder determinar los coeficientes. Existe una correlación entre x_t con ϵ_{yt} e y_t con ϵ_{xt} . Multiplicando la ecuación anterior por A^{-1} se llega a la forma “reducida” o forma “estándar”:

$$z_t = \Gamma_0 + \Gamma_1 z_{t-1} + e_t$$

$$\text{Donde } \Gamma_0 = A^{-1}\Lambda_0, \Gamma_1 = A^{-1}\Lambda_1 \text{ y } e_t = A^{-1}\epsilon_t$$

Como e_t es ruido blanco también lo será ϵ_t , es decir, esperanza nula y varianza constante. La covarianza entre e_{1t} y e_{2t} existe. Debido a la cantidad de variables presentadas en el sistema estructural, la descomposición de Cholesky permite llevar a cabo la estimación del modelo estándar.

La función impulso respuesta está basada en la representación del modelo de media móvil resumido de la siguiente manera:

$$z_t = \mu + \sum_{i=0}^{\infty} \Gamma_t^i e_{t-i}$$

Donde μ es un parámetro determinado por los datos del modelo y Γ_t^i es la i-potencia de la matriz Γ_1 de la forma estándar. Sin embargo, esta representación no es muy útil para estudiar los efectos de los cambios de e_{yt} sobre las $\{x_t\}$ y $\{y_t\}$ porque los errores están correlacionados (se mueven juntos). Si los errores $\{e_{t-i}\}$ están en función de los errores $\{\epsilon_{xt}\}$ y $\{\epsilon_{yt}\}$, entonces se puede reescribir la ecuación anterior como:

$$z_t = \mu + \sum_{i=0}^{\infty} \phi_i \epsilon_{t-i}$$

Los coeficientes ϕ_i son parte de la función impulso respuesta. Formalmente se define como:

$$\frac{\partial z_t}{\partial \epsilon_{t-s}} = \phi_s$$

ϕ_s es una matriz donde el elemento $\phi_{s,xy}$ representa el impacto de un shock de $\epsilon_{y,t-s}$ en x_t . Para cuantificar la repuesta acumulada sobre z_t de una innovación de ϵ_t , **los componentes de ϵ_t deben ser ortogonales**. Se debe asumir que $\Omega = E(e_t e_t')$ es definida positiva por lo que existirá una matriz triangular K compuestas de unos en su diagonal y una matriz D diagonal (con valores positivos) tal que:

$$\Omega = KDK'$$

Donde:

$$u_t = K^{-1} \epsilon_t$$

Entonces:

$$E(u_t u_t') = K^{-1} \Omega (K^{-1})' = D$$

Debido a:

$$\epsilon_t = K u_t$$

El vector $\{z_t\}$ tiene la siguiente representación:

$$z_t = \mu + \sum_{i=0}^{\infty} K \phi_i u_{t-i}$$

Con lo anterior, se representa la FIR de y_t :

$$\frac{\partial y_t}{\partial u_{x,t-s}} = \phi_s K_x$$

Donde K_x es la primera columna de la matriz K. El ploteo de $\phi_s K_x$ en función de $s > 0$ es la llamada función impulso respuesta ortogonalizada.

Ejemplo

Se dispone del siguiente modelo autorregresivo:

$$y_t = c + \Phi_1 y_{t-1} + \Phi_2 y_{t-2} + \dots + \Phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t$$

$$\begin{bmatrix} y_t \\ y_{t-1} \\ y_{t-2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Phi_1 & \Phi_2 & \Phi_3 \\ I_n & 0 & 0 \\ 0 & I_n & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ y_{t-2} \\ y_{t-3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_t \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\xi_t = \begin{bmatrix} y_t \\ y_{t-1} \\ y_{t-2} \end{bmatrix} \quad \gamma = \begin{bmatrix} c \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$F = \begin{bmatrix} \Phi_1 & \Phi_2 & \Phi_3 \\ I_n & 0 & 0 \\ 0 & I_n & 0 \end{bmatrix} \quad v_t = \begin{bmatrix} \varepsilon_t \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\xi_{t+1} = \gamma + F\xi_t + v_{t+1}$$

$$\xi_{t+2} = \gamma + F\xi_{t+1} + v_{t+2}$$

$$\xi_{t+2} = (I_n + F)\gamma + F^2\varepsilon_t + v_{t+2} + Fv_{t+1}$$

$$\xi_{t+s} = (I_n + F + \dots + F^{s-1})\gamma + F^s\varepsilon_t + v_{t+s} + Fv_{t+s-1} + F^2v_{t+s-2} + \dots + F^{s-1}v_{t+1}$$

El cálculo de FIR es el siguiente:

$$\frac{\partial \xi_{t+s}}{\partial \xi_t} = F^s$$

$$\frac{\partial y_{t+s}}{\partial y_t} = \Psi^s$$

El gráfico de Ψ^s en función de “s” es la FIR.

A.4 Descomposición de varianzas

Entender las propiedades del error es extremadamente útil para dejar a la luz las interrelaciones a través de cada una de las variables que componen el sistema. A modo de ejemplo, supónganos que se determinó los coeficientes A_0 y A_1 y se desea predecir los valores de x_{t+i} con la ecuación:

$$E_t x_{t+1} = A_0 + A_1 X_t$$

Para dos períodos:

$$\begin{aligned} x_{t+2} &= A_0 + A_1 x_{t+1} + e_{t+2} \\ &= A_0 + A_1(A_0 + A_1 x_{t+1} + e_{t+1}) + e_{t+2} \end{aligned}$$

La esperanza para el valor de x_{t+n} es:

$$E_t x_{t+n} = (I + A_1 + A_1^2 + \dots + A_1^{n-1})A_0 + A_1^n x_t$$

El error asociado a esta predicción es:

$$e_{t+n} + A_1 e_{t+n-1} + A_1^2 e_{t+n-2} + \dots + A_1^{n-1} e_{t+1}$$

Planteando la ecuación de x_{t+n} en términos del error:

$$x_{t+n} = \mu + \sum_{i=0}^{\infty} \phi_i \varepsilon_{t+n-i}$$

Por tanto, en el período “n” el error de predicción es:

$$x_{t+n} - E_t x_{t+1} = \sum_{i=0}^{n-1} \phi_i \varepsilon_{t+n-1}$$

Se plantea el siguiente sistema:

$$y_t = a_{11} y_{t-1} + a_{12} z_{t-1} + e_{1t}$$

$$z_t = a_{21} y_{t-1} + a_{22} z_{t-1} + e_{2t}$$

El error de predicción en el período “n” asociado a la serie y_t es:

$$\begin{aligned} y_{t+n} - E_t y_{t+1} &= \phi_{11}(0) \varepsilon_{y_{t+n}} + \phi_{11}(1) \varepsilon_{y_{t+n-1}} + \dots + \phi_{11}(n-1) \varepsilon_{y_{t+1}} \\ &+ \phi_{12}(0) \varepsilon_{y_{t+n}} + \phi_{12}(1) \varepsilon_{y_{t+n-1}} + \dots + \phi_{12}(n-1) \varepsilon_{y_{t+1}} \end{aligned}$$

Calculando la varianza:

$$\sigma(n)_y^2 = \sigma_y^2 [\phi(0)_{11}^2 + \phi(1)_{11}^2 + \dots + \phi(n-1)_{11}^2] + \dots + \sigma_z^2 [\phi(0)_{12}^2 + \phi(1)_{12}^2 + \dots + \phi(n-1)_{12}^2]$$

La varianza del error se incrementa en la medida que se aumenta el horizonte de tiempo de la predicción. Se puede descomponer la varianza del error en dos partes: la proporción de $\sigma(n)_y^2$ asociado a los *shocks* en ε_y y ε_z respectivamente:

$$[\sigma_y^2(\phi(0)_{11}^2 + \phi(1)_{11}^2 + \dots + \phi(n-1)_{11}^2)]/[\sigma(n)_y^2]$$

$$[\sigma_z^2(\phi(0)_{12}^2 + \phi(1)_{12}^2 + \dots + \phi(n-1)_{12}^2)]/[\sigma(n)_z^2]$$

La descomposición de la varianza del error de predicción informa acerca de la proporción del movimiento de la variable y_t debido a sus propios shocks versus los shocks de las otras variables.

Anexo B: Estadísticas de consumo y producción de metal refinado

B.1 Consumidores de metal refinado

Estadísticas básicas por grupo:

China	Unidades	Aluminio	Cobre	Estaño	Plomo	Níquel	Cinc
Nºdatos		64	64	64	64	64	64
Media	[KTMF]	1.628,42	785,67	20,56	395,94	45,70	595,31
Desv.est.	[KTMF]	1.169,67	509,23	11,23	330,20	44,34	370,25
Mediana	[KTMF]	1.195,15	703,35	18,19	282,08	29,35	471,07
Máximo	[KTMF]	4.140,99	1.993,77	42,72	1.253,77	179,57	1.412,89
Mínimo	[KTMF]	361,25	172,03	6,12	38,59	5,38	153,66
Kurtosis		-0,66	-0,09	-1,08	-0,27	1,53	-0,68
Skewness		0,85	0,90	0,54	0,92	1,45	0,72

Tabla 16: Estadísticas del consumo chino de metal refinado.

G7	Unidades	Aluminio	Cobre	Estaño	Plomo	Níquel	Cinc
Nºdatos		64	64	64	64	64	64
Media	[KTMF]	2.989,25	1.598,94	28,44	744,05	137,87	595,31
Desv.est.	[KTMF]	303,58	199,51	3,88	72,73	14,15	370,25
Mediana	[KTMF]	3.031,73	1.615,18	29,11	745,67	139,03	471,07
Máximo	[KTMF]	3.565,36	2.019,47	39,99	883,65	166,10	1.412,89
Mínimo	[KTMF]	1.927,16	1.070,78	18,09	506,03	93,49	153,66
Kurtosis		-0,66	-0,09	-1,08	-0,27	1,53	-0,68
Skewness		0,85	0,90	0,54	0,92	1,45	0,72

Tabla 17: Estadísticas del consumo del G7 de metal refinado.

