



BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ

¿Respuesta asimétrica de precios domésticos de combustibles ante choques en el WTI?

Carlos Barrera *

* Banco Central de Reserva del Perú.

DT. N° 2010-016
Serie de Documentos de Trabajo
Working Paper series
Diciembre 2010

Los puntos de vista expresados en este documento de trabajo corresponden al autor y no reflejan necesariamente la posición del Banco Central de Reserva del Perú.

The views expressed in this paper are those of the author and do not necessarily represent the views or position of the Central Reserve Bank of Peru.

¿RESPUESTA ASIMÉTRICA DE PRECIOS DOMÉSTICOS DE COMBUSTIBLES ANTE CHOQUES EN EL WTI?*

(Versión 6 de diciembre del 2010)

Carlos R. Barrera Chaupis
D.M.M.

Resumen

La presente investigación aproxima cuantitativamente las relaciones dinámicas entre los componentes de los precios domésticos de los combustibles y el precio internacional del petróleo WTI, su principal determinante, para el caso peruano durante los años 2000-2009. Este periodo incluye uno más reciente, que se inicia en set. 2004, en el que estos precios domésticos se han formado bajo un sistema de bandas administrado por el Fondo de Estabilización de Precios de los Combustibles Derivados del Petróleo (FEPCDP). Para capturar la potencial presencia de asimetrías en el vector de medias condicionales, se propone un modelo dinámico flexible (VAR neuronal), una distribución t de Student para el vector de perturbaciones asociado así como un modelo de heteroscedasticidad dinámica (ARCH) para su matriz de co-varianzas condicionales. Los parámetros de ambos momentos condicionales son robustos ante la presencia de observaciones atípicas -outliers- debido a que los vectores de perturbaciones son realizaciones de una distribución t de Student multi-variada, lo que además reduce la presencia de asimetrías espurias en las medias condicionales. Al cubrir el costo computacional requerido, la aproximación de los parámetros logra develar la operatividad del FEPCDP. Sin embargo, elevar la precisión de las proyecciones de inflación no subyacente (NS), cuyo componente más relevante a predecir es el sub-índice de precios de los combustibles de consumo final, puede resultar más costoso.

I. Introducción

En un estudio relativamente reciente del Banco Central de Chile, De Gregorio *et al* (2007) sostienen que los choques de **precios internacionales** del petróleo hasta fines del 2006 habían tenido impactos reducidos sobre la inflación y el crecimiento real en todos los países de su muestra (34, incluyendo Chile), *menores* que los de los ocurridos durante los 70s y 80s. Estos menores impactos se reflejan en los estimados de momentos no condicionales (correlaciones) y de parámetros específicos en las medias condicionales) para estas dos variables macroeconómicas principales (curvas de Phillips y modelos VAR). Los factores explicativos más importantes para esta insensibilidad son: (i) la reducción en el *pass-through* del tipo de cambio hacia los precios, (ii) la reducción en el uso del petróleo por unidad de PBI, y (iii) el entorno de mayor estabilidad de precios¹.

Si se ampliara la muestra para incluir los acontecimientos más recientes, digamos hasta mediados del 2008, la insensibilidad de la inflación y el crecimiento en Chile hasta el 2006 contrastaría con la sensibilidad observada en el Perú desde inicios del 2007. Durante el 2007 se observó una respuesta razonable de la inflación ante los ajustes en los precios domésticos de los combustibles derivados realizados a inicios del año. Ello motivó que se estimara tres modelos *Sparse* VAR estructurales con información desagregada hasta junio del 2008 del índice de precios al consumidor (IPC), del índice de precios al por mayor (IPM), así como el grupo de 9 **precios domésticos** pagados por el consumidor (intermedio y final) de combustibles líquidos bajo el régimen del Fondo de Estabilización de Precios de los Combustibles Derivados del Petróleo

* El autor agradece a Rubén Lema y a Eduardo Moreno por el acceso a los datos así como a descripciones de la operatividad del Fondo de Estabilización de Precios de Combustibles (FEPCDP).

¹ Otros factores que afectan la transmisión son: (i) la mayor flexibilidad de tipos de cambio, que favorece compensaciones cambiarias parciales para el valor doméstico de este *commodity*, (ii) el menor nivel real del precio del petróleo, y (iii) el menor grado de acomodación de las políticas monetarias ante los choques petroleros que en los 70s y 80s. En un análisis similar con modelos VAR para EE.UU., Furlong & Ingenito (1996) añaden el grado de rigidez del mercado laboral como factor relevante.

(FEPCDP)². Los tres modelos sólo difieren en términos de las desagregaciones del IPC e IPM utilizadas: el Modelo A utiliza niveles de desagregación bajos, el Modelo B, intermedios, y el Modelo C, amplios. Se encontró que los choques estructurales de **precios domésticos** de los combustibles tenían impactos importantes en la inflación IPC y la inflación IPM y que este grupo de precios participaban en la dinámica sistemática de los componentes de estos agregados. El Cuadro No. 1 muestra que ambas características les permitieron generar proyecciones próximas a la ejecución al cierre del 2009, en particular el Modelo B para la inflación IPC y los tres modelos para la inflación IPM (la incertidumbre del IPM es mucho mayor)³.

Cuadro No. 1
Inflación 2009: Ejecución vs. Proyecciones
(var.% 12 meses)

	Modelo A	Modelo B	Modelo C
Inflación IPC			
a. Ejecución		0.245	
b. Proyección con choque	0.887	0.359	4.526
c. Error de predicción (a-b)	-0.642	-0.114	-4.281
Inflación IPM			
a. Ejecución		-5.053	
b. Proyección con choque	-1.993	-0.984	-0.505
c. Error de predicción (a-b)	-3.060	-4.069	-4.548
Inflación Combustibles			
a. Ejecución		-14.030	
b. Proyección con choque	-23.286	1.590	1.457
c. Error de predicción (a-b)	9.256	-15.620	-15.487

Una importante fuente del error de predicción de la variación en los precios domésticos de combustibles para estos modelos *Sparse VAR* estimados es la exclusión de la transmisión de las variaciones en el precio internacional del petróleo crudo sobre las variaciones en los precios domésticos de los combustibles. Un elemento fundamental de esta transmisión es el efecto atenuador resultado de las respuestas asimétricas ante choques grandes y pequeños por parte del FEPCDP. Por su parte, la cuantificación de un impacto importante sobre el crecimiento real (Hamilton(2009a)) requiere incluir información desagregada del Producto Bruto Interno (PBI).

Resulta indicativo que De Gregorio *et al* (2007) y gran parte de la literatura utilicen los precios internacionales del petróleo en vez de los precios domésticos del petróleo y desestimen, como explicación potencial para la insensibilidad que obtienen, el efecto atenuador que necesariamente resulta sobre las variaciones de los precios domésticos de los combustibles cuando existe algún tipo de intervención del gobierno como variaciones compensatorias en las tasas de impuestos o la defensa de una banda de precios⁴. De hecho, diferentes esquemas de estabilización para los precios domésticos de combustibles y alimentos venían siendo recomendados en la literatura desde los choques petroleros de los 70s y 80s justamente por su efecto atenuador sobre las

² Los modelos *Sparse VAR* se caracterizan por: (i) su parsimonia en términos de un reducido número de parámetros, que contrasta con (ii) un número elevado de variables endógenas, entre las cuales se incluye componentes de dos variables agregadas (p.ej., la inflación IPC y la inflación IPM), (iii) los cuales se agregan en el modelo para luego afectar a las otras variables incluidas (ver Barrera (2006)).

³ Específicamente, con los coeficientes estimados y los datos a diciembre del 2008, se generó una proyección para la inflación IPC y la inflación IPM para el periodo enero-diciembre del 2009 con un choque estructural negativo (anticipado) de 11,93 por ciento en los *precios domésticos* de los combustibles en febrero del 2009. Este choque fue anticipado como un ajuste anunciado del FEPCDP.

⁴ Si se busca estabilizar el precio de un bien almacenable no comerciable internacionalmente, la defensa de la banda de precios consistiría en la plena disposición de alguna entidad gubernamental para comprar (vender) la cantidad necesaria para crear una demanda (oferta) perfectamente elástica por dicho bien al precio piso (techo) correspondiente.

variaciones de estos precios domésticos ante el impacto acumulado de los choques pequeños en los precios internacionales de estos *commodities* así como ante el impacto directo de los choques grandes, reduciendo así la volatilidad de las variaciones en los precios domésticos por debajo de la de los precios internacionales (Miranda & Helmberger(1988)).

Por lo tanto, una manera de racionalizar la insensibilidad obtenida por De Gregorio *et al* (2007) frente a lo observado recientemente en Perú y otros países es que sus modelos lineales con el precio internacional del petróleo no pueden considerar el efecto atenuador de los esquemas de estabilización. No sería extraño que varios de los 34 países (además de Chile y EE.UU.) considerados como insensibles ante los choques petroleros más recientes (al menos hasta el 2006) utilicen esquemas de estabilización similares al FEPCDP. Por ejemplo, éstos podrían usar cambios compensatorios en las tasas impositivas al consumo de los combustibles derivados que posibiliten tanto respuestas asimétricas ante choques diferentes en su magnitud (grandes o pequeños) y en su signo (positivos o negativos) como un efecto atenuador sobre la varianza no condicional de los precios domésticos de los combustibles⁵. En este sentido, la insensibilidad que estiman sería un resultado ficticio (*figmentum*) de los modelos y de la información agregada específica que utilizan, al margen de todos los factores explicativos que esgrimen.

El caso del Perú es evidencia de que existe un grupo amplio de países no incluidos en la muestra de 34 países de De Gregorio *et al* (2007) donde opera una variedad de mecanismos de estabilización cuyo efecto principal es atenuar la varianza **no** condicional de los precios domésticos de los combustibles (ver Gráfico No. 2, más adelante) lo suficiente como para que los impactos sobre las medias condicionales de la inflación y del crecimiento real ante estos choques desde los 90s resulten menores (en valor absoluto para el caso del crecimiento real) que los impactos de los 70s y 80s. Sin embargo, para incluir los efectos de tales mecanismos es necesario considerar especificaciones que permitan separar el efecto de no linealidades (asimetrías) en las medias condicionales del efecto de heteroscedasticidad dinámica (matriz de covarianzas condicionales cambiante en el tiempo) en los precios domésticos de los combustibles (ver Nelson(1991), Engle & Kroner (1995), Hamilton(2009b) y referencias).

Por ende, para cumplir con los objetivos de investigación de De Gregorio *et al* (2007) se requiere (i) un modelo no lineal que aproxime la transmisión asimétrica de los choques petroleros externos hacia los precios domésticos de los combustibles que resulta del mecanismo de estabilización de precios de combustibles en operación en cada país, tanto en medias condicionales como en covarianzas condicionales (primer bloque), y luego (ii) un modelo que aproxime los mecanismos de transmisión tanto de los choques atenuados en los precios domésticos de los combustibles como de otros choques relevantes que afectan las medidas agregadas de inflación y crecimiento real en cada país (segundo bloque). Ambos bloques constituirían un modelo amplio que aproxime la dinámica de las respuestas no lineales, e.d., las medias condicionales de estas dos variables macroeconómicas.

En el caso peruano, sólo usando este modelo amplio, el FEPCDP vigente mostraría su efecto atenuador sobre los mismos momentos estadísticos de la variación del índice de precios al

⁵ En un informe reciente, el Fondo Monetario Internacional (2008) indica que los aumentos en los precios internacionales entre los años 2004- 2007 no fueron traspasados a los precios domésticos de combustibles como el diesel y el kerosene (pg. 41), en muchos casos debido a la existencia de regímenes de precios *ad hoc*, en particular en países de altos ingresos que no pertenecen a la OECD (pg. 12), así como a la existencia, hacia fines del 2007, de subsidios a la gasolina en 19 de 93 países, al diesel en 32 de 93 países y al kerosene en 27 de 39 países (pg.14). Este informe también señala problemas en la disponibilidad de datos sobre la extensión de los subsidios a los combustibles en las cuentas de déficit de los gobiernos debido a la presencia de empresas (de propiedad del gobierno) responsables de la importación y distribución de estos combustibles y cuyas cuentas de ingresos o utilidades no suelen aparecer en el sector público consolidado (pg. 41). Rivero (2001b) describe los esquemas de estabilización existentes en Colombia, Indonesia, Noruega y Venezuela, los que sí son incluidos en las cuentas consolidadas del sector público.

consumidor (IPC) y del índice de precios al por mayor (IPM). Ello no sólo debido a que el sub-índice no subyacente del IPC incluye los precios de combustibles de consumo final sino también porque los combustibles en general participan en los costos de producción de la mayoría de bienes de consumo final y, por lo tanto, su evolución determina la de la mayoría de precios en el IPC y el IPM. Por ejemplo, los precios de los combustibles participan en los costos de transporte de los alimentos y en los costos operativos de los servicios públicos como la energía eléctrica.

El objetivo del presente estudio es estimar una aproximación agregada del primer bloque del modelo amplio ya mencionado para el caso peruano en el periodo enero 1994 - marzo 2009. Se aproximará la influencia del FEPCDP sobre los precios domésticos de los combustibles derivados del petróleo mediante un modelo flexible de las respuestas asimétricas en la formación de estos precios. La segunda sección esboza un marco conceptual para los mercados domésticos de combustibles en el Perú. La tercera sección describe los datos utilizados del mercado doméstico de combustibles. La cuarta sección propone un modelo **no estructural** flexible para aproximar las relaciones dinámicas asimétricas entre 3 componentes de un índice agregado de estos precios domésticos y 3 variables determinantes de los precios, así como un modelo **estructural** para descomponer la matriz de co-varianzas del periodo contemporáneo final T. La quinta sección presenta los resultados y la sexta, las conclusiones.

II. Mecanismos de estabilización de los precios externos

Debido a sus efectos adversos sobre la evolución de los precios y la producción domésticos de la mayoría de países, el problema de la inestabilidad de precios internacionales de *commodities* como combustibles y alimentos ha sido un tema recurrente en la literatura económica. Ya desde los choques de los combustibles y demás *commodities* a inicios y a fines de los años 70s surgió un gran número de propuestas (ver p.ej., Just *et al* (1978) y Morrow (1980)) a favor de una *entidad multinacional* con capacidad para intervenir y estabilizar los precios en los mercados internacionales de estos bienes, especialmente aquellos con un elevado grado de estandarización y un bajo valor agregado.

Just *et al* (1978) presentan un modelo teórico con dos países hipotéticos (p.ej., el grupo de países exportadores netos *versus* el grupo de países importadores netos de un *commodity*). Según este modelo, gran parte de las ganancias de bienestar generadas por estos esquemas de estabilización proviene de los consumidores y los importadores de ambos países, en particular en los países importadores netos, de donde la carga impositiva para financiar un esquema de estabilización administrado por una entidad multinacional debe aplicarse a la demanda.

El énfasis de la literatura teórica sobre *esquemas multinacionales* se mantuvo en la literatura hasta fines de los años 80s, cuando ya se disponía de experiencia práctica proveniente de diversos países sobre el uso de diferentes *esquemas nacionales* para estabilizar los precios en los mercados domésticos de estos bienes comerciables internacionalmente (Miranda & Helmberger(1988), Knudsen & Nash(1990)).

Por un lado, los esquemas en *países importadores netos* tenían como primer objetivo la estabilización de los precios domésticos, junto con la minimización del gasto público asociado a los subsidios a los productores e importadores (Engel & Meller (1993), Weyant (1984), Wright & Williams (1982), etc.). Por ejemplo, Miranda & Helmberger(1988) presentan un modelo según el cual estos esquemas solucionarán el problema del traspaso de volatilidad desde los precios de *commodities* hacia los precios domésticos, es decir, atenuarán la volatilidad de los precios domésticos, **si y solo si** la autoridad fiscal está dispuesta a cubrir el potencialmente elevado costo asociado. Por otro lado, los esquemas en *países exportadores netos* tenían otros objetivos

además de la estabilización de precios, como la maximización del ingreso público asociado a los impuestos a los productores-exportadores para generar ahorro público inter-temporal suficiente para cubrir un periodo de escasez aguda de estos recursos no renovables (Delbruck (1976), Engel & Meller (1993)). Entonces, el objetivo del diseño de estos esquemas es beneficiar al consumidor final e intermedio con precios estables (Samuelson(1972), Anderson *et al* (1977)), aunque no resulten necesariamente bajos ni libres de una mayor carga impositiva.

En países importadores netos como Estados Unidos, Chile y el Perú, estos esquemas implican subsidios y por ende, financiamiento fiscal positivo. En el caso del esquema de estabilización aplicado en Chile, uno de los mejor diseñados y financiados del mundo, el Fondo de Estabilización del Petróleo fue creado en 1990 como un sistema de bandas para los precios domésticos para atenuar los efectos de la tensión en el Golfo y, al menos desde su inicio, estuvo financiado por el Fondo de Estabilización del Cobre, un fondo de estabilización de ingresos fiscales típico de países exportadores netos, que inició sus operaciones en 1987 (ver Rivero(2001a)). Sin embargo, los mecanismos internos de este sistema de bandas han sido modificados en el tiempo, en particular para minimizar sus requerimientos financieros mediante la inclusión de proyecciones de los precios internacionales como determinantes de los precios utilizados como referencia (Engel & Meller(1993), Arellano(2006), Oliveira(2006)).

Mecanismo de estabilización peruano: el FEPCDP

En el caso peruano, el Fondo de Estabilización de los Precios de Combustibles Derivados del Petróleo (FEPCDP) fue creado en septiembre del 2004 con un pequeño aporte contingente equivalente a US\$ 18 millones. El FEPCDP consiste en un sistema de bandas para los precios cobrados por los principales combustibles líquidos vendidos por los mayoristas (refinerías e importadores)⁶. Estas bandas se ajustan de manera discrecional de acuerdo con los recursos disponibles que resultan de aportes discrecionales por parte del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) así como con el flujo semanal del saldo de acreencias del FEPCDP con los mayoristas.

Este mecanismo fue propuesto por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) para limitar el efecto inmediato de las alzas de los precios internacionales del petróleo crudo sobre los precios domésticos de los combustibles ya mencionados, de los cuales el petróleo crudo importado es el principal insumo. El objetivo era reducir la volatilidad de estos precios domésticos y facilitar así que la trayectoria futura de los mismos mantuviera algún grado de predictibilidad.

El mecanismo de bandas es básicamente un mecanismo de compensación coordinada, ya que consiste en la generación de un saldo de compensaciones pecuniarias que se acumula contablemente mediante montos positivos que resultan de la multiplicación de la cantidad (Q) vendida por los productores mayoristas (refinerías e importadores) en cada periodo y de cada combustible y la diferencia (D1) entre el **precio de referencia** correspondiente a cada combustible⁷ y el precio máximo o cota superior de la banda de precios vigente para dicho periodo. En principio, el mecanismo debiera ser simétrico de modo tal que el saldo de compensaciones pecuniarias se des-acumule mediante montos negativos que resulten de la

⁶ Las gasolinas de 84, 90, 95, 97 y 98 octanos, el kerosene, el diesel 2, el residual 6, el residual 500 y el gas licuado de petróleo (GLP). El FEPCDP excluye los combustibles sólidos como urea, leña y carbón.

⁷ El precio de referencia en el contexto del FEPCDP corresponde al precio de importación del combustible desde el *hub* de importación más relevante más los costos de transporte desde el mismo hasta un puerto nacional específico, suma que se multiplica por el tipo de cambio vigente. Para el caso del GLP, corresponde al precio de exportación de este combustible desde un puerto nacional específico. En un contexto más general, el precio de referencia podría definirse como el precio internacional del insumo más importante para producir domésticamente el combustible derivado, es decir, el petróleo crudo, al cual se importa desde el *hub* más relevante (multiplicado por el tipo de cambio vigente), más los costos domésticos de refinamiento del combustible derivado específico.

multiplicación de Q y la diferencia (D2) entre el precio mínimo o cota inferior de la banda de precios vigente y el precio de referencia de cada combustible.

Sin embargo, como no es posible imponer que los mayoristas establezcan los precios netos dentro de la banda correspondiente (Ley Orgánica de Hidrocarburos, Ley N° 26221 del 19 de agosto de 1993, Arts. 2 y 77), las cotas **no suelen** ajustarse a la baja tan fácilmente como se ajustan al alza⁸. Claramente, se podría inducir que los precios netos se mantengan dentro de las bandas cuando las cotas se reduzcan más a menudo mediante el uso de inventarios públicos de combustibles derivados de magnitud tal que el mecanismo modificado sea creíble en su capacidad para acotar el precio neto con la banda de precios (ver Roumasset(1993) y Chavas & Kim(2004)). En ausencia de esta capacidad, el precio neto que efectivamente cobran los mayoristas (refinerías e importadores) a los minoristas (grifos) por un combustible no necesariamente se encuentra *siempre* dentro de la banda correspondiente. Sin embargo, el mecanismo de compensación coordinada funciona en la mayoría de los periodos: el acotamiento del precio neto es efectivo porque los mayoristas optan por hacerlo así cuando pueden asegurarse de que no enfrentarán estrecheces de fondos. Asimismo, el saldo de compensaciones pecuniarias se des-acumula básicamente mediante los pagos que realiza el MEF a favor de los productores mayoristas, típicamente cuando el saldo alcanza niveles que atentan contra la liquidez de estas empresas privadas.

Evidentemente, existen diferencias de diseño en los mecanismos de estabilización de diferentes países, las que se reflejan en un mayor o menor grado de atenuación de la volatilidad de estos precios domésticos así como un menor o mayor ahorro de fondos públicos para financiarlo. Por ejemplo, los ajustes de las bandas de precios de combustibles se realizan de manera automática en el caso de Chile y de manera discrecional en el caso del Perú hasta muy recientemente (I semestre del 2010). Los ajustes automáticos (pequeños y frecuentes) requieren de menores niveles de financiamiento para cada ratio de atenuación pre-fijado que los ajustes discrecionales (grandes e infrecuentes). Por otro lado, los ajustes discrecionales de las bandas minimizan los costos de coordinación y de mal funcionamiento del mecanismo en términos de una menor estabilidad de precios netos cobrados por los mayoristas.

Si la magnitud de los costos de embalaje y transporte de los combustibles los convirtiera en bienes no comerciables internacionalmente y la estructura de estos mercados fuera perfectamente competitiva, es decir, si ninguno de los productores mayoristas (refinerías e importadores) tuviera capacidad para influir el precio del mercado, los efectos de un mecanismo simétrico de bandas con ajustes no discrecionales serían simétricas en términos del signo de los choques en el precio internacional de su principal insumo, el petróleo crudo. Como los combustibles pueden considerarse como bienes comerciables internacionalmente, los precios de referencia para la formación de los precios serían los precios internacionales en soles corregidos por costos de transporte asociados a la importación (exportación) de cada combustible así como por diferencias en la calidad entre el combustible importado (exportado) y el domésticamente (externamente) producido. En este caso, ya no es necesario definir un “precio del mercado” como aquél que iguala la oferta y demanda domésticas⁹, pues la intercepción de cada par doméstico {oferta, demanda} del mercado doméstico de cada combustible derivado individual no participa en la determinación del precio doméstico correspondiente, incluso en ausencia de intervención estatal (para una de las primeras explicaciones en este sentido, ver Munkirs & Knoedler (1988)).

⁸ Aunque sí lo hacen ante reducciones drásticas en los precios internacionales de los combustibles, como en el último trimestre del 2008. Ver Gráfico N° 2.

⁹ Ya no existe un “efecto censura” que vuelva el precio que iguala la oferta y demanda domésticas una variable latente que no se observa fuera de la banda de precios. Alternativamente, no existe una alternancia de regímenes de mercado y de intervención que diera lugar a modelos dinámicos Tobit multi-variados como en Chavas & Kim (2004).