Consumo por país:

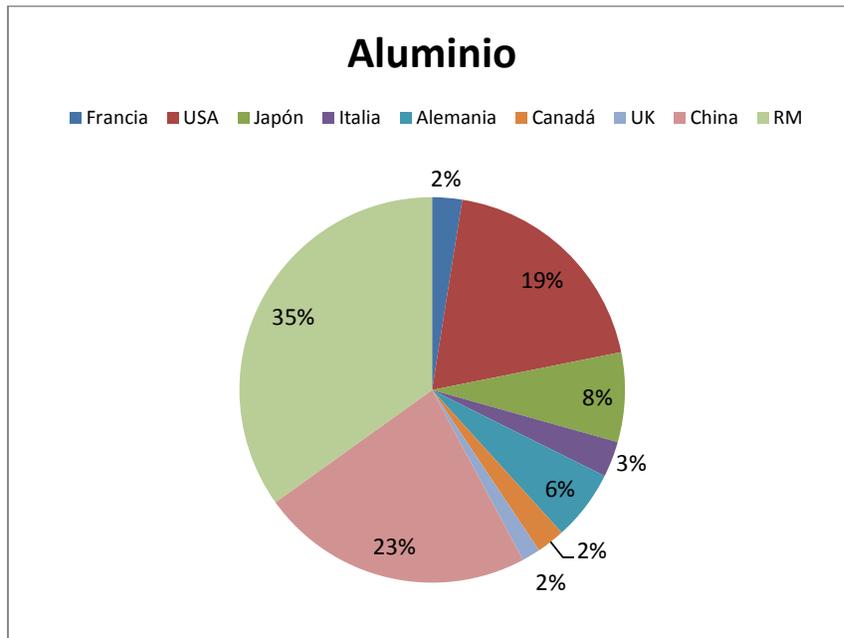


Figura 37: Porcentaje del consumo mundial de aluminio refinado por países del G7 y China.

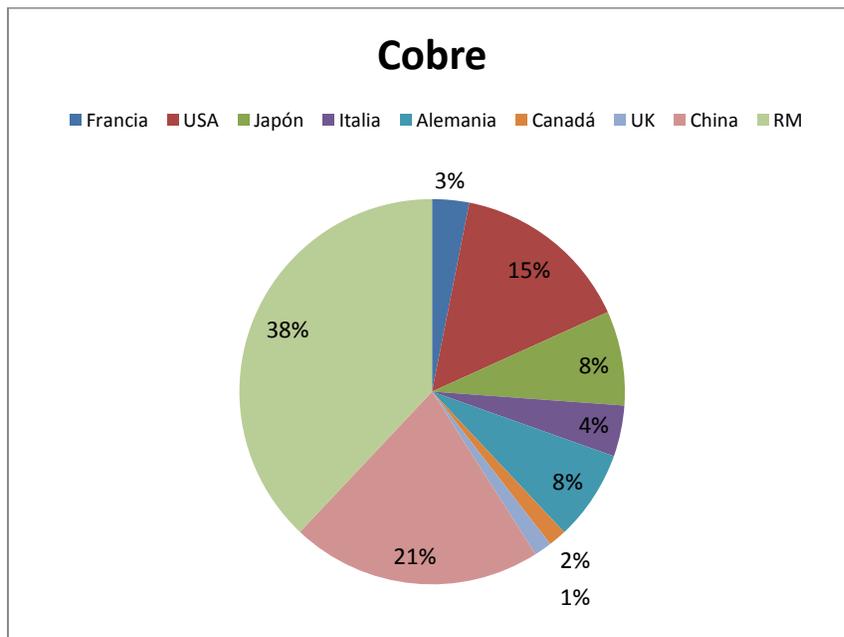


Figura 38: Porcentaje del consumo mundial de cobre refinado por países del G7 y China.

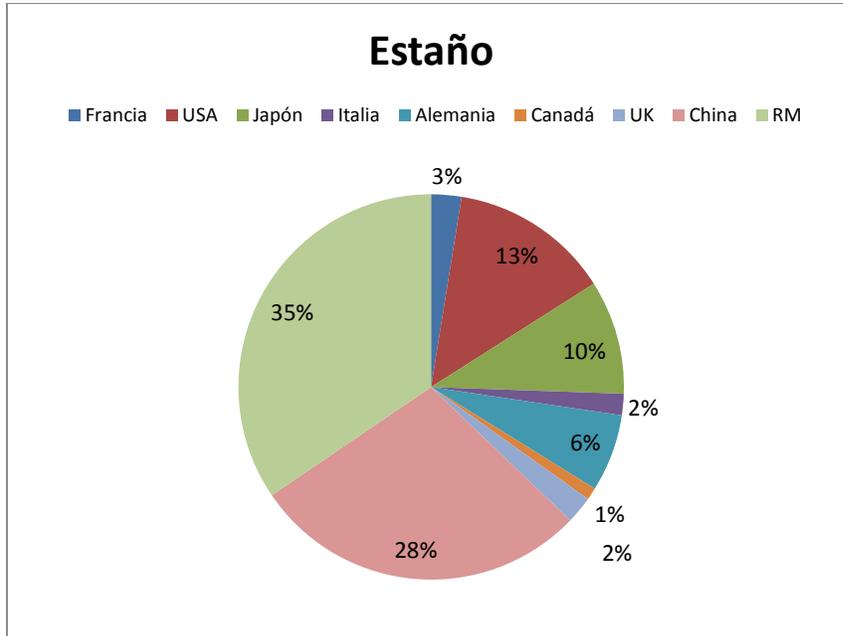


Figura 39: Porcentaje del consumo mundial de estaño refinado por países del G7 y China.

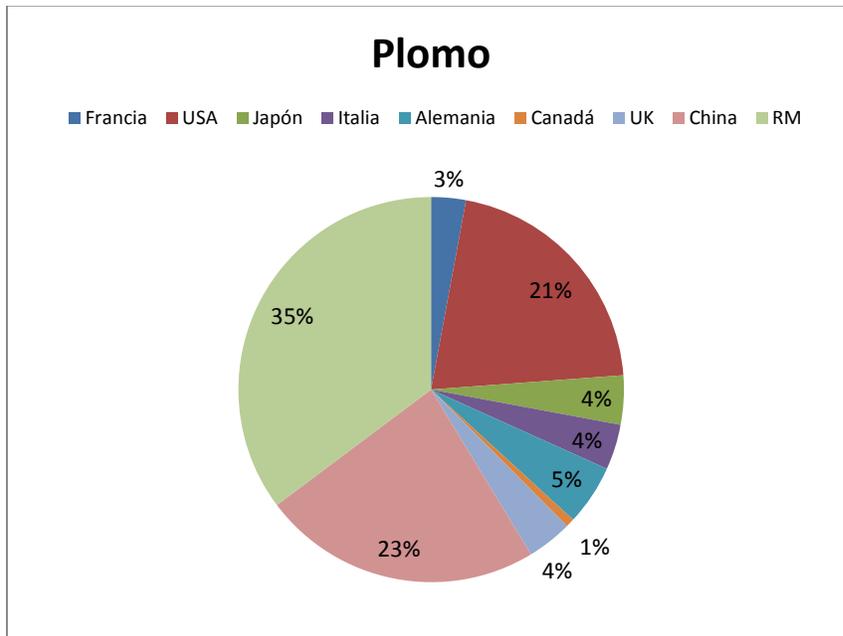


Figura 40: Porcentaje del consumo mundial de plomo refinado por países del G7 y China.

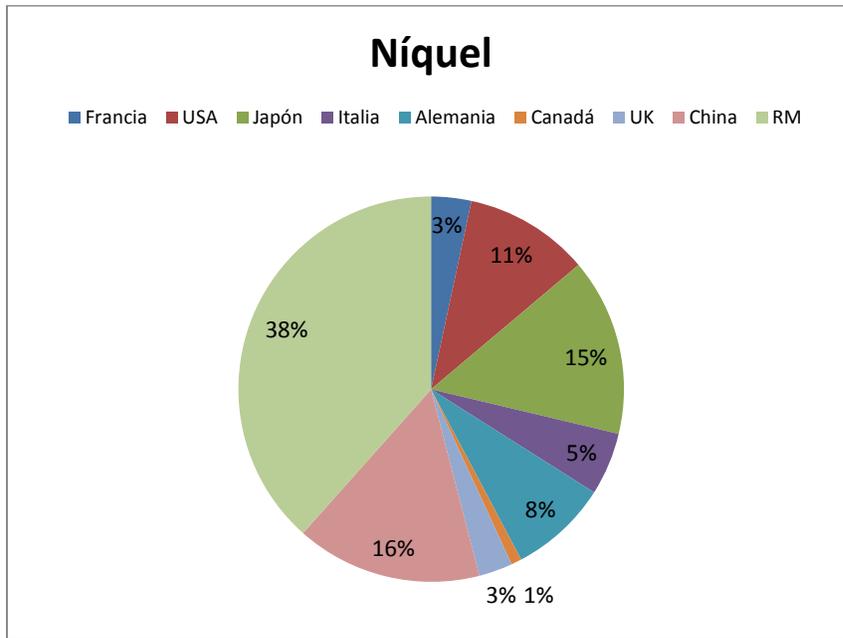


Figura 41: Porcentaje del consumo mundial de níquel semi refinado por países del G7 y China.

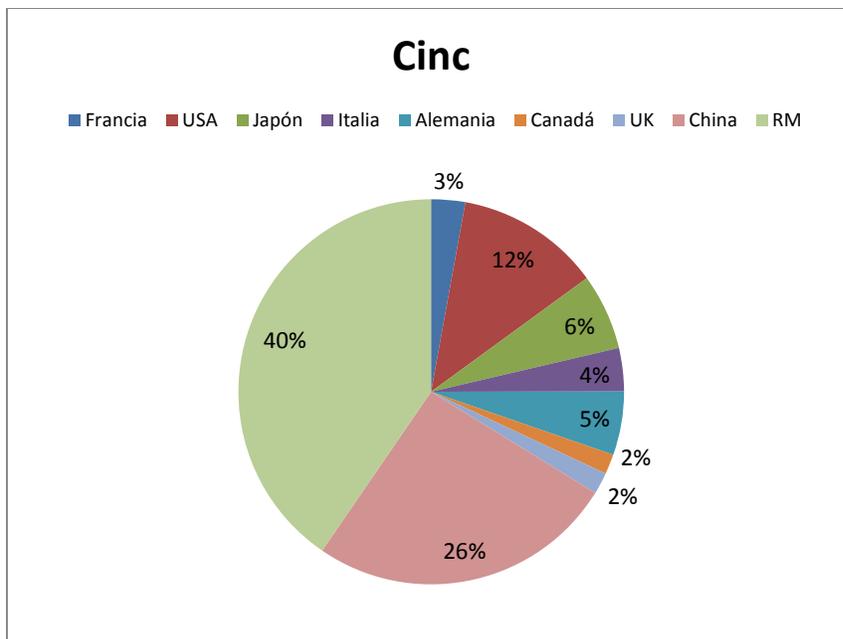


Figura 42: Porcentaje del consumo mundial de cinc refinado por países del G7 y China.