Sin embargo, aunque los mercados domésticos de combustibles derivados en el Perú son mercados típicos de importación (a excepción del GLP)¹⁰, no existe competencia perfecta por el lado de la oferta. Los dos principales productores domésticos (refinerías de Petroperú y Relapasa) se comportan como un monopolio (duopolio coordinado) y enfrentan en conjunto una demanda con un tramo horizontal debido a la competencia proveniente de varios importadores. Esta es una razón adicional para que la intercepción de cada par doméstico {oferta,demanda} del mercado de cada combustible no determine el precio doméstico correspondiente: bajo un duopolio coordinado, la curva de oferta doméstica en cada mercado individual es un punto en el cuadrante positivo de (Q,p)¹¹. En todo caso, los precios internacionales se han tornado cada vez más volátiles, lo que se transmitió hacia los precios domésticos hasta algunos meses después de la creación del FEPCDP, cuando se empezó a observar un creciente efecto estabilizador sobre los precios domésticos resultado de su administración de las bandas para estos precios.

La irrelevancia de variables de cantidad (producción y/o inventarios)

Mientras que las curvas de oferta y demanda domésticas no son relevantes para determinar los precios domésticos de los combustibles individuales, los determinantes más importantes para la formación de estos precios domésticos son: (i) los precios de referencia individuales, y (ii) las bandas para los precios netos cobrados por los mayoristas por cada combustible individual que, centradas en los precios de referencia, han sido modificadas por el FEPCDP de manera discrecional en el periodo de la muestra. Las modificaciones discrecionales de las bandas de precios han estado condicionadas a la magnitud de la acumulación marginal de acreencias a favor de los productores mayoristas (refinerías e importadores) por periodo (costo fiscal marginal¹²) y el *timing* de los pagos a favor de los mayoristas para que su saldo de acreencias no alcance niveles que afecten la liquidez de los mayoristas¹³.

Como se describirá más adelante, el modelo econométrico propuesto para aproximar la transmisión de los precios externos hacia los precios netos domésticos controlará por la discrecionalidad en el ajuste de las bandas de precios únicamente de manera agregada, mediante la aproximación de la relación entre las variaciones de un índice de precios netos y las variaciones en el precio internacional del petróleo crudo WTI en soles. No se incluirá las cantidades producidas, vendidas o almacenadas por los mayoristas en forma de inventarios porque estos datos no están disponibles, aunque por los argumentos que acabamos de presentar ello no afectará la aproximación sobremanera. Es importante mencionar que, alternativamente, podría suponerse que los precios domésticos son relativamente independientes de estas cantidades, lo que implicaría que el papel de la producción y de la evolución de los inventarios en los mercados domésticos de combustibles es simplemente el de un seguro ante eventuales cortes en los suministros de combustibles importados (ver Weyant(1982) y Wright & Williams (1984)). Este supuesto simplificador resultaría correcto en un país importador con elevados niveles de inventarios y un nivel de producción doméstica relativamente menor, como es el caso de los EE.UU.

¹⁰ La tecnología de las plantas de refinación del Perú requiere como insumo un petróleo crudo con grados de densidad y viscosidad relativamente bajos. La dotación de yacimientos domésticos contiene petróleo crudo con grados de densidad y viscosidad altos (denominado "pesado"), por lo que la única manera de utilizarlo es diluirlo, en la proporción correcta, con el petróleo crudo importado, que típicamente tiene grados de densidad y viscosidad bajos (denominado "ligero").

¹¹ Asimismo, bajo una estructura monopólica del mercado, los efectos de un mecanismo simétrico de bandas serían asimétricos en términos del signo de los choques en el precio internacional del petróleo crudo. Ver Peltzman(2000).

¹² La magnitud del costo fiscal marginal depende, en ausencia de ajustes en la banda de precios, de la cantidad (Q) que se estima venderán los mayoristas en los periodos siguientes. A su vez, este costo fiscal marginal afecta la probabilidad de que el FEPCDP modifique las bandas en un futuro cercano.

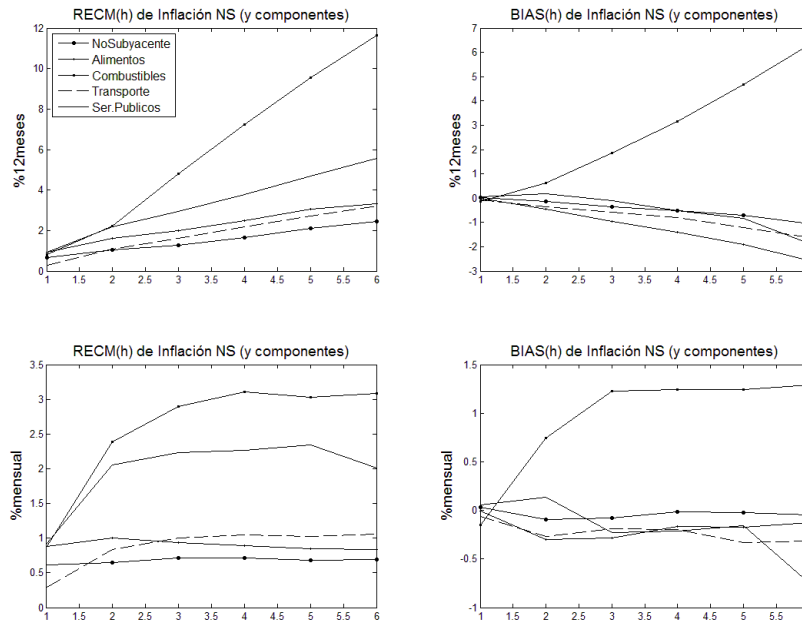
¹³ P.ej., si las refinerías enfrentan elevados costos por insumos o por servicio de deuda en el corto plazo, suelen cobrar a los minoristas un precio muy cercano e incluso mayor a la cota superior de la banda.

III. La importancia de los precios de combustibles en el Perú

Como se mencionó en la primera sección, la experiencia en el Perú desde inicios del 2007 se caracteriza por una sensibilidad razonable de la inflación IPC respecto a choques en los precios domésticos de los combustibles derivados del petróleo crudo, a pesar de que el Perú dispone de un mecanismo de estabilización de los precios domésticos de los combustibles desde el 2004. Esta sensibilidad se apreció mejor luego del alza en estos precios domésticos durante el 2007, que motivó la construcción de tres modelos estructurales de precios con información desagregada del IPC y del IPM y de los 9 precios de combustibles líquidos bajo el régimen del FEPCDP a mediados del 2008 (modelos *Sparse* VAR IPC-IPM-combustibles). La precisión de las proyecciones estructurales de inflación para el 2009 confirmaron que los choques estructurales de **precios domésticos** de los combustibles tienen un impacto sumamente importante sobre dos medidas de inflación (IPC e IPM)¹⁴.

Una motivación adicional para aproximar la relación entre los precios internacionales de los combustibles y sus precios domésticos es la posibilidad de mejorar las proyecciones de los precios de combustibles y así las de la inflación IPC no subyacente. Usando las proyecciones no estructurales del Sistema de Proyección Desagregada (SPD, ver Barrera(2005,2007)) para calcular los errores cometidos en predecir la inflación IPC no subyacente del Perú durante el periodo julio 2007 – junio 2009, de fuertes alzas en los precios domésticos de los combustibles, se encuentra que gran parte de los errores sistemáticos y de la raíz del error cuadrático medio de predicción (RECM) de la inflación IPC no subyacente se explica por los mismos momentos de la variación en los precios domésticos de los combustibles al consumidor final que se incluyen en el IPC. El Gráfico No. 1 presenta la RECM(h) y el error sistemático, Bias(h), para h meses adelante de los componentes de la inflación no subyacente, secuencias que pueden presentarse diferentes unidades de medida (variaciones porcentuales 12 meses y variaciones mensuales) para apreciar la incertidumbre en predicción.

Gráfico No. 1



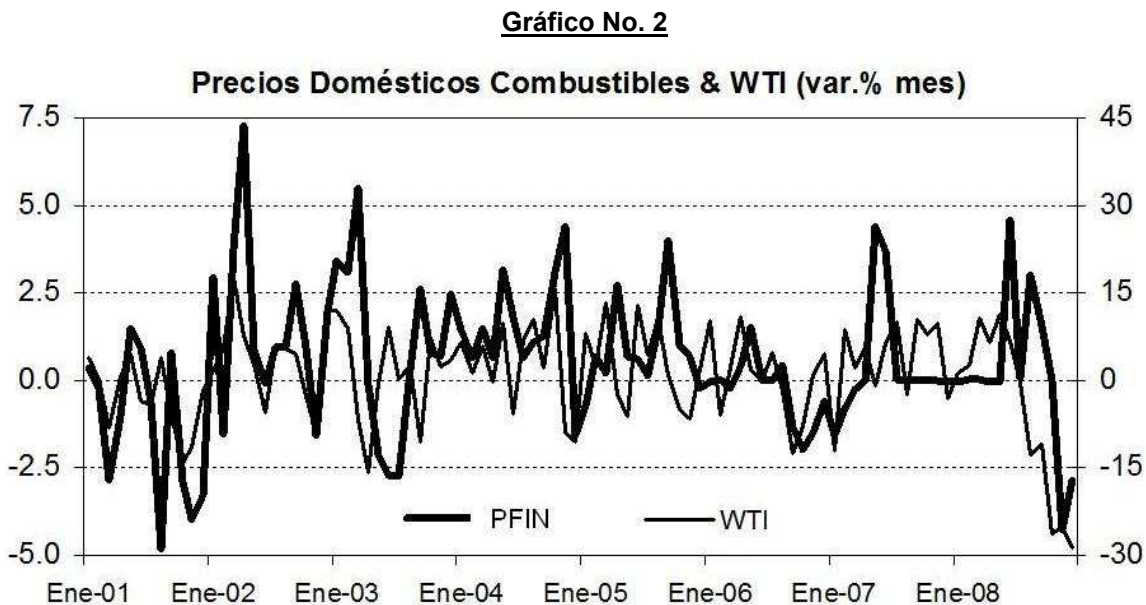
¹⁴ Estas proyecciones fueron generadas considerando un choque negativo sobre dichos precios domésticos anticipado por el FEPCDP ante la crisis mundial desde fines del 2008.

Se aprecia que la RECM de la variación de los precios domésticos de los combustibles para el consumidor final y otros componentes de la inflación IPC no subyacente que dependen de estos precios domésticos de los combustibles son las principales fuentes de la RECM de la inflación IPC no subyacente. En términos del componente de errores sistemáticos (sesgo) cometidos en su proyección justo durante en el periodo del alza de dichos precios domésticos de los combustibles, la sub-estimación (sesgo negativo) de las proyecciones de los otros componentes que dependen de dichos precios domésticos de los combustibles fue parcialmente compensada por la sobre-estimación (sesgo positivo) de las proyecciones de dichos precios domésticos de los combustibles, dando lugar a la sub-estimación de la inflación IPC no subyacente.

Estos resultados provienen de un conjunto de modelos de proyección desagregada que tuvieron gran precisión (mínimas RECMs) antes de las alzas en los precios internacionales de los combustibles y cuyo desempeño se deterioró drásticamente luego de éstas. La aproximación de la relación entre los precios internacionales de los combustibles y sus precios domésticos que resulta del FEPCDP ofrece oportunidades para mejorar la precisión de las proyecciones de inflación IPC no subyacente en una versión modificada de este conjunto de modelos. A continuación se describe las características principales de los precios domésticos agregados que motivarán el modelo no estructural propuesto a ser estimado.

Los datos agregados del FEPCDP

Una evaluación tentativa del mecanismo de bandas de precios puede utilizar como criterio la estabilidad de los precios domésticos de los combustibles. El Gráfico No. 2 muestra que la amplitud (una *proxy* de la varianza no condicional) de las variaciones de un índice agregado de precios domésticos de los combustibles para el consumidor intermedio y final¹⁵ resulta ser alrededor de **1/6** de la amplitud de las variaciones de este precio internacional del petróleo crudo WTI en soles. Nótese la reversión del elevado pico en los precios internacionales de los combustibles a fines del año 2008.



¹⁵ Este índice incluye los precios de las gasolinas de 84, 90, 95, 97 y 98, del kerosene, del diesel 2, de los residuales 6 y 500 y del GLP. A su vez, este índice puede descomponerse en un índice de precios netos, uno de impuestos (al rodaje y ISC), y uno del margen de los minoristas (grifos).

Puede apreciarse que, a pesar de que el FEPCDP ha devenido en un mecanismo de subsidio para el consumo de combustibles líquidos debido a los elevados niveles de precios alcanzados recientemente en los mercados internacionales de combustibles, también ha logrado una menor varianza no condicional en los precios domésticos (lo que es cualitativamente compatible con lo que puede lograr; ver Miranda & Helmberger(1988)). Esta afirmación puede refinarse cuantitativamente con la medición de su desempeño en un modelo de las varianzas condicionales, las que siempre son menores a las correspondientes varianzas no condicionales (teorema de la descomposición de varianza)¹⁶.

En este sentido, el modelo flexible no estructural que se propone en la siguiente sección busca aproximar la transmisión asimétrica de los choques externos en las variaciones en el precio del petróleo crudo WTI y que afectan las variaciones en el **índice agregado** de precios domésticos de los combustibles (en particular, en los tres sub-índices componentes de este índice agregado). La "estabilización" lograda por las acciones del FEPCDP se reflejará tanto en términos de las medias condicionales de estas variables como en términos de la matriz de co-varianzas condicionales de las mismas.

Más específicamente, los mayoristas (refinerías e importadores) consideran el impuesto selectivo al consumo (ISC) a los combustibles, que el FEPCDP utiliza como un instrumento de compensación adicional, así como el margen de los minoristas (grifos), para tomar sus decisiones de precios individuales¹⁷. Así, mientras que el FEPCDP modifica las bandas de precios netos para cada combustible individual, que determina las compensaciones a los mayoristas, éstos deciden los precios netos de venta a los minoristas, que pueden estar ligeramente sobre la banda superior si sus necesidades de fondos líquidos son relativamente apremiantes y si no esperan desembolsos del MEF para cubrir parte de su saldo deudor (o quizá porque no observaron la disminución del ISC que esperaban). Por este motivo, el índice agregado de precios domésticos de los combustibles para el consumidor intermedio y final que se muestra en el Gráfico No. 2 (que aquí denominamos **PFin**) se descompone en tres sub-índices:

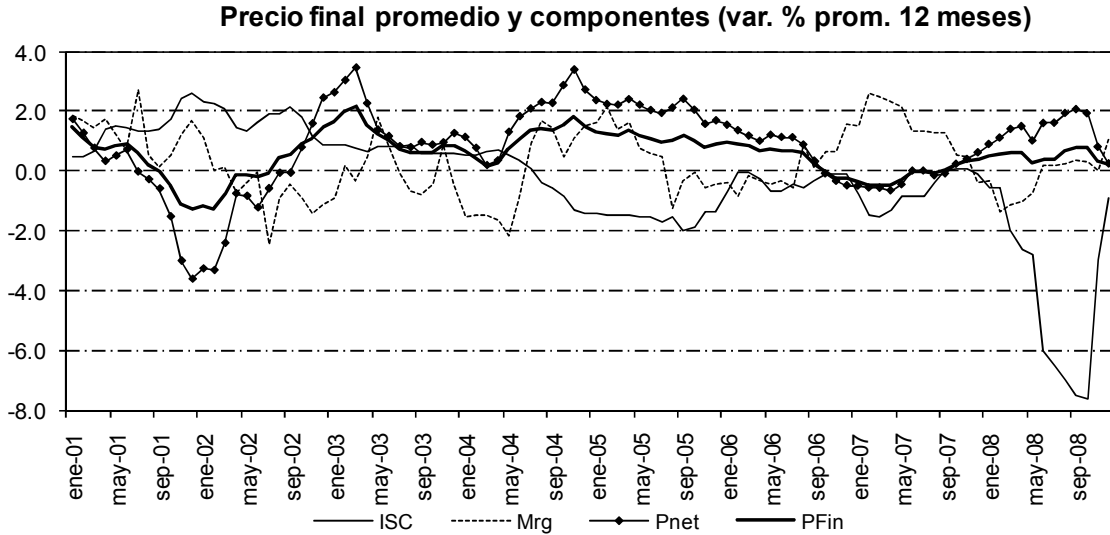
- **Mrg**: margen del minorista promedio (grifo representativo), incluyendo su IGV;
- **ISC**: ISC a los combustibles + Impuesto al rodaje, incluyendo su IGV; y
- **PNet**: precio neto recibido por los mayoristas, incluyendo su IGV.

El Gráfico No. 3 presenta las variaciones promedio 12 meses de estos 3 componentes, donde se muestra que la acción de la escena no puede ser contada únicamente con las variaciones del índice agregado de precios finales (PFin). En particular, nótese la relación inversa entre las variaciones del ISC y las del PNet, así como cierto patrón estacional presente en las variaciones del Mrg.

¹⁶ Otra consideración cuantitativa podría ser la eficiencia fiscal, como por ejemplo lograr ratios de atenuación menores que 1/6 en términos de varianzas no condicionales (u otro ratio en términos de varianzas condicionales) con un costo fiscal menor.

¹⁷ Se atribuye al FEPCDP la determinación del ISC a pesar de que oficialmente es el MEF el que determina estos impuestos debido a que la finalidad de FEPCDP en los hechos es la de coordinar las compensaciones a los mayoristas (el comité ejecutivo del FEPCDP está conformado por representantes del MINEM, del MEF y de los mayoristas).

Gráfico No. 3

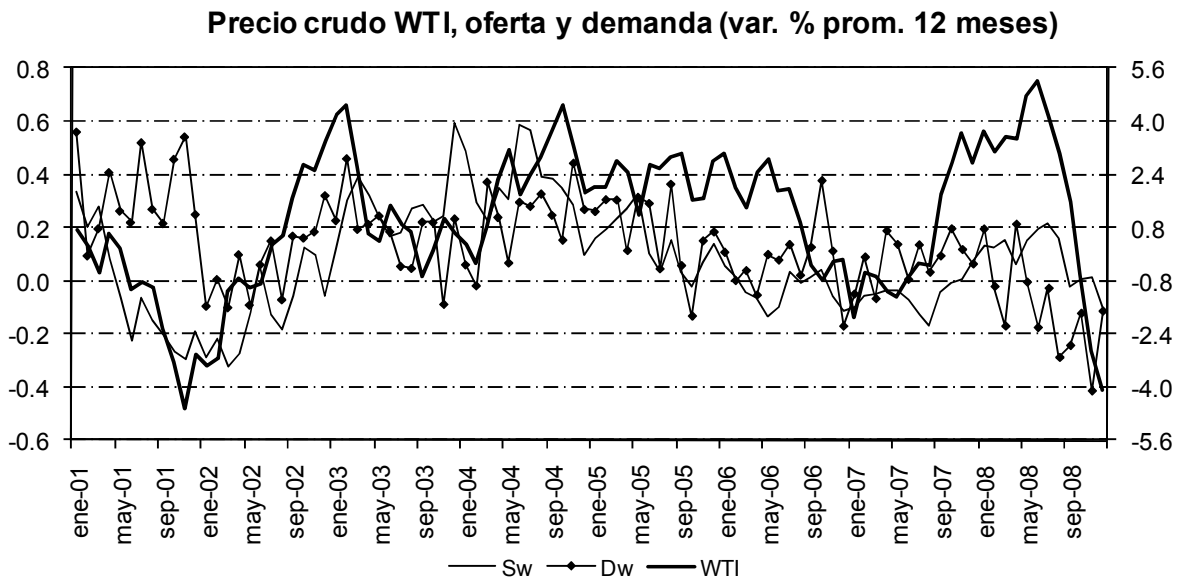


Adicionalmente, el modelo propuesto incluye otras 3 variables endógenas

- **D^w**: Demanda mundial de petróleo crudo
- **S^w**: Oferta mundial de petróleo crudo
- **WTI**: Precio del petróleo crudo WTI en soles

Las variaciones promedio 12 meses de estas 3 variables se presentan en el Gráfico No. 4. Se confirma que las variaciones de la oferta mundial intentan seguir las variaciones en la demanda mundial, que suele determinar las variaciones en el precio WTI. Asimismo, se aprecia que éstas últimas se desligaron de la demanda y oferta desde septiembre del 2007, lo que puede reflejar una posición especulativa en el mercado mundial de combustibles, es decir, una mayor incertidumbre y por ende, una mayor probabilidad de reversión.

Gráfico No. 4



Incluir la modelación de la matriz de co-varianzas condicionales de todas estas variables permite presentar una evaluación tentativa más amplia del FEPCDP en términos de los segundos momentos condicionales, así como aproximar una representación estructural de sus operaciones en términos de las medias condicionales.

Sin embargo, como el modelo utiliza información agregada de los precios domésticos de los combustibles, la evaluación del FEPC resultante constituye una referencia para futuros modelos y evaluaciones más amplios que también incluyan su potencial efecto sobre las medias condicionales de la inflación IPC y del crecimiento del PBI real, así como las varianzas condicionales de estas dos variables¹⁸.

IV. Los modelos VARNN-ARCH propuestos

En esta sección se describe una familia de modelos dinámicos que son inmunes a problemas de heteroscedasticidad y por lo tanto apropiados tanto para el modelo conceptual de la sección anterior como para la mayoría de modelos utilizados en macroeconomía, en particular cuando se busca que las medias condicionales se encuentren adecuadamente aproximadas a pesar de la presencia de *outliers* y episodios de alta varianza (Hamilton(2008)).

Medias condicionales

En primer lugar describimos los modelos que se estimará para las medias condicionales. El primer modelo para éstos momentos es la típica función lineal multi-valorada de los modelos VAR(K,p),

$$y_t = A_0 + A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + \varepsilon_t = A_0 + \sum_{j=1}^p A(j) y_{t-j} + \varepsilon_t \quad \varepsilon_t | \Omega_{t-1} \leftrightarrow N(0, \Sigma_t)$$

donde $y_t' \equiv \{y_{1t}, y_{2t}, \dots, y_{Kt}\}$ y $\varepsilon_t' \equiv \{\varepsilon_{1t}, \varepsilon_{2t}, \dots, \varepsilon_{Kt}\}$ son vectores de K variables estacionarias, $\Omega_{t-1} \equiv \{y'_{t-1}, y'_{t-2}, \dots, y'_{t-p}\}$ es el conjunto de información relevante y Σ_t es la matriz de co-varianzas condicionales del periodo t,

$$\Sigma_t \equiv \begin{bmatrix} \sigma_t^{11} & \cdot & \cdot \\ \sigma_t^{21} & \sigma_t^{22} & \cdot \\ \sigma_t^{31} & \sigma_t^{32} & \sigma_t^{33} \end{bmatrix}$$

Antes de especificar el modelo dinámico para esta matriz de co-varianzas condicionales, se continúa con la generalización del modelo para las medias condicionales. Podría postularse un segundo grupo de modelos VAR no lineales

$$y_t = g(\Omega_{t-1}) + \varepsilon_t \quad \varepsilon_t | \Omega_{t-1} \leftrightarrow N(0, \Sigma_t)$$

donde el modelador postula una función no lineal multi-valorada específica $g(\cdot)$, por ejemplo, eligiendo (de manera algo arbitraria) la función de transición suave (VSTVAR) o la función de auto-excitación con límite (SETVAR) (ver Granger & Terasvirta(1993)).

¹⁸ En un modelo más amplio (ver sección 1) podría plantearse la hipótesis de que la inflación y el crecimiento sean menos volátiles con el FEPCDP, la que podría ser rechazada si el efecto sobre las medias condicionales de estas dos variables es pequeño en los datos. En contraste, un modelo teórico podría postular que el crecimiento es mayor con el FEPCDP, por lo que la mayor recaudación tributaria justificaría el financiamiento público del FEPCDP en esa magnitud.

En contraste con esta posibilidad de asumir *a priori* el conocimiento de la función $g(\cdot)$, una hipótesis que se toma como premisa en la macroeconomía moderna, el presente trabajo postula más bien la existencia de desconocidos patrones no lineales en los datos. Bajo este supuesto de existencia, se plantea utilizar modelos dinámicos flexibles (redes neuronales) cuya principal propiedad es justamente una elevada capacidad para aproximar dichos patrones en los datos.