B.2 Principales productores de metal refinado

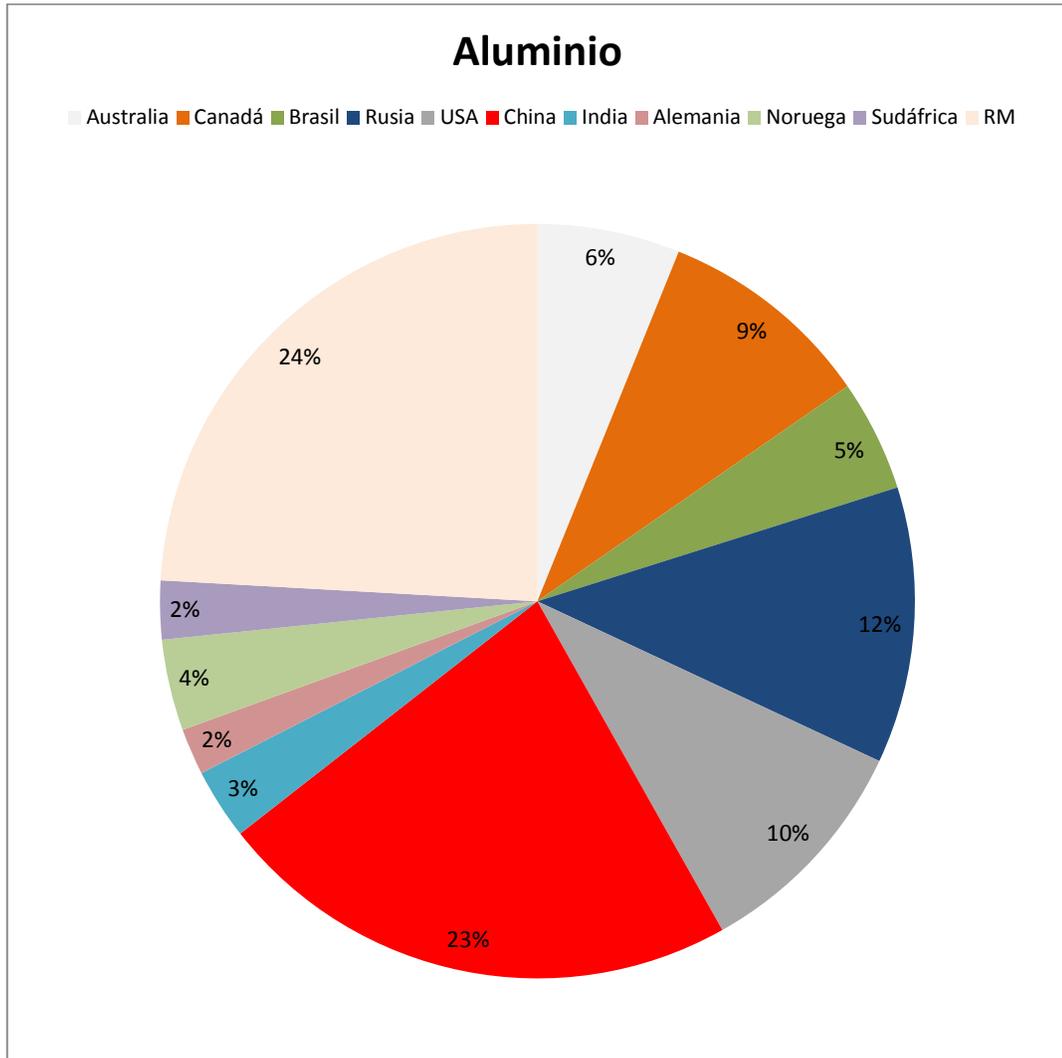


Figura 43: Porcentaje de la producción mundial de aluminio refinado por países.

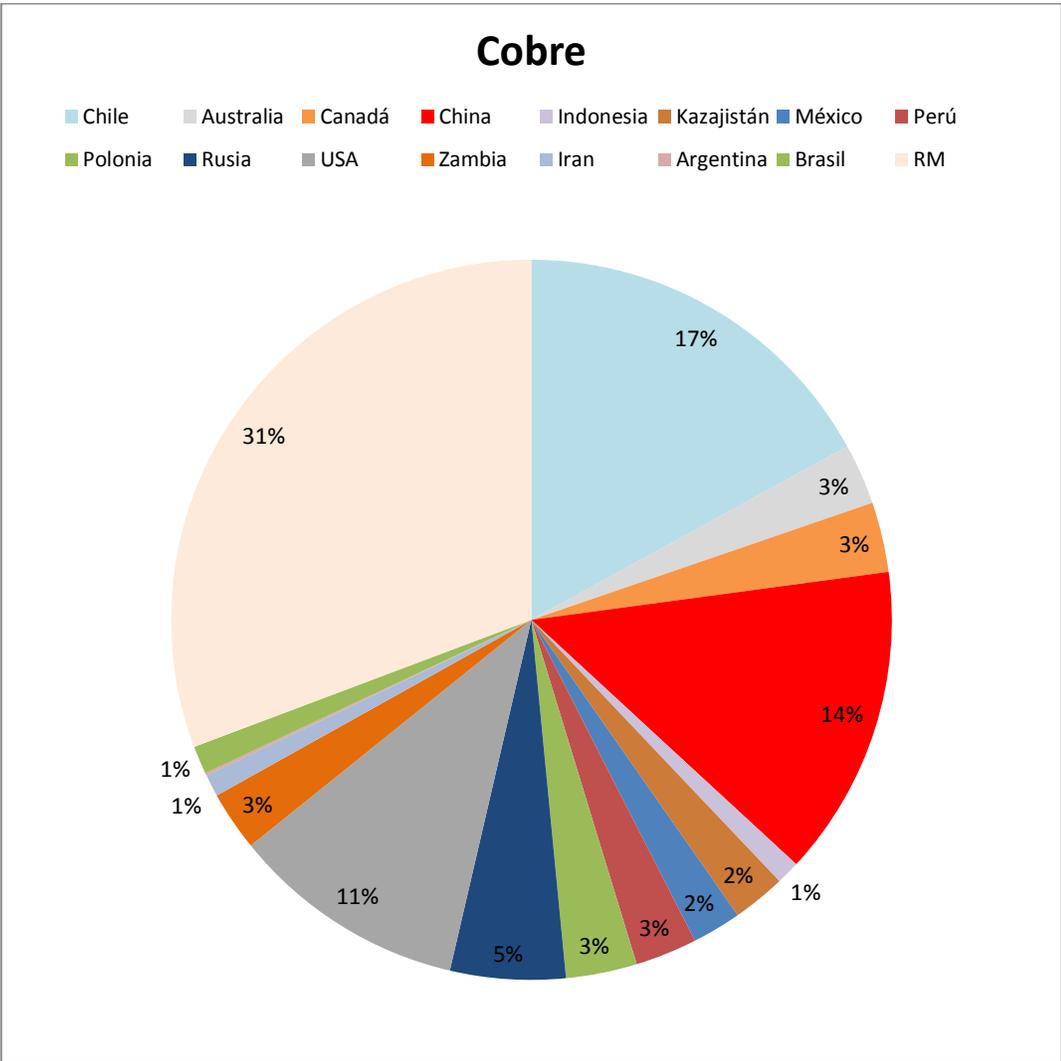


Figura 44: Porcentaje de la producción mundial de cobre refinado por países.