Para ello se elige una arquitectura de redes denominada perceptrón multi-capa (MLP)¹⁹. Su versión dinámica (VARNN-perceptrón ó VARMLP) será usada para obtener una aproximación (global) de la función no lineal multi-valorada $g(\cdot)$, aquella que mejor se ajuste a los patrones no lineales en los datos²⁰. Ello es posible mediante una combinación de un número finito de H funciones no lineales “básicas” estructuradas en un grafo multi-capa,

$$g(\Omega_{t-1}) \cong \beta_0 + \sum_{i=1}^H \beta_i h_i(\Omega_{t-1}) = \beta_0 + \sum_{i=1}^H \beta_i \Psi_i \left(\Delta_{0,i} + \sum_{j=1}^p \Delta_i(j) y_{t-j} \right)$$

donde las H unidades h_i se denominan “unidades escondidas”, cada una de las cuales es una función no lineal multi-valorada Ψ_i cuyos componentes son funciones acotadas²¹.

Co-varianzas condicionales

En segundo lugar se describe los modelos que se estimará para las matrices de co-varianzas condicionales. La familia de modelos ARCH multi-variados más importantes son los denominados VECH, BEKK y Exponencial. El modelo VECH es el más general,

$$Vech(\Sigma_t) = c + \sum_{h=1}^p C_h Vech(\varepsilon_{t-h} \varepsilon'_{t-h}) + \sum_{k=1}^q B_k Vech(\Sigma_{t-k})$$

donde, al usar el operador que apila los elementos sobre y debajo de la diagonal de la matriz, se tiene que c es un vector $[K(K+1)/2] \times 1$ y C_h, B_k son matrices $[K(K+1)/2] \times [K(K+1)/2]$.

Como mencionan Ding & Engle(2001), este modelo es el más general, pero también el menos parsimonioso y donde es muy difícil de asegurar una secuencia de matrices $\{\Sigma_t\}$ positivamente definidas (salvo cuando se restringe que las matrices C y B sean diagonales).

Una versión restringida del modelo VECH es el modelo BEKK, que genera una secuencia de matrices $\{\Sigma_t\}$ positivamente definidas mediante una estructura paramétrica de forma cuadrática,

$$\Sigma_t = CC' + \sum_{h=1}^p D_h (\varepsilon_{t-h} \varepsilon'_{t-h}) D_h' + \sum_{k=1}^q E_k \Sigma_{t-k} E_k'$$

¹⁹ Los perceptrones multi-capas (MLP) (ver Dorffner(1996)), también conocidos como *Feedforward* ANNs (ver Kuan & Liu (1995)) son una de las principales arquitecturas de las *redes neuronales artificiales* (ANN) para series temporales.

²⁰ En contraste, una aproximación Taylor requiere conocer la función específica así como elegir un punto de aproximación (local).

²¹ Shachmurove(2003) menciona que la principal ventaja de las ANN es la habilidad de analizar rápidamente patrones complejos, con un alto grado de precisión y sin mantener supuestos sobre la distribución de los datos. Entre las desventajas se tiene la tendencia a sobre-parametrizar o a sub-parametrizar y la falta de un método estructurado y estándar para elegir, desarrollar, entrenar y evaluar una ANN.

donde C, D_h, E_k son matrices $K \times K$ y sólo C es triangular inferior. Engle & Kroner(1995) brindan las condiciones por las cuales el modelo BEKK engloba todos los modelos VECH diagonales con una secuencia de matrices $\{\Sigma_t\}$ positivamente definidas y casi todos los modelos VECH con una secuencia de matrices $\{\Sigma_t\}$ positivamente definidas. Estas condiciones eliminan las representaciones redundantes (observacionalmente equivalentes).

La posibilidad de asimetrías en las co-varianzas condicionales puede considerarse por medio de dos estrategias. La primera utiliza la representación BEKK, para la que Ebrahim(2000) plantea una parametrización restringida, por ejemplo, en un GARCH(1,1) multi-variado :

$$\Sigma_t = CC' + D\varepsilon_{t-1}\varepsilon'_{t-1}D' + E\Sigma_{t-1}E' + Gu_{t-1}u'_{t-1}G' + S\psi_{t-1}\psi'_{t-1}S' + P\xi_{t-1}\xi'_{t-1}P' + T\eta_{t-1}\eta'_{t-1}T' + Q\zeta_{t-1}\zeta'_{t-1}Q'$$

donde todas las matrices $K \times K$ del lado derecho son matrices de parámetros: C es triangular superior, mientras que D, E, G, S, P, T y Q son *diagonales*. La matriz C captura el efecto sobre los componentes diferentes en Σ_t de un intercepto común (para considerar *dummies* estacionales basta definir matrices triangulares superiores sólo para determinados t 's). La matriz D captura los impactos sobre las varianzas en Σ_t de las innovaciones pasadas (al cuadrado) mientras que la matriz E , los impactos de las varianzas del periodo anterior.

Consideremos las extensiones hechas por Ebrahim (2000) a la representación BEKK para $K=3$. La primera extensión captura los impactos asimétricos de las innovaciones pasadas mediante la matriz G y la definición de

$$u_t \equiv \begin{bmatrix} \min(\varepsilon_{1t}, 0) \\ \min(\varepsilon_{2t}, 0) \\ \min(\varepsilon_{3t}, 0) \end{bmatrix}$$

que tiene entradas diferentes de cero cuando las innovaciones son negativas. La segunda extensión captura los efectos sobre la varianza de un mercado de innovaciones pasadas en otros mercados (efectos conexos ó *spillovers*) vía las matrices S y P y la definición de

$$\psi_t \equiv \begin{bmatrix} \varepsilon_{2t} \\ \varepsilon_{3t} \\ \varepsilon_{1t} \end{bmatrix} \quad \xi_t \equiv \begin{bmatrix} \varepsilon_{3t} \\ \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \end{bmatrix}$$

Finalmente, la tercera extensión captura la asimetría de los efectos conexos sobre las varianzas mediante las matrices T y Q y la definición de

$$\eta_t \equiv \begin{bmatrix} \min(\varepsilon_{2t}, 0) \\ \min(\varepsilon_{3t}, 0) \\ \min(\varepsilon_{1t}, 0) \end{bmatrix} \quad \zeta_t \equiv \begin{bmatrix} \min(\varepsilon_{3t}, 0) \\ \min(\varepsilon_{1t}, 0) \\ \min(\varepsilon_{2t}, 0) \end{bmatrix}$$

Sin embargo, las extensiones propuestas en Ebrahim(2000) se realizan *reduciendo* la generalidad de la representación BEKK. Por un lado, las varianzas condicionales no dependen de los productos cruzados de innovaciones pasadas (D es diagonal), de las co-varianzas condicionales pasadas en otros mercados (E es diagonal) ni de las varianzas condicionales pasadas en otros mercados (cuya inclusión requiere de más matrices de coeficientes y de definir vectores con sólo algunos elementos de la diagonal de Σ_t). Por otro lado, las co-varianzas condicionales no

dependen de las innovaciones pasadas al cuadrado ni de las varianzas condicionales pasadas en otros mercados.

La segunda estrategia mantiene la generalidad de la representación BEKK está motivada por una generalización de del modelo de Nelson(1991) al caso multi-variado. En esta generalización, Kawakatsu(2006) propone una innovadora estructura paramétrica que genera una secuencia de matrices $\{\Sigma_t\}$ positivamente definidas y donde es totalmente factible considerar las asimetrías sin simplificaciones sensibles. Por ejemplo, para la representación VECH, se propone

$$Vech(\log(\Sigma_t)) - c_0 = \sum_{h=1}^p C_h^* \varepsilon_{t-h} + \sum_{h=1}^p C_h^{**} (|\varepsilon_{t-h}| - E\{|\varepsilon_{t-h}|\}) + \sum_{k=1}^q B_k (Vech(\log(\Sigma_{t-k})) - c_0)$$

donde $\log(\Sigma_t)$ es el logaritmo matricial de la matriz Σ_t , $Vech(\log(\Sigma_t))$ y $c_0 \equiv Vech(C)$ son vectores $[K(K+1)/2] \times 1$, C es una matriz simétrica $K \times K$ y las matrices C_h^* , C_h^{**} y B_k tienen dimensiones $[K(K+1)/2] \times K$, $[K(K+1)/2] \times K$, y $[K(K+1)/2] \times [K(K+1)/2]$, de las cuales C_h^{**} captura los efectos asimétricos (“leverage effects”) en el proceso de (co)-varianzas condicionales.

Puede notarse que al especificar esta dinámica para la matriz de co-varianzas condicionales en términos de la transformación logarítmica matricial de la matriz de co-varianzas (simétrica) ya no es necesario imponer ninguna condición porque no se requiere que $\log(\Sigma_t)$ sea definida positiva. Esto sucede porque al aplicar la operación exponencial matricial (inversa) en ese espacio transformado, se obtiene una matriz de co-varianzas que es simétrica y por ende definida positiva. Esta propiedad de las transformaciones permite especificar cualquier dinámica para esta matriz y generar siempre una secuencia de matrices $\{\Sigma_t\}$ positivamente definidas.

Si T es el número de observaciones, $y_t' \equiv \{y_{1t}, y_{2t}, \dots, y_{Kt}\}$ es la transpuesta del vector de K variables y Θ es el vector columna de todos los parámetros, la densidad condicional de $y_t | \Omega_{t-1}$ Normal multi-variada puede escribirse como²²

$$f(y_t | \Omega_{t-1}; \Theta) = \frac{1}{(2\pi)^{K/2} |\Sigma_t|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(\varepsilon_t' \Sigma_t^{-1} \varepsilon_t)}$$

y la función de log-verosimilitud resulta $l_Q = \sum_{t=1}^T l_t$ donde $l_t \equiv \log(f(y_t | \Omega_{t-1}; \Theta))$, por lo que la contribución de la observación t a esta función de log-verosimilitud resulta

$$l_t \equiv -\frac{1}{2} (K \log(2\pi) + \log(|\Sigma_t|) + \varepsilon_t' \Sigma_t^{-1} \varepsilon_t)$$

Para el caso del modelo exponencial matricial de Kawakatsu(2006), esta expresión puede re-escribirse como

²² Para describir, de manera didáctica, el procedimiento para obtener la (log) verosimilitud, se pudo utilizar la densidad multi-variada t de Student en vez de la gausiana.

$$l_i \equiv -\frac{1}{2} \left(K \log(2\pi) + \log \left(\left| e^{\log(\Sigma_i)} \right| \right) + \varepsilon_i^T \left(e^{\log(\Sigma_i)} \right)^{-1} \varepsilon_i \right)$$

Usando las siguientes propiedades del exponencial matricial:

- (i) Para toda matriz cuadrada A, $(e^A)^{-1} = e^{-A}$
- (ii) Para toda matriz simétrica S, $\log \left(\left| e^S \right| \right) = tr(S)$

obtenemos

$$l_i \equiv -\frac{1}{2} \left(K \log(2\pi) + tr(\log(\Sigma_i)) + \varepsilon_i^T \left(e^{-\log(\Sigma_i)} \right) \varepsilon_i \right)$$

La estrategia de modelación no estructural propuesta es utilizar la distribución multi-variada t de Student (en vez de la gaussiana) con la propuesta de la matrix exponencial de Kawakatsu(2006). Este modelo no estructural propuesto es estimado para el caso peruano en el periodo enero 1994 - marzo 2009. Todas las variables se expresan como variaciones porcentuales mensuales de sus niveles promedio 12 meses expresados en nuevos soles.

La estimación de este modelo econométrico dinámico y flexible resulta factible dadas las restricciones computacionales, sin embargo, para evitar una sobre-parametrización tan común en modelos de redes neuronales, que puede reducir su utilidad para fines de predicción, el **Anexo A** describe el método de estimación de máxima verosimilitud penalizada que fue aplicado.

Una estructura contemporánea

Se plantea un modelo estructural para descomponer la matriz de co-varianzas del periodo final T del modelo VARNN-ARCH no estructural estimado. Utilizando la descomposición AB, la matriz (I-A) está dada por

$$\begin{bmatrix} D^W \\ S^W \\ WTI \\ ISC \\ PNet \\ Mrg \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{2,1} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{3,1} & a_{3,2} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{4,1} & a_{4,2} & a_{4,3} & 1 & 0 & 0 \\ a_{5,1} & a_{5,2} & a_{5,3} & a_{5,4} & 1 & a_{5,6} \\ 0 & 0 & a_{6,3} & a_{6,4} & a_{6,5} & 1 \end{bmatrix}$$

y la matriz B es una matriz diagonal.

Se postula que la oferta internacional de crudo busca ajustarse a la demanda y así ambas determinan los precios internacionales WTI (así como todo un vector de precios internacionales en otras plazas). Esta información es utilizada para definir los impuestos a los combustibles ISC ("instrumento de atenuación") por parte del FEPCDP y los mayoristas (refinerías e importadores) se adecuan a todas estas variables en coordinación con el FEPCDP para determinar el precio neto agregado PNet acotado dentro de las bandas (aunque imperfectamente), quedando el

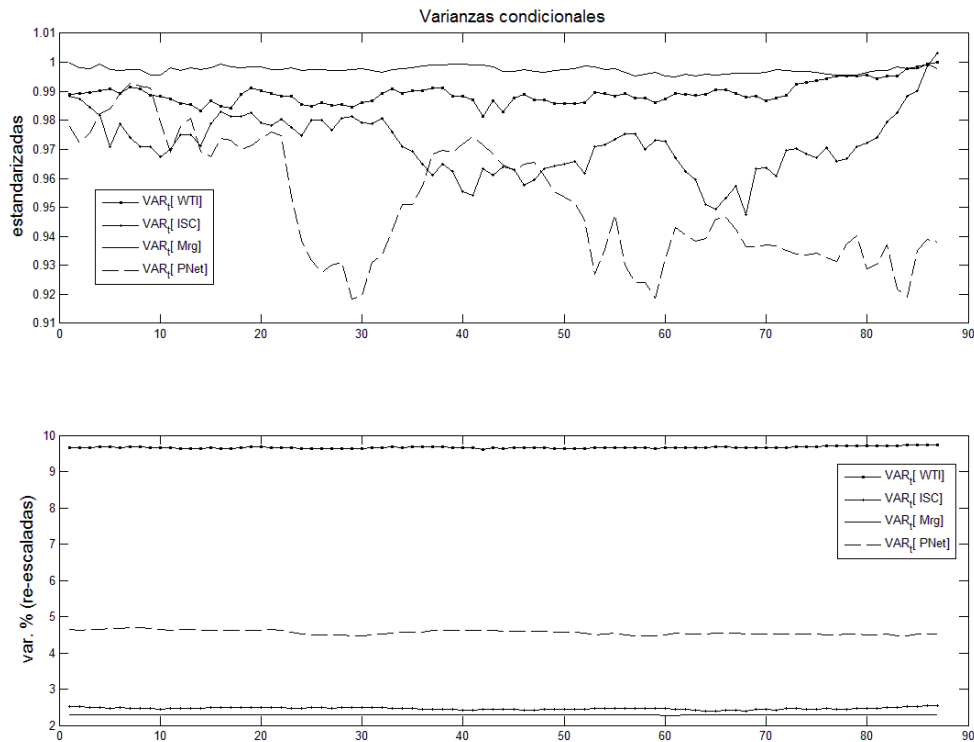
margen de los minoristas (grifos) afectado por el precio mundial WTI, el ISC y los precios netos PNet que los mayoristas reciben de los minoristas²³. La variación de los precios finales al consumidor en los grifos está dada por un promedio ponderado de los últimos tres componentes del vector de variables endógenas.

V. Resultados (preliminar)

Resultados del modelo no estructural

El Gráfico No. 5 presenta las varianzas condicionales de la variación mensual de los índices promedio de precios WTI y los 3 componentes de los precios domésticos finales de los combustibles, estimadas en la muestra efectiva de 87 observaciones (enero 2002 - marzo 2009), tanto en unidades estandarizadas como en variaciones porcentuales (cuadradas)²⁴. Con las primeras unidades (recuadro superior) se aprecia los aumentos y disminuciones en estos estadísticos a lo largo de la muestra y con las segundas (recuadro inferior), sus magnitudes relativas.

Gráfico No. 5



En el primer recuadro se aprecia que el mecanismo de bandas administrado por el FEPCDP ha logrado, desde su creación hasta el final de la muestra, la reducción de la incertidumbre en la variación de los precio domésticos netos PNet cobrados por los mayoristas (refinerías e

²³ Los factores que determinan el margen de los minoristas son geográficos (de localización en cada ciudad) y tecnológicos (asociados a cada grifo y a sus relaciones con los mayoristas). Para un estudio de los precios minoristas de la gasolina en Lima Metropolitana, Ver Ruiz (2001).

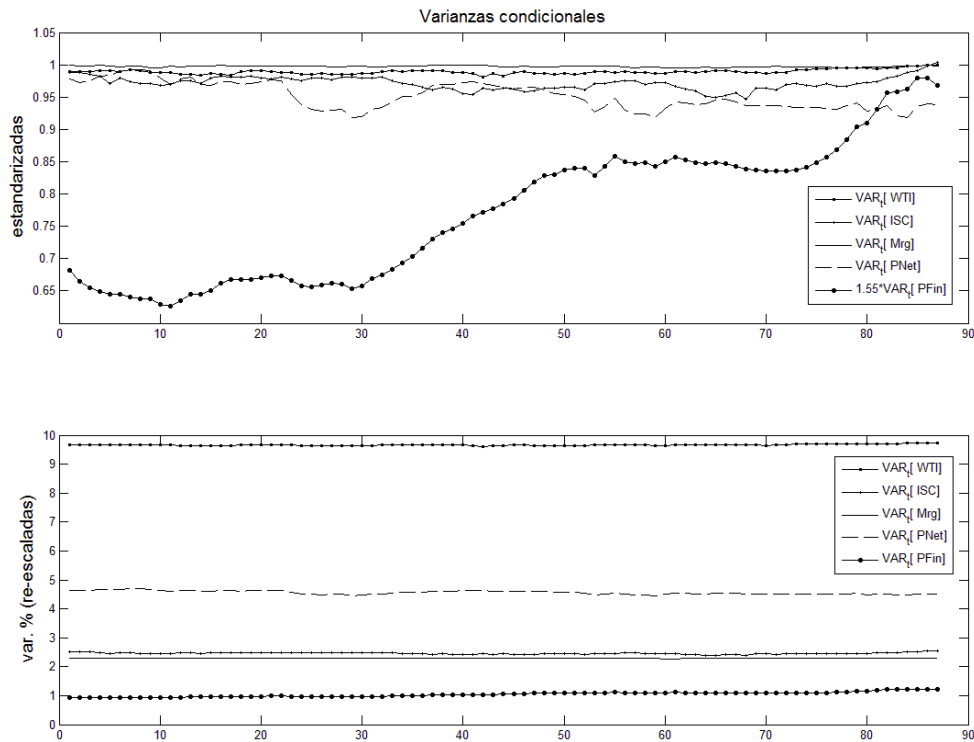
²⁴ El FEPCDP inicia sus operaciones en setiembre 2004 (observación número 33 en el gráfico).

importadores) a los minoristas²⁵, a pesar de la elevación de la incertidumbre en la variación del precio internacional WTI en soles²⁶.

En el segundo se aprecia que la secuencia de varianzas condicionales de los precios domésticos netos PNet resulta siempre menor que la secuencia correspondiente al precio internacional WTI en una relación de alrededor de 1 a 2. Este grado de atenuación, atribuible a la administración del mecanismo de bandas por parte del FEPCDP, es menor que el medido en términos de la amplitud de las variaciones de los precios finales PFin (pseudo-varianzas no condicionales), de 1 a 6 (el 1/6 del Gráfico No. 2). Esto significa que el mecanismo de bandas de precios logra un efecto estabilizador importante sobre PNet, y como PNet es un componente importante de las variaciones los precios domésticos finales PFin (además del ISC y del margen del minorista Mrg), logra estabilizar las variaciones de PFin.

En el Gráfico No. 6 verificaremos qué sucede con las variaciones de PFin así como el aparentemente reducido papel de las variaciones del ISC como componente de las variaciones de PFin, que como mencionamos, las primeras podrían ser usadas como un "instrumento de atenuación" adicional. Para ello se ha añadido a los gráficos anteriores la secuencia de varianzas condicionales de las variaciones de PFin, que fue calculada a partir de la sub-matriz de covarianzas condicionales de las variaciones de los sus tres componentes (ISC, Mrg y PNet) que están incluidas en el modelo estimado.

Gráfico No. 6



²⁵ El modelo no incluye explícitamente las bandas de precios netos administradas por el FEPCDP, por lo que las variaciones de PNet están capturando su efecto.

²⁶ Esta mayor incertidumbre estimada del WTI podría haber señalizado la posibilidad de una reversión del WTI debido a que había alcanzado un nivel especulativo incompatible con la demanda y oferta mundiales.

Sobre la base de la sub-matriz en unidades estandarizadas se observa que efectivamente ha habido un aumento en la incertidumbre en las variaciones de los precios domésticos finales PFin (casi desde la creación del FEPCDP), que en parte puede atribuirse al aumento en la incertidumbre en las variaciones de su componente ISC²⁷ (para mayor claridad, ver Gráfico No. 5). Incluso en estas unidades, la incertidumbre de PFin es tan baja que se multiplicó esta secuencia por un factor de 1.55 para observar parte de los patrones de las otras variables del Gráfico No. 5.

El cálculo de la varianza condicional de PFin sobre la base de la sub-matriz en variaciones porcentuales (cuadradas) confirma que su magnitud relativa es casi de 1 a 10 respecto a la secuencia correspondiente al precio internacional WTI. Este grado de atenuación es mucho mayor que el medido en términos de la amplitud de las variaciones mensuales del Gráfico No. 2 (de 1 a 6) no puede atribuirse únicamente a las operaciones del FEPCDP en términos del mecanismo de bandas (que en el modelo se encuentra implícito en las variaciones de PNet) sino también a su influencia sobre las variaciones en el ISC (ver sub-sección siguiente).

En la presente sub-sección muestra que las operaciones del FEPCDP logran un notable efecto estabilizador sobre los precios domésticos finales PFin por medio de mecanismos que se reflejan no sólo en las medias condicionales (ver sub-sección siguiente) sino también en las covarianzas condicionales de las variaciones de los 3 componentes de PFin y las de éstos con las otras variables incluidas en el modelo (Sw, Dw y WTI). La evolución de todas las 21 entradas diferentes de la matriz de co-varianzas condicionales (estandarizadas) se presenta en el **Anexo B**.

De las primeras 6 entradas destaca la secuencia de la covarianza entre Sw y Dw, que suele ser negativa: aunque la Sw busque la Dw, existe evidencia de inestabilidad estructural reflejada en el precio WTI. Asimismo, la Sw afecta el precio WTI de manera compatible con lo que se esperaría teóricamente: la co-varianza entre Sw y WTI es siempre negativa, aunque su magnitud es reducida frente a la de la co-varianza entre Dw y WTI (que puede ser positiva o negativa)²⁸.

Con las siguientes 6 entradas de la sub-matriz con los 3 componentes del PFin destaca, por su importancia relativa al interior de PFin, la co-varianza entre las variaciones del ISC y las de PNet. Esta co-varianza resulta negativa en varios periodos (no en la mayoría) y su magnitud relativa puede compensar a las otras 2 co-varianzas de la sub-matriz en dichos periodos, aunque no lo suficiente como para explicar el importante grado de atenuación logrado por el FEPCDP sobre PFin (asumiendo que las ponderaciones fueran todas la unidad). Por lo tanto, la magnitud de la varianza condicional de PFin respecto a la de WTI, de 1 a 10, tendría que atribuirse más a los cuadrados de los ratios de los niveles de cada componente sobre el nivel PFin (niveles rezagados un periodo) y a los productos de estos ratios (todos utilizados en el cálculo de la varianza condicional de PFin además de la sub-matriz mencionada).