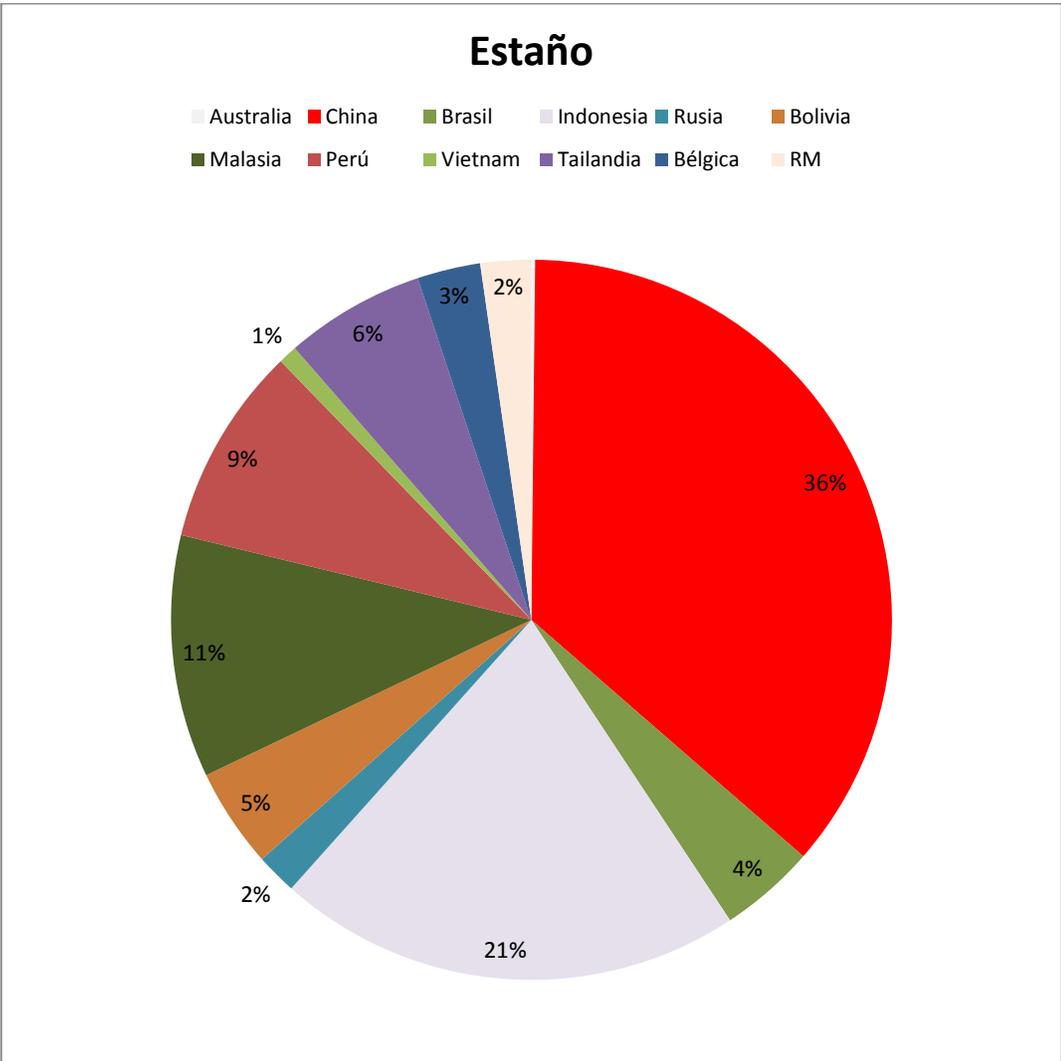


Figura 45: Porcentaje de la producción mundial de estaño refinado por países.

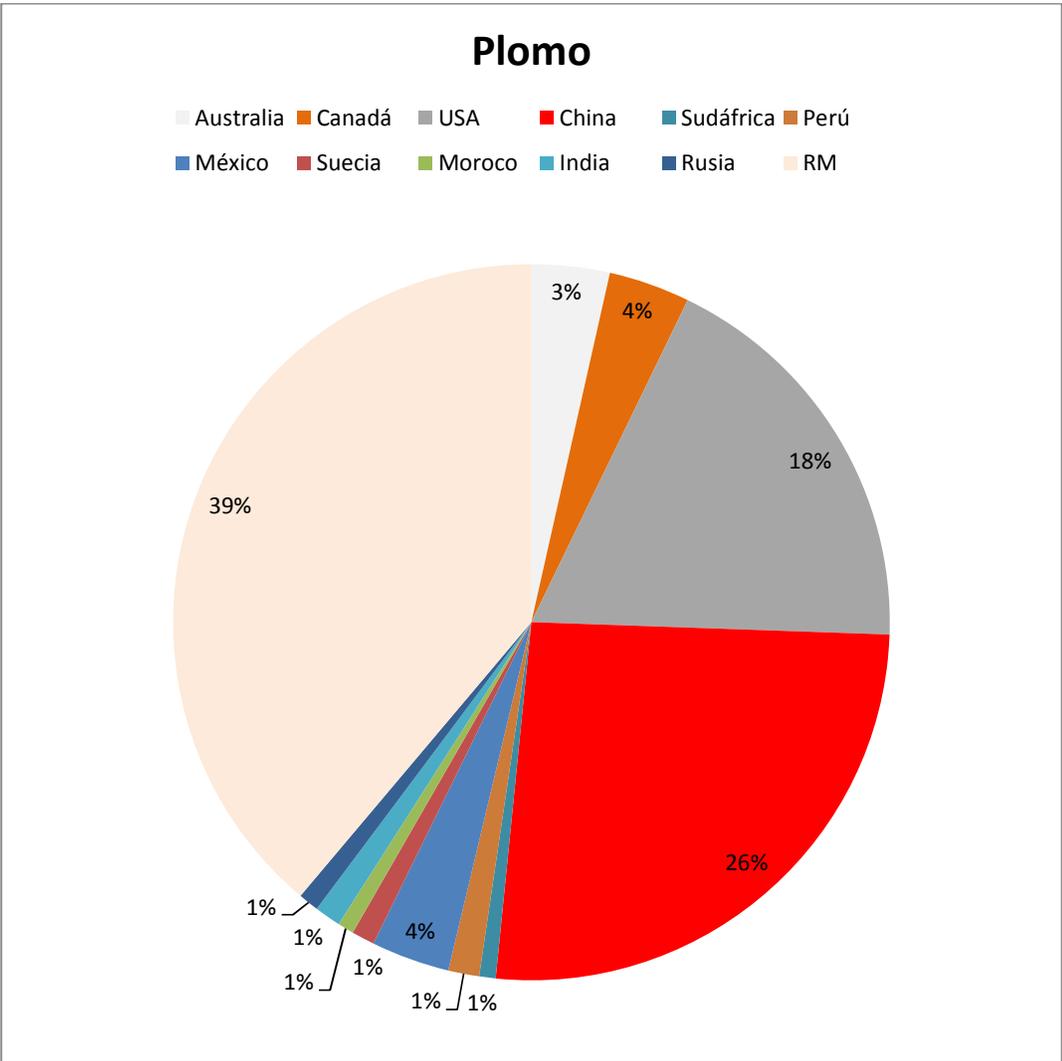


Figura 46: Porcentaje de la producción mundial de plomo refinado por países.

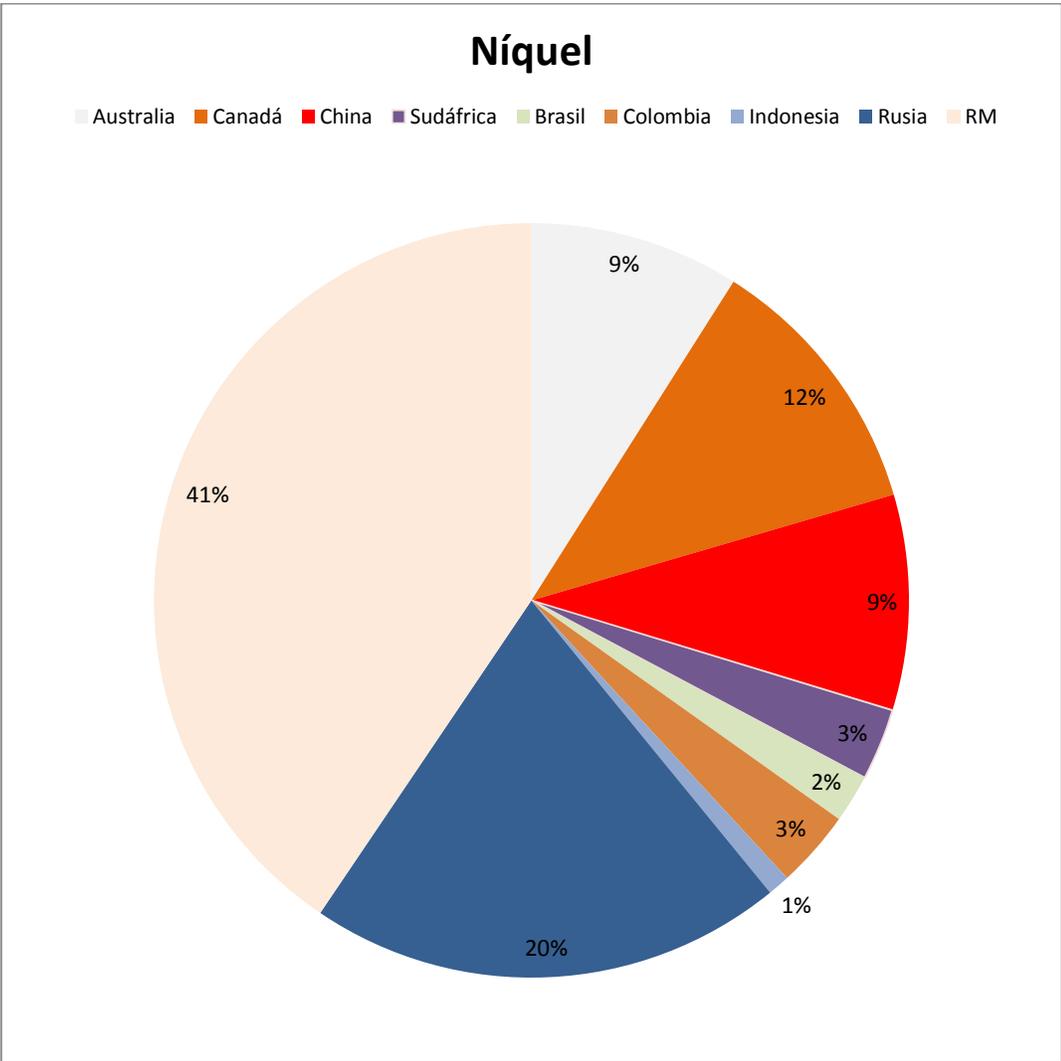


Figura 47: Porcentaje de la producción mundial de níquel semi refinado por países.