La parte de la respuesta la obtenemos con las últimas 9 entradas de la matriz de co-varianzas, donde en contraste con el signo positivo esperado para la co-varianza entre WTI y PNet, ésta tiene un signo negativo atribuible totalmente al mecanismo de bandas de precios del FEPCDP, lo que favorece atribuir este mecanismo a las variaciones de PNet. Finalmente, la co-varianza entre Sw y PNet es negativa y con un rango de amplitud que resulta el doble del rango negativo de la co-varianza entre Sw y el precio WTI, lo que indica que las variaciones en la oferta mundial de petróleo Sw resultan más estabilizadoras domésticamente (sobre PNet) que internacionalmente (sobre el precio WTI). Este mecanismo estabilizador de Sw opera desde el conjunto de

²⁷ Lo que a su vez puede reflejar la mayor importancia de la discrecionalidad en su uso por parte del FEPCDP más allá del propio mecanismo de bandas. En este sentido, el logro del FEPCDP mencionado en términos de la reducción de la incertidumbre en PNet a pesar de la elevación de la incertidumbre en WTI hacia el final de la muestra se explicaría más por variaciones discrecionales en el ISC que por el efecto directo del mecanismo de bandas sobre PNet.

²⁸ Existe la necesidad de incluir una variable asociada a la demanda especulativa de petróleo crudo WTI.

información de los mayoristas (en vez del FEPCDP) y se relaciona a una mejor valorización de sus inventarios de combustibles (variable no incluida).

Sin embargo, la comparación de la proyección versus la ejecución de los componentes de los precios al consumidor final e intermedio para el periodo abril 2009 - julio 2009 (fuera de la muestra) fue poco alentadora, lo que refleja la existencia de problemas de especificación en el modelo, específicamente, un problema de variables omitidas.

Resultados del modelo estructural (preliminar)

Estructura contemporánea

El Cuadro No. 2 presenta los coeficientes estimados para las matrices de la descomposición AB de la matriz de co-varianzas condicional estimada del periodo T de la muestra (marzo del 2009) en el modelo VARNN-ARCH no estructural. Los elementos diferentes de cero de la matriz B (su diagonal) se presentan como un vector columna.

Cuadro No. 2

SpVARNN-ARCH con 6 variables

		B	A					
			1	2	3	4	5	6
			Dw	Sw	WTI	ISC	PNet	Mrg
1	Dw	0.359 (0.061)	1					
2	Sw	0.328 (0.104)	0.000 (0.001)	1				
3	WTI	3.121 (0.935)	0.000 (0.007)	0.001 (0.005)	1			
4	ISC	1.599 0.270	0.000 (0.006)	0.000 (0.004)	-0.008 (0.042)	1		
5	PNet	2.126 (0.801)	-0.003 (0.004)	0.001 (0.003)	0.014 (0.033)	0.003 (0.026)	1	-0.020 (1.885)
6	Mrg	1.511 (0.410)			-0.009 (0.029)	-0.001 (0.022)	0.018 (2.006)	1

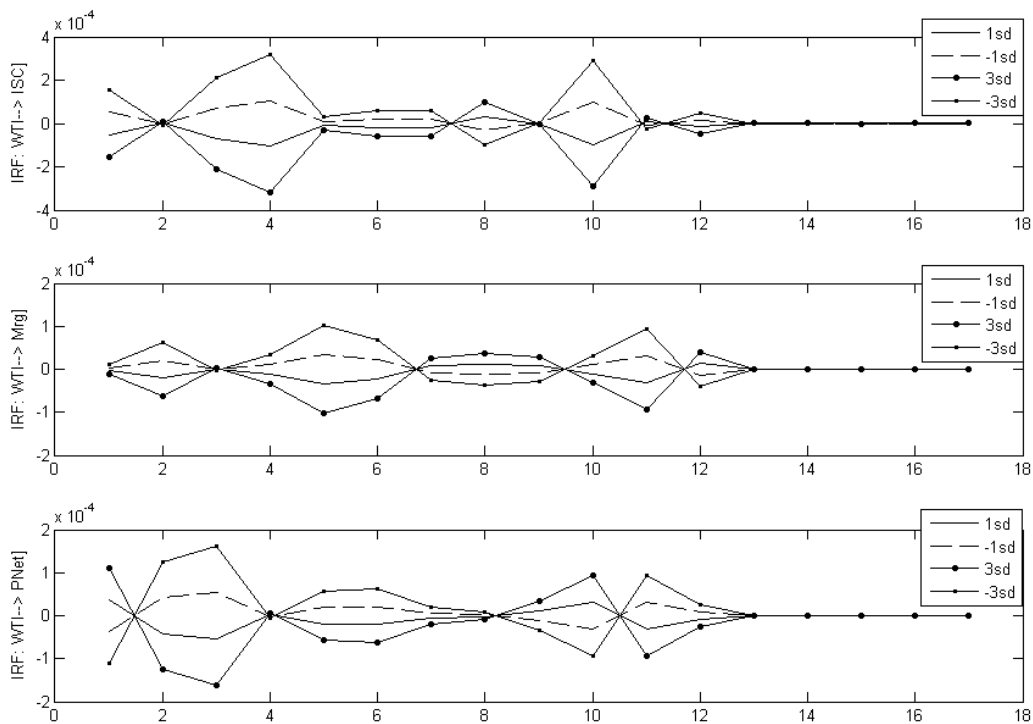
Se encuentra que esta estructura contemporánea no refleja los efectos del comportamiento discrecional del FEPCDP sobre los componentes del precio doméstico de los combustibles: todos los parámetros de la matriz A son estadísticamente iguales a cero, incluso el parámetro que mide el impacto del choque estructural del precio internacional WTI sobre el PNet (0.014 en el cuadro).

Existen 3 posibles explicaciones para estos resultados. En primer lugar, puede ser una característica específica de la matriz de co-varianzas del periodo T (marzo del 2009) a la que se aplicó la descomposición AB y, por ende, una característica importante del periodo más reciente en el que el FEPCDP compensó fluctuaciones importantes en el WTI. En segundo lugar, que la forma reducida estimada resulte estadísticamente muy similar a la forma estructural (la matriz de covarianzas de los errores no estructurales es estadísticamente igual a una matriz diagonal) podría atribuirse a la capacidad de las redes neuronales para aproximar la forma estructural de los patrones en los datos. Finalmente, también es posible que la maximización de la log-verosimilitud penalizada refleje la dominancia de las variaciones en la matriz de covarianzas condicional por sobre los errores cuadráticos del vector de medias condicionales. Aunque la primera explicación

es la más plausible, una interpretación balanceada señala la necesidad de incluir alguna variable informativa que reduzca la posibilidad de esta dominancia y que potencialmente mejore la capacidad predictiva de las medias condicionales.

En todo caso, este resultado facilita la presentación de las funciones IRF's porque entonces las funciones de respuesta de cualquier variable i ante una desviación estándar en cualquiera de las variables j , $IRF[j \rightarrow i]$, son proporcionales al ratio de desviaciones estándar (para cada variable i) y no se requiere más que las respuestas ante un único choque. Así, para mostrar la presencia de asimetrías en el signo o en la magnitud de los choques, cada uno de los gráficos siguientes presentan las respuestas ante 4 diferentes choques a la variable j : choque (+) de 1 desviación estándar, choque (-) de 1 desviación estándar, choque (+) de 3 desviaciones estándar y choque (-) de 3 desviaciones estándar.

Gráfico No. 7
Respuestas ante choques en WTI



Respuestas a impulsos del WTI

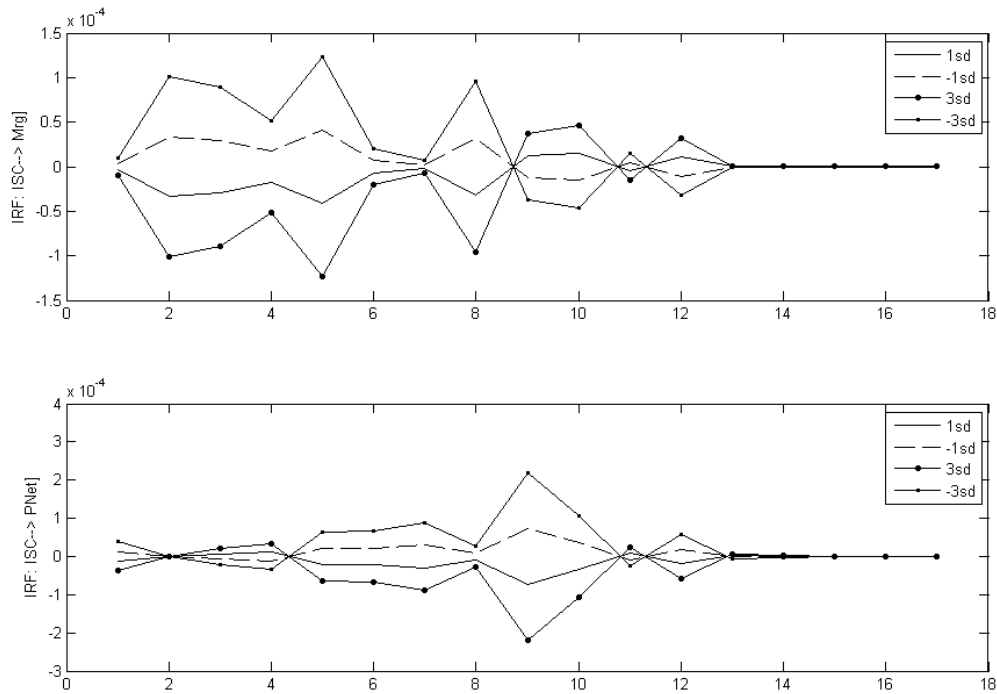
El Gráfico No. 7 presenta las IRF's estimadas para choques típicos de 1 y 3 desviaciones estándar en el precio internacional WTI sobre los componentes del precio doméstico (ISC, Mrg y PNet). Ante un aumento en el WTI, el ISC disminuye lo que favorece la hipótesis de que el ISC es un "instrumento de compensación" adicional a las compensaciones generadas por las bandas sobre PNet ante cambios no contemporáneos (pasados) en el WTI. Por su parte, el Mrg de los minoristas también se reduce en los primeros meses luego del choque mientras que PNet aumenta ante el impacto pero luego inicia una senda de disminuciones²⁹.

²⁹ Estos gráficos muestran una clara tendencia a la estabilidad. Sin embargo, no se descarta la necesidad de incluir alguna otra variable relevante.

Debe notarse que no existe presencia de asimetrías en las respuestas ante choques de diferente signo o magnitud, resultado que también se presenta en los siguientes gráficos. La explicación para estos resultados preliminares radica en la optimización de la (log) verosimilitud penalizada del modelo (ver **Anexo A**), que para el caso de una red neuronal equivale a un proceso de aprendizaje que puede resultar extenso y que por las restricciones de tiempo de computadora debió truncarse sin que la red haya logrado aprender las magnitudes relativas de las asimetrías. El **Anexo C** compara estas respuestas con las de un modelo VAR-ARCH ante un choque positivo de 1 desviación estándar³⁰, donde se confirma que un modelo lineal en las medias condicionales presenta respuestas de bastante mayor persistencia y magnitud en valor absoluto.

El Gráfico No. 8 presenta las IRF's estimadas para choques típicos de 1 y 3 desviaciones estándar en el ISC sobre los otros 2 componentes del precio doméstico final (Mrg y PNet). Ante una disminución en el ISC, el Mrg aumenta durante varios meses. Por su parte, el PNet aumenta ante el impacto, luego inicia una secuencia de disminuciones durante los siguientes 3 meses, para luego aumentar durante los siguientes 6 meses.