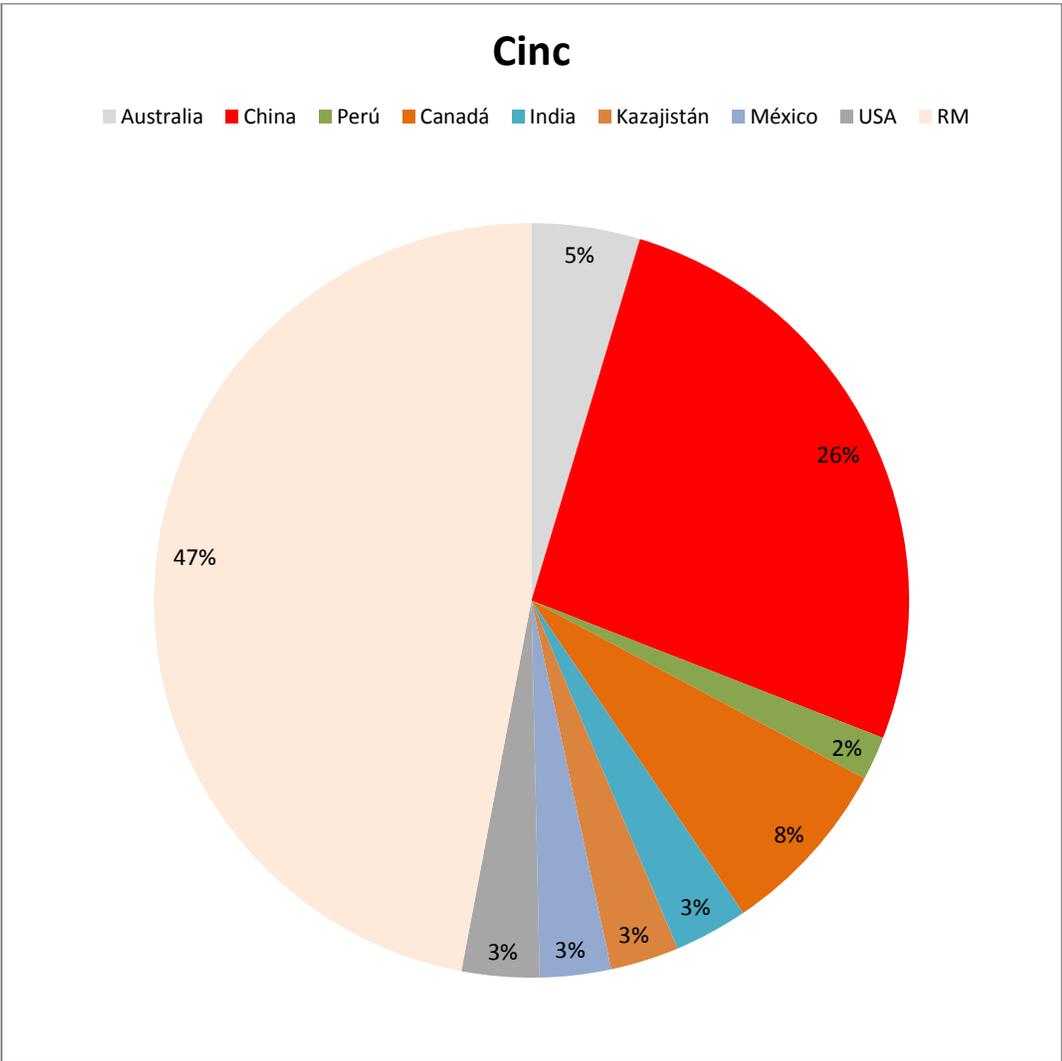


Figura 48: Porcentaje de la producción mundial de cinc refinado por países.

Anexo C: Resultados adicionales

C.1 Variables precio, consumo mundial y precio del petróleo.

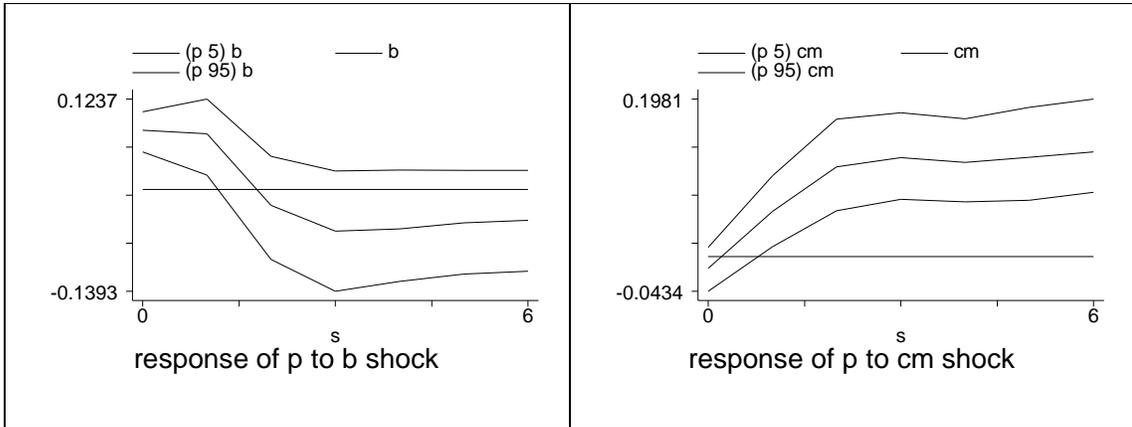


Figura 49: FIR con {b, cm, p}. Respuesta del precio .Tres rezagos.

Respuestas del barril y consumo

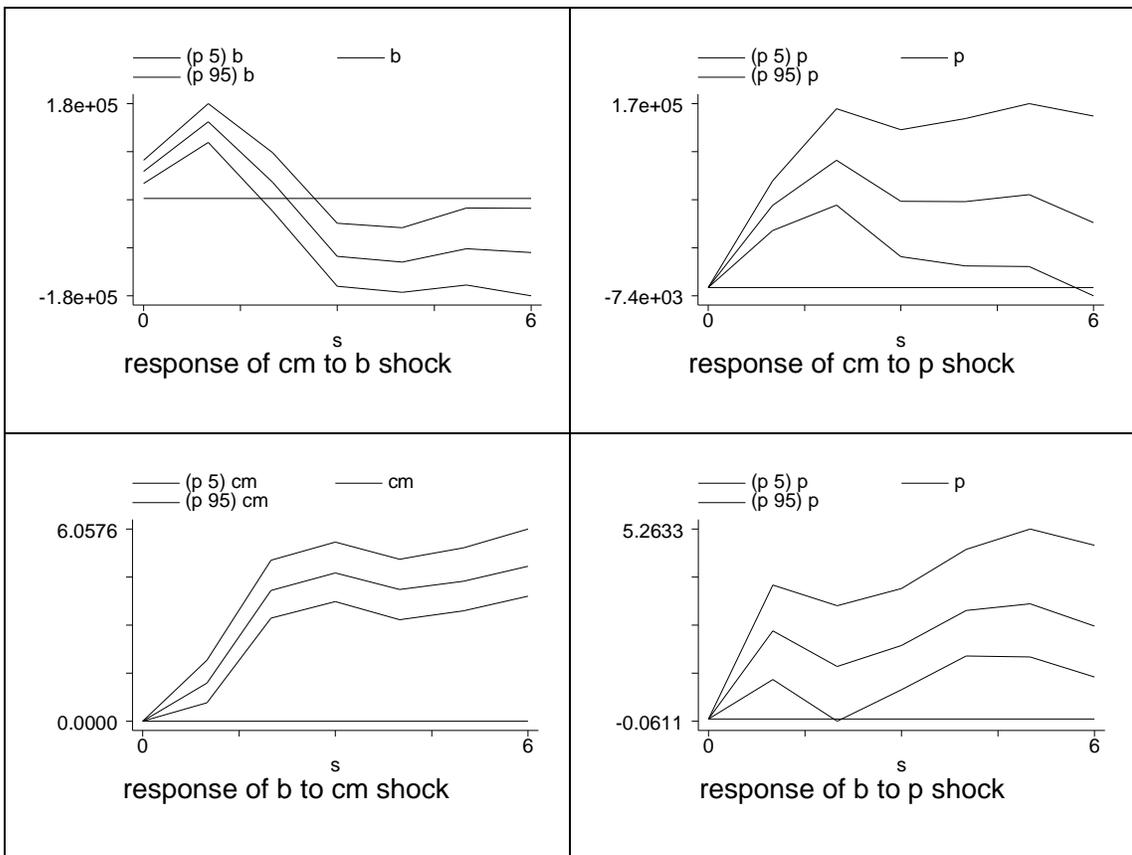


Figura 50: FIR con {b, cm, p}. Respuestas del barril y consumo mundial.

	s	b	cm	p
b	10	0,41	0,47	0,12
cm	10	0,11	0,85	0,04
p	10	0,05	0,22	0,74
b	20	0,28	0,64	0,08
cm	20	0,11	0,85	0,04
p	20	0,06	0,37	0,57

Tabla 18: Descomposición de varianzas.

C.2 Variables precio, consumo chino y precio del petróleo

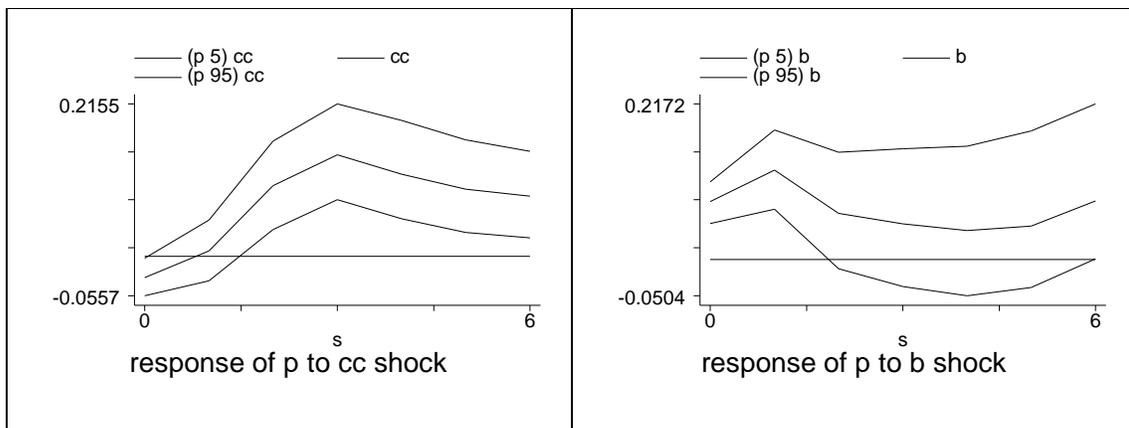


Figura 51: FIR con {b, cc, p}. Respuestas del precio.