Gráfico No. 8
Respuestas ante choques en ISC



Estas respuestas estimadas favorecen la hipótesis de que, aunque el principal instrumento de compensación es la banda de precios para cada combustible individual, el ISC funciona como un instrumento compensatorio para los efectos sobre los precios domésticos finales PFin. Los resultados revelan el *timing* de las respuestas de los diferentes agentes bajo la influencia del FEPCDP: (1) los mayoristas aumentan inicialmente el precio neto de venta PNet a cobrar a los minoristas ante un impacto positivo en el WTI, esperando que se produzca la disminución contemporánea en el ISC (según acuerdo implícito con el FEPCDP) para que, (2) a partir del siguiente periodo, disminuyan el PNet más al interior de la banda para cada producto. La

³⁰ Hacemos notar que el modelo VAR-ARCH fue estimado con una (log) verosimilitud no penalizada y que la misma estructura contemporánea ya descrita fue utilizada para estimar los parámetros contemporáneos de la descomposición de la matriz de co-varianzas del periodo final T de este modelo no estructural alternativo.

disminución contemporánea del ISC ante un choque positivo en el WTI los induce a esta posterior reducción del PNet porque significa una disponibilidad contemporánea de fondos en efectivo (menores retenciones)³¹. En términos netos, la disminución contemporánea del ISC permite a los mayoristas la posibilidad de aumentar PNet ante el impacto sin afectar PFin, para luego, cuando se observa que el ISC disminuye (en los siguientes periodos), disminuirlo temporalmente en función a sus necesidades de caja.

VI. Conclusiones y perspectivas

El presente trabajo realizó una aproximación econométrica de los potencialmente importantes efectos no lineales (asimetrías) que la administración de bandas de precios por el FEPCDP ejerce sobre la dinámica de los precios domésticos finales de los combustibles en el Perú considerando que su volatilidad varía en el tiempo. Para ello se descompone este índice agregado en 3 componentes (el precio neto PNet, el ISC y el margen de los grifos Mrg).

Esta aproximación se obtuvo con un modelo dinámico que considera únicamente las variaciones en precios (el precio internacional WTI y los tres componentes de PFin mencionados), dejando de lado todo efecto cuantitativo doméstico de producción o inventarios. Esta simplificación es apropiada porque, en contraste con la administración de bandas para bienes no comerciables internacionalmente, la administración de bandas de precios de bienes comerciables internacionalmente como los combustibles no genera una censura para el precio que iguala la oferta y demanda domésticas en cada mercado de combustibles porque éstas no participan en la determinación del precio del mercado.

El modelo propuesto incluye un vector de medias condicionales flexibles (redes neuronales) para aproximar las potencialmente importantes relaciones no lineales entre las variables y una secuencia de matrices de co-varianzas condicionales representadas de la manera más general y cuya estimación utiliza la transformación exponencial matricial para evitar las limitaciones de imponer restricciones para que dichas matrices sean definidas positivas.

Como resultado del modelo estimado, las funciones generalizadas de respuesta al impulso asociadas a las medias condicionales revelan el *timing* de las respuestas de los diferentes agentes bajo la influencia del FEPCDP y presentes en la evolución de los 3 componentes del índice agregado. Sin embargo, aunque los dos mecanismos utilizados por el FEPCDP, las bandas para los precios netos domésticos y la tasa del ISC, también se han reflejado en los segundos momentos condicionales, éstos indican que existe un efecto adicional no asociado al FEPCDP que favorece la reducción en la volatilidad condicional de los precios netos: las variaciones de la oferta mundial de petróleo crudo Sw permiten una mejor valorización de los inventarios de los mayoristas (variable no incluida), lo que genera que los cambios en Sw sean más estabilizadores doméstica que internacionalmente. Asimismo, la ausencia de asimetrías en las respuestas ante diferentes choques puede resultar del uso de la distribución t de *Student* multi-variada, que al descartar asimetrías espurias en las medias condicionales, dificulta a la red neuronal la aprehensión de las asimetrías no tan evidentes que existan en los datos.

Los resultados del presente estudio son hechos muy estilizados sobre el funcionamiento del FEPCDP porque la dinámica de los precios domésticos de los combustibles corresponde a la de un índice agregado y se deja de lado los efectos cuantitativos domésticos asociados al manejo de inventarios por parte de los mayoristas, que también pueden ser relevantes para explicar las muy

³¹ Si sus necesidades de fondos líquidos no son apremiantes, dado el calendario acordado de desembolsos del MEF para cubrir (parte de) su saldo deudor.

eventuales fallas en el acotamiento de los precios netos por las bandas. Tanto la aproximación de la interdependencia contemporánea y dinámica de precios domésticos individuales de combustibles, como la de su relación con la evolución endógena de la producción y los inventarios implican la adición de un número importante de variables endógenas al modelo, que no resulta factible dadas las restricciones computacionales. Sin embargo, la aproximación desagregada de las relaciones dinámicas y contemporáneas entre los precios de los combustibles derivados individuales, necesaria según los resultados alentadores de los modelos *Sparse VAR IPC-IPM-combustibles*, se mantiene en la agenda.

Referencias

Anderson, J.; Haell, P. & Scandizzo, P. (1977) Considerations in designing stabilization schemes, *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 59, No. 5, pgs. 908-911.

Arellano, José Pablo (2006) Structural change in Chile: from fiscal deficits to surpluses, en Luis de Mello, (Ed.) *Challenges to fiscal adjustment in Latin America, the cases of Argentina, Brazil, Chile and Mexico*, OECD.

Barrera, Carlos (2005) Proyecciones desagregadas de la variación del índice de precios al consumidor (IPC), del índice de precios al por Mayor (IPM) y del Crecimiento del Producto Real (PBI), Banco Central de Reserva del Perú, Documento de Trabajo 2005-006.

Barrera, Carlos (2006) Modelos *SparseVAR* como aproximaciones de los mecanismos de transmisión, documento presentado en el XXIV Encuentro de Economistas del BCRP.

Barrera, Carlos (2007) Proyecciones desagregadas de inflación con modelos *Sparse VAR* robustos, Documento de Trabajo 2007-015.

Bartsch, Ulrico (2006) How much is enough? Monte Carlo simulations of an Oil Price Stabilization for Nigeria, IMF Working Paper No. 06/142 (junio).

Cashin, Paul; Liang, Hong & McDermott, John (2000) How persistent are shocks to world commodity markets?, *IMF Staff Papers*, Vol. 47, No. 2, pgs. 177-217.

Chavas, Jean-Paul & Kim, Kwansoo (2004) A heteroskedastic multivariate tobit analysis of price dynamics in the presence of price floors, *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 86, No. 3 (agosto), pgs. 576-593.

De Gregorio, José; Landerretche, Oscar & Neilson, Christopher (2007) Another pass-through bites the dust? Oil prices and inflation, Documento de Trabajo N° 417, Banco Central de Chile, mayo.

Delbruck, Meter (1976) Optimal inter-temporal pricing strategies for suppliers of finite resources or why the oil-rich nations behave the way they do: a comment, *Kyklos*, Vol. 29, Fasc. 4, pgs. 770-773.

Ding, Zhuangxin & Engle, Robert (2001) Large scale conditional covariance matrix modeling, estimation and testing, *Academia Economic Papers*, Vol. 29, No. 2, pgs. 157-184.

Ebrahim, Shafiq (2000) Volatility transmission between foreign exchange and money markets, Working Paper 2000-16, Bank of Canada.

Engel, Eduardo & Meller, Patricio (1993) External shocks and stabilization mechanisms, *Inter-American Development Bank*, Washington.

Engle, Robert & Kroner, Kenneth (1995) Multivariate simultaneous generalized ARCH, *Econometric Theory*, Vol. 11, pgs. 122-150.

Fan, Jianqing & Li, Runze (1999) Variable selection via penalized likelihood, *Departments of Statistics, UCLA & UNC*.

Firinguetti, Luis & Rubio, Hernán (2000) A note on the moments of stochastic shrinkage parameters in ridge regression, *Documento de Trabajo No. 65, Banco Central de Chile*.

Fomby, Thomas; Carter Hill, R. & Johnson, Stanley (1984) *Advanced econometric methods*, Springer-Verlag.

Fondo Monetario Internacional (2008) Fuel and food price subsidies: issues and reform options, *Fiscal Affairs Department (setiembre)*.

Furlong, Fred & Ingenito, Robert (1996) Commodity prices and inflation, *FRB of San Francisco Economic Review*, No. 2, pgs. 27-47.

Hamilton, James (2008) Macroeconomics and ARCH, *Festschrift Conference in Honor of Robert F. Engle, San Diego, June 21*.

Hamilton, James (2009a) Oil Prices and the Economic Downturn, *Testimony Prepared for the Joint Economic Committee of the U.S. Congress (20 de mayo)*.

Hamilton, James (2009b) Causes and Consequences of the Oil Shock of 2007-2008, *Department of Economics, UC San Diego*.

Hooker, Mark (2002) Are oil shocks inflationary? Asymmetric and nonlinear specifications versus changes in regime, *Journal of Money, credit and banking*, Vol. 34, No. 2, pgs. 540-561, mayo.

Jaakkola, Tommy (2006) *Machine learning 6.867, Fall 2006, MIT OpenCourseWare*.

Just, Richard; Lutz, Ernst; Schmitz, Andrew & Turnovsky, Stephen (1978) The distribution of welfare gains from price stabilization, *Journal of International Economics*, Vol. 8, No. 4 (noviembre), pgs. 551-563.

Kwakatsu, Hiroyuki (2006) Matrix exponential GARCH, *Journal of Econometrics*, Vol. 134, pgs. 95-126.

Knudsen, Odin & Nash, John (1990) Domestic price stabilization schemes in developing countries, *Economic development and Cultural Change*, Vol. 38, No. 3 (abril), pgs. 539-558.

Kyrtsou, Catherine & Labys, Walter (2006) Evidence for chaotic dependence between US inflation and commodity prices, *Journal of Macroeconomics*, Vol. 28, pgs. 256-266.

McCann, Lauren & Welsch, Roy (2006) Simultaneous robust estimation and variable selection, *Department of Statistics, MIT*.

Miranda, Mario & Helmberger, Peter (1988) The effects of commodity price stabilization programs, *American Economic Review*, Vol. 78, No. 1, pgs. 46-58, marzo.

Morrow, Daniel (1980) The economics of international stockholding of wheat, *International Food Policy Research Institute, Research Report No. 18 (septiembre)*.

Munkirs, John & Knoedler, Janet (1988) Petroleum producing and consuming countries: a coalescence of interests, *Journal of Economic Issues*, Vol. 22, No. 1 (marzo), pgs. 17-31.

Nelson, D.B. (1991) Conditional heteroskedasticity in asset returns: a new approach, *Econometrica*, Vol. 59, pgs. 347-370.

Oliveira, Joaquín (2006) Comments [to Arellano (2006)], en Luiz de Mello, (Ed.) Challenges to fiscal adjustment in Latin America, the cases of Argentina, Brazil, Chile and Mexico, OECD.

Peltzman, Sam (2000) Prices rise faster than they fall, *Journal of Political Economy*, Vol. 108, No. 3, pgs. 466-502, junio.

Reed, Russell (1993) Pruning algorithms, a survey, *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol 4, No. 5, setiembre.

Rivero, Luis (2001a) Los fondos de estabilización como instrumentos para enfrentar la volatilidad de precios e ingresos en economías exportadoras de bienes primarios, en Rivero [Editor], pgs. 29-51.

Rivero, Luis [Editor] (2001b) Fondos de estabilización macroeconómica, Editorial del Banco Central de Venezuela (seminario internacional llevado a cabo en Caracas, Venezuela, el 9 de diciembre de 1997).

Roumasset, James (1993) Rethinking grain price stabilization: the Philippine case, Working Paper No. 93-22 (agosto), Dept. of Economics, University of Hawaii (Manoa).

Ruiz Díaz, Gonzalo (2001) Y a usted, ...¿le sobra la plata? Determinantes de los precios minoristas en el mercado de la gasolina en Lima Metropolitana, Departamento de Economía PUCP, Documento de Trabajo No. 206.

Samuelson, Paul (1972) The consumer does benefit from feasible price stability, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 86, pgs. 476-493.

Stiglitz, Joseph (1987) Some theoretical aspects of agricultural policies, *The World Bank Research Observer*, Vol. 2, No. 1 (enero), pgs. 43-60.

Tibshirani, R. (1996) Regression shrinkage and selection via the lasso, *Journal of the Royal Statistical Society, Serie B*, vol. 58, pgs. 267-288.

Ulbricht, Jan & Tutz, Gerhard (2007) Boosting correlation-based penalization in generalized linear models, Technical Report N° 009.2007, Department of Statistics, University of Munich.

Wang, Hansheng; Li, Guodan & Jiang