Respuestas del barril y consumo

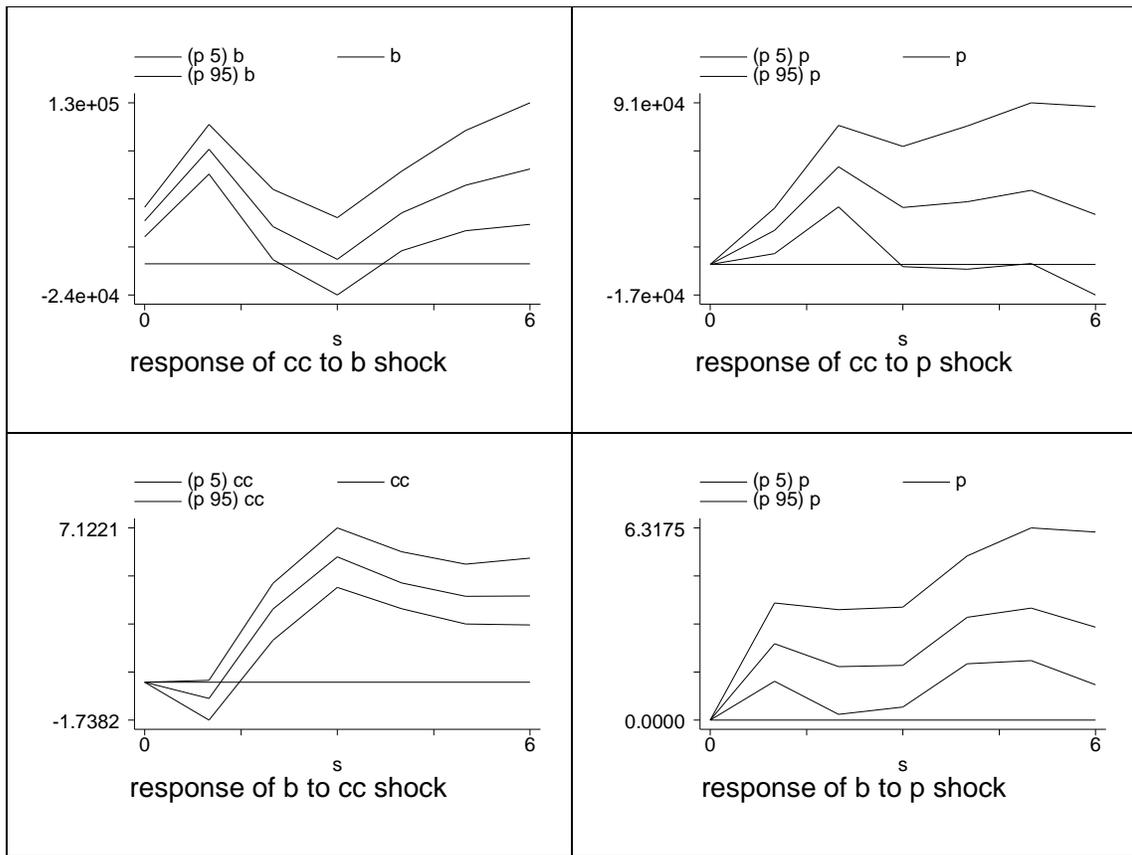


Figura 52: FIR con {b, cc, p}. Respuestas del barril y consumo.

	s	b	cc	p
b	10	0,54	0,32	0,14
cc	10	0,16	0,81	0,03
p	10	0,12	0,13	0,75
b	20	0,41	0,48	0,10
cc	20	0,20	0,77	0,04
p	20	0,16	0,25	0,58

Tabla 19: Descomposición de varianzas.

C.3 Variables precio, consumo mundial y S&P500

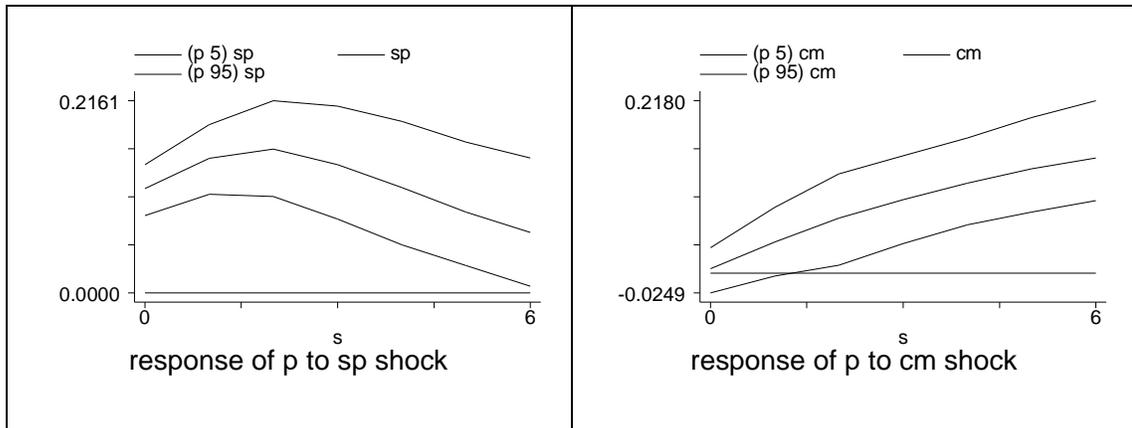


Figura 53: FIR con {sp, cm, p}. Respuesta del precio.

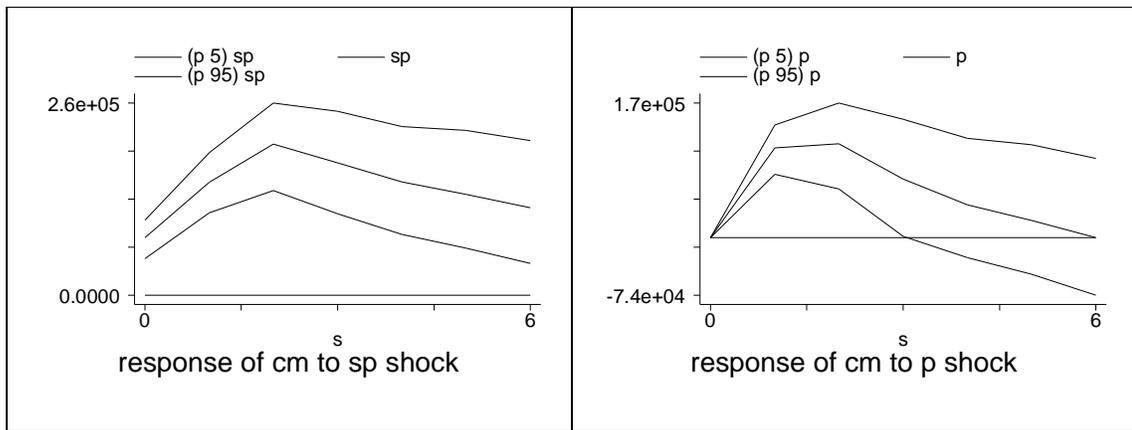


Figura 54: FIR con {sp, cm, p}. Respuestas del consumo mundial.

	s	sp	cm	p
sp	10	0,97	0,00	0,03
cm	10	0,17	0,79	0,04
p	10	0,17	0,22	0,61
sp	20	0,96	0,00	0,04
cm	20	0,08	0,89	0,02
p	20	0,11	0,52	0,37

Tabla 20: Descomposición de varianzas

C.3 Variables precio, consumo chino y S&P500

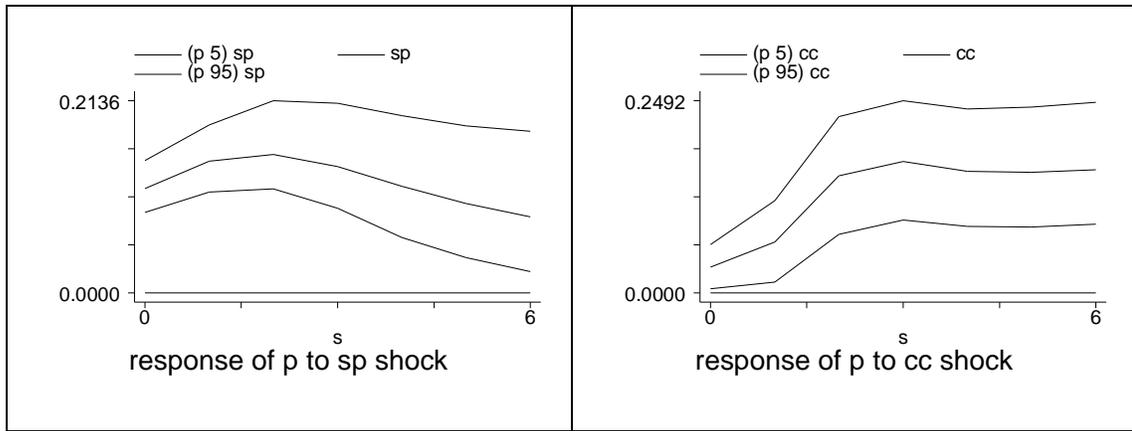


Figura 55: FIR con {sp, cc, p}. Respuestas del precio.

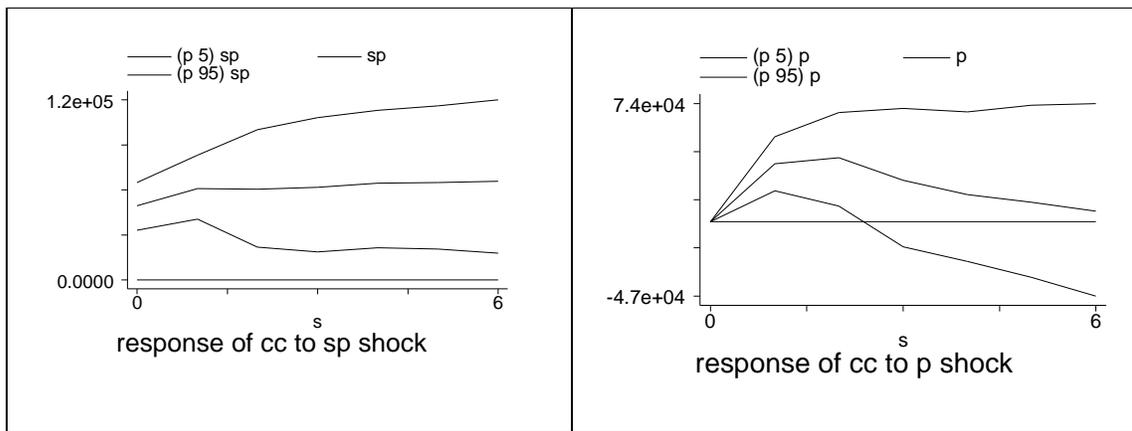


Figura 56: FIR con {sp, cm, p}. Respuestas del consumo chino.

	s	sp	cc	p
sp	10	0,96	0,01	0,03
cc	10	0,09	0,90	0,01
p	10	0,16	0,27	0,57
sp	20	0,95	0,01	0,04
cc	20	0,09	0,91	0,00
p	20	0,13	0,51	0,36

Tabla 21: Descomposición de varianzas.

Anexo D: Regresiones PVAR

En las próximas tablas se muestran los resultados de las regresiones PVAR calculados en STATA previo a la aplicación de las simulaciones de Montecarlo al aplicar FIR. Los valores “b_GMM” corresponden al coeficiente de cada rezago y “se_GMM” es la desviación estándar asociada al cálculo del coeficiente. Los coeficientes comienzan con la abreviación “L.n.h_variable ” esta refiere al lag “n” de la variable (transformada mediante Helmert).

h_cm	b_GMM	se_GMM
L.h_cm	0,72	0,12
L.h_pr	0,26	0,19
L.h_p	434475,92	62229,84
L2.h_cm	-0,38	0,06
L2.h_pr	0,33	0,18
L2.h_p	-275976,88	110588,09
L3.h_cm	0,09	0,05
L3.h_pr	-0,09	0,11
L3.h_p	-124065,02	86021,16
h_pr	b_GMM	se_GMM
L.h_cm	0,17	0,06
L.h_pr	1,11	0,11
L.h_p	232802,27	33027,77
L2.h_cm	-0,15	0,04
L2.h_pr	-0,30	0,09
L2.h_p	-139408,12	59838,36
L3.h_cm	-0,05	0,03
L3.h_pr	0,21	0,06
L3.h_p	-60995,77	46336,99
h_p	b_GMM	se_GMM
L.h_cm	0,00	0,00
L.h_pr	0,00	0,00
L.h_p	1,05	0,09
L2.h_cm	0,00	0,00
L2.h_pr	0,00	0,00
L2.h_p	-0,21	0,14
L3.h_cm	0,00	0,00
L3.h_pr	0,00	0,00
L3.h_p	-0,05	0,10

Tabla 22: PVAR {cm, pr, p}

h_cc	b_GMM	se_GMM
L.h_cc	1,04	0,09
L.h_pr	-0,08	0,11
L.h_p	105884,58	30514,30
L2.h_cc	-0,25	0,10
L2.h_pr	0,09	0,13
L2.h_p	-75855,11	68502,85
L3.h_cc	0,18	0,07
L3.h_pr	0,04	0,07
L3.h_p	-41915,55	53085,35
h_pr	b_GMM	se_GMM
L.h_cc	0,40	0,09
L.h_pr	1,11	0,09
L.h_p	219103,90	36441,31
L2.h_cc	-0,46	0,10
L2.h_pr	-0,21	0,12
L2.h_p	-111791,76	64276,70
L3.h_cc	0,11	0,07
L3.h_pr	0,06	0,06
L3.h_p	-96357,11	49526,52
h_p	b_GMM	se_GMM
L.h_cc	0,00	0,00
L.h_pr	0,00	0,00
L.h_p	1,06	0,10
L2.h_cc	0,00	0,00
L2.h_pr	0,00	0,00
L2.h_p	-0,14	0,13
L3.h_cc	0,00	0,00
L3.h_pr	0,00	0,00
L3.h_p	-0,09	0,10

Tabla 23: PVAR {cc, pr, p}

h_usd	b_GMM	se_GMM
L.h_usd	0,79	0,05
L.h_b	0,00	0,00
L.h_cm	0,00	2,98
L.h_p	0,00	0,00
L2.h_usd	-0,05	0,06
L2.h_b	0,00	0,00
L2.h_cm	0,00	3,33
L2.h_p	0,01	0,00
L3.h_usd	0,17	0,06
L3.h_b	0,00	0,00
L3.h_cm	0,00	1,99
L3.h_p	-0,01	0,00
h_b	b_GMM	se_GMM
L.h_usd	-107,06	32,57
L.h_b	0,75	0,07
L.h_cb	0,00	1,40
L.h_	6,08	2,34
L2.h_us	86,70	32,82
L2.h_	-0,54	0,11
L2.h_c	0,00	1,44
L2.h_	-9,07	3,79
L3.h_us	-33,06	20,87
L3.h_	0,13	0,07
L3.h_c	0,00	1,24
L3.h_	6,35	2,72
h_cm	b_GMM	se_GMM
L.h_us	1884955,10	961136,40
L.h_	8018,58	2092,37
L.h_c	0,92	0,05
L.h_	241461,04	41985,50
L2.h_us	-4571895,70	914240,50
L2.h_	-20114,59	2511,57
L2.h_c	0,00	0,04
L2.h_	-197790,08	68161,19
L3.h_us	2115079,40	741946,10
L3.h_	24,26	2490,17
L3.h_c	0,25	0,04
L3.h_	-12363,01	53793,07
h_p	b_GMM	se_GMM
L.h_us	-2,21	0,92
L.h_	0,00	0,00
L.h_c	0,00	7,34
L.h_	0,99	0,10
L2.h_us	2,09	1,11

L2.h_	-0,01	0,00
L2.h_c	0,00	6,44
L2.h_	-0,10	0,11
L3.h_us	-1,28	0,92
L3.h_	0,01	0,00
L3.h_c	0,00	5,76
L3.h_	-0,08	0,08

Tabla 24: PVAR {usd, b cm, p}

h_usd	b_GMM	se_GMM
L.h_us	0,86	0,05
L.h_	0,00	0,00
L.h_c	0,00	4,41
L.h_	0,00	0,00
L2.h_us	-0,05	0,06
L2.h_	0,00	0,00
L2.h_c	0,00	5,63
L2.h_	0,00	0,00
L3.h_us	0,07	0,06
L3.h_	0,00	0,00
L3.h_c	0,00	5,20
L3.h_	-0,01	0,00
h_b	b_GMM	se_GMM
L.h_us	-113,05	30,34
L.h_	1,00	0,09
L.h_c	0,00	3,24
L.h_	6,70	2,13
L2.h_us	100,97	33,83
L2.h_	-0,59	0,10
L2.h_c	0,00	4,70
L2.h_	-9,06	3,47
L3.h_us	-18,07	21,92
L3.h_	0,22	0,06
L3.h_c	0,00	3,25
L3.h_	6,04	2,48
h_cc	b_GMM	se_GMM
L.h_us	1547286,40	535342,90
L.h_	4892,91	1017,40
L.h_c	1,1474441	0,06
L.h_	73970,60	23226,00
L2.h_us	-3432325,60	658066,20
L2.h_	-14340,21	1988,70
L2.h_c	-0,16	0,06
L2.h_	-28100,02	42006,70
L3.h_us	2059321,30	400626,20
L3.h_	10835,50	1878,48

L3.h_c	0,01	0,05
L3.h_	-39595,31	34898,77
h_p	b_GMM	se_GMM
L.h_us	-2,92	0,93
L.h_	0,00	0,00
L.h_c	0,00	1,37
L.h_	0,99	0,11
L2.h_us	2,30	1,10
L2.h_	-0,01	0,00
L2.h_c	0,00	1,48
L2.h_	-0,08	0,11
L3.h_us	-0,34	0,86
L3.h_	0,01	0,00
L3.h_c	0,00	1,38
L3.h_	-0,10	0,09

Tabla 25: PVAR {usd, b, cc , p}

h_sp	b_GMM	se_GMM
L.h_sp	0,87	0,07
L.h_b	0,00	0,33
L.h_cm	0,00	0,00
L.h_p	48,98	10,41
L2.h_sp	0,10	0,08
L2.h_b	-3,73	0,38
L2.h_cm	0,00	0,00
L2.h_p	-37,41	14,70
L3.h_sp	-0,10	0,05
L3.h_b	0,54	0,42
L3.h_cm	0,00	0,00
L3.h_p	1,68	10,00
h_b	b_GMM	se_GMM
L.h_sp	0,00	0,01
L.h_b	0,76	0,07
L.h_cm	0,00	0,00
L.h_p	7,95	2,88
L2.h_sp	0,00	0,01
L2.h_b	-0,53	0,12
L2.h_cm	0,00	0,00
L2.h_p	-10,27	4,18
L3.h_sp	0,00	0,00
L3.h_b	0,11	0,09
L3.h_cm	0,00	0,00
L3.h_p	6,90	2,80
h_cm	b_GMM	se_GMM

L.h_sp	172,74	175,90
L.h_b	10663,81	1861,36
L.h_cm	0,92	0,05
L.h_p	192308,55	45714,10
L2.h_sp	393,18	215,42
L2.h_b	-21027,09	2959,06
L2.h_cm	0,01	0,04
L2.h_p	-196361,82	76328,54
L3.h_sp	-769,84	181,48
L3.h_b	1465,36	2730,43
L3.h_cm	0,26	0,03
L3.h_p	2871,87	57035,04
h_p	b_GMM	se_GMM
L.h_sp	0,00	0,00
L.h_b	0,00	0,00
L.h_cm	0,00	0,00
L.h_p	1,00	0,11
L2.h_sp	0,00	0,00
L2.h_b	-0,01	0,00
L2.h_cm	0,00	0,00
L2.h_p	-0,14	0,12
L3.h_sp	0,00	0,00
L3.h_b	0,01	0,00
L3.h_cm	0,00	0,00
L3.h_p	-0,05	0,09

Tabla 26: PVAR {sp, b, cm, p}

h_sp	b_GMM	se_GMM
L.h_sp	0,88	0,06
L.h_b	0,73	0,38
L.h_cc	0,00	0,00
L.h_p	56,35	10,80
L2.h_sp	0,10	0,08
L2.h_b	-3,88	0,42
L2.h_cc	0,00	0,00
L2.h_p	-42,97	14,25
L3.h_sp	-0,08	0,05
L3.h_b	1,61	0,44
L3.h_cc	0,00	0,00
L3.h_p	3,33	10,21
h_b	b_GMM	se_GMM
L.h_sp	0,01	0,01
L.h_b	0,97	0,08
L.h_cc	0,00	0,00
L.h_p	7,64	2,46

L2.h_sp	-0,01	0,01
L2.h_b	-0,60	0,10
L2.h_cc	0,00	0,00
L2.h_p	-9,68	3,65
L3.h_sp	0,01	0,00
L3.h_b	0,19	0,07
L3.h_cc	0,00	0,00
L3.h_p	6,10	2,51
h_cc	b_GMM	se_GMM
L.h_sp	3,86	83,47
L.h_b	5332,13	1043,05
L.h_cc	1,12	0,06
L.h_p	58430,29	24911,97
L2.h_sp	152,21	96,54
L2.h_b	-14498,39	2137,53
L2.h_cc	-0,17	0,07
L2.h_p	-8188,10	42789,49
L3.h_sp	-121,87	78,40
L3.h_b	10762,93	1969,37
L3.h_cc	0,04	0,06
L3.h_p	-54070,18	36146,08
h_p	b_GMM	se_GMM
L.h_sp	0,00	0,00
L.h_b	0,00	0,00
L.h_cc	0,00	0,00
L.h_p	1,00	0,11
L2.h_sp	0,00	0,00
L2.h_b	-0,01	0,00
L2.h_cc	0,00	0,00
L2.h_p	-0,11	0,11
L3.h_sp	0,00	0,00
L3.h_b	0,01	0,00
L3.h_cc	0,00	0,00
L3.h_p	-0,07	0,09

Tabla 27: PVAR {sp, b, cc, p}

h_b	b_GMM	se_GMM
L.h_b	0,76	0,07
L.h_cm	0,00	0,00
L.h_p	7,64	2,50
L2.h_b	-0,54	0,12
L2.h_cm	0,00	0,00
L2.h_p	-10,29	4,07
L3.h_b	0,12	0,08
L3.h_cm	0,00	0,00

L3.h_p	7,04	2,83
h_cm	b_GMM	se_GMM
L.h_b	9360,15	2122,08
L.h_cm	0,90	0,05
L.h_p	230555,03	42048,34
L2.h_b	-20231,95	2622,87
L2.h_cm	0,01	0,04
L2.h_p	-156935,25	66448,28
L3.h_b	348,77	2676,50
L3.h_cm	0,23	0,04
L3.h_p	-32712,04	53702,48
h_p`	b_GMM	se_GMM
L.h_b	0,00	0,00
L.h_cm	0,00	0,00
L.h_p	1,03	0,10
L2.h_b	-0,01	0,00
L2.h_cm	0,00	0,00
L2.h_p	-0,13	0,11
L3.h_b	0,01	0,00
L3.h_cm	0,00	0,00
L3.h_p	-0,06	0,08

Tabla 28: PVAR {b, cm, p}

h_b	b_GMM	se_GMM
L.h_b	1,03	0,09
L.h_cc	0,00	0,00
L.h_p	7,84	2,26
L2.h_b	-0,62	0,11
L2.h_cc	0,00	0,00
L2.h_p	-10,37	3,77
L3.h_b	0,23	0,07
L3.h_cc	0,00	0,00
L3.h_p	6,53	2,64
h_cc	b_GMM	se_GMM
L.h_b	5481,62	1053,29
L.h_cc	1,11	0,07
L.h_p	59731,50	23984,52
L2.h_b	-14454,81	2125,67
L2.h_cc	-0,14	0,07
L2.h_p	1647,03	42201,98
L3.h_b	10611,97	2023,57
L3.h_cc	0,02	0,05
L3.h_p	-59746,12	36035,22
h_p	b_GMM	se_GMM

L.h_b	0,00	0,00
L.h_cc	0,00	0,00
L.h_p	1,02	0,11
L2.h_b	-0,01	0,00
L2.h_cc	0,00	0,00
L2.h_p	-0,11	0,11
L3.h_b	0,01	0,00
L3.h_cc	0,00	0,00
L3.h_p	-0,08	0,09

Tabla 29: PVAR {b, cc, p}

h_sp	b_GMM	se_GMM
L.h_sp	0,95	0,06
L.h_cm	0,00	0,00
L.h_p	67,13	12,52
L2.h_sp	0,08	0,08
L2.h_cm	0,00	0,00
L2.h_p	-71,78	23,89
L3.h_sp	-0,14	0,05
L3.h_cm	0,00	0,00
L3.h_p	0,05	16,78
h_cm	b_GMM	se_GMM
L.h_sp	467,88	198,46
L.h_cm	0,91	0,06
L.h_p	350201,95	59406,19
L2.h_sp	279,81	224,65
L2.h_cm	-0,17	0,05
L2.h_p	-344129,88	110386,93
L3.h_sp	-839,30	192,13
L3.h_cm	0,31	0,05
L3.h_p	-42109,03	82712,95
h_p	b_GMM	se_GMM
L.h_sp	0,00	0,00
L.h_cm	0,00	0,00
L.h_p	1,03	0,10
L2.h_sp	0,00	0,00
L2.h_cm	0,00	0,00
L2.h_p	-0,24	0,14
L3.h_sp	0,00	0,00
L3.h_cm	0,00	0,00
L3.h_p	-0,02	0,10

Tabla 30: PVAR {sp, cm, p}

h_sp	b_GMM	se_GMM
L.h_sp	0,92	0,06
L.h_cc	0,00	0,00
L.h_p	69,20	12,16
L2.h_sp	0,08	0,08
L2.h_cc	0,00	0,00
L2.h_p	-75,59	22,91
L3.h_sp	-0,11	0,05
L3.h_cc	0,00	0,00
L3.h_p	6,87	16,21
h_cc	b_GMM	se_GMM
L.h_sp	-58,99	103,02
L.h_cc	1,08	0,07
L.h_p	111291,32	32812,09
L2.h_sp	116,20	126,23
L2.h_cc	-0,27	0,07
L2.h_p	-109470,33	77730,16
L3.h_sp	-43,46	137,69
L3.h_cc	0,25	0,06
L3.h_p	-12882,39	58764,48
h_p	b_GMM	se_GMM
L.h_sp	0,00	0,00
L.h_cc	0,00	0,00
L.h_p	1,04	0,10
L2.h_sp	0,00	0,00
L2.h_cc	0,00	0,00
L2.h_p	-0,22	0,13
L3.h_sp	0,00	0,00
L3.h_cc	0,00	0,00
L3.h_p	-0,02	0,09

Tabla 31: PVAR {sp, cc, p}

Anexo E: Cálculo del número de rezagos.

Las test se entregan en formato de resultado STATA. Los valores destacados en negro corresponden al largo de paso elegido por el software.

lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	-1866				8,30E+22	61,28	61,32	61,39
1	-1698	336,99	9	0,00	4,40E+20	56,05	56,22	56,47
2	-1679	37,26	9	0,00	3,20E+20	55,74	56,02	56,47
3	-1665	28,42	9	0,00	2,70E+20	55,57	55,97	56,61

Tabla 32: Determinación del número de rezagos para $Y=\{cm, pr, p\}$

lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	-1872				1,00E+23	61,49	61,53	61,59
1	-1681	382,05	9	0,00	2,60E+20	55,52	55,69	55,94
2	-1649	64,82	9	0,00	1,20E+20	54,76	55,04	55,48
3	-1632	33,41	9	0,00	9,50E+19	54,50	54,91	55,54

Tabla 33: Determinación del número de rezagos para $Y=\{cc, pr, p\}$

lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	-1872				1,00E+23	61,49	61,53	61,59
1	-1681	382,05	9	0,00	2,60E+20	55,52	55,69	55,94
2	-1649	64,82	9	0,00	1,20E+20	54,76	55,04	55,48
3	-1632	33,41	9	0,00	9,50E+19	54,50	54,91	55,54

Tabla 34: Determinación del número de rezagos para Y={usd, b, cm, p}

lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	-1099				6,00E+10	36,17	36,23	36,31
1	-905	389,44	16	0,00	1,70E+08	30,31	30,58	31,00
2	-882	44,28	16	0,00	1,40E+08	30,11	30,60	31,36
3	-856	53,64	16	0,00	1,00E+08	29,76	30,46	31,56

Tabla 35: Determinación del número de rezagos para Y={usd, b, cc, p}

lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	-1646				3,60E+18	54,08	54,14	54,22
1	-1459	372,97	16	0,00	1,40E+16	48,49	48,77	49,19
2	-1433	51,71	16	0,00	9,90E+15	48,17	48,66	49,42
3	-1417	33,15	16	0,01	9,90E+15	48,15	48,86	49,95

Tabla 36: Determinación del número de rezagos para $Y=\{sp, b, cm, p\}$

lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	-1637				2,70E+18	53,79	53,85	53,93
1	-1424	425,66	16	0,00	4,30E+15	47,34	47,61	48,03
2	-1401	45,13	16	0,00	3,50E+15	47,13	47,61	48,37
3	-1376	50,97	16	0,00	2,60E+15	46,81	47,52	48,61

Tabla 37: Determinación del número de rezagos para $Y=\{sp, b, cc, p\}$

lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	-891				1,10E+09	29,32	29,36	29,43
1	-731	321,46	9	0,00	7,50E+06	24,35	24,51	24,76
2	-718	24,85	9	0,00	6,70E+06	24,24	24,52	24,96
3	-705	25,51	9	0,00	6,00E+06	24,11	24,52	25,15

Tabla 38: Determinación del número de rezagos para Y={usd, cm, p}

lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	-879				7,30E+08	28,92	28,96	29,02
1	-696	365,57	9	0,00	2,40E+06	23,22	23,38	23,63
2	-688	17,15	9	0,05	2,50E+06	23,23	23,52	23,96
3	-673	29,69	9	0,00	2,10E+06	23,04	23,45	24,08

Tabla 39: Determinación del número de rezagos para Y={usd, cc, p}

lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	-1426,24				4,50E+16	46,86	46,90	46,96
1	-1252,55	347,38	9	0	2,00E+14	41,46	41,62	41,88
2	-1241,17	22,756	9	0,01	1,90E+14	41,38	41,67	42,11
3	-1227,09	28,174	9	0,00	1,60E+14	41,22	41,62	42,25

Tabla 40: Determinación del número de rezagos para $Y=\{sp, cm, p\}$

lag	LL	LR	df	p	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	-1416,23				3,20E+16	46,53	46,57	46,64
1	-1217,32	397,82	9	0,00	6,40E+13	40,31	40,47	40,72
2	-1209,86	14,92	9	0,09	6,80E+13	40,36	40,64	41,08
3	-1195,98	27,76	9	0,00	5,80E+13	40,20	40,60	41,23

Tabla 41: Determinación del número de rezagos para $Y=\{sp, cm, p\}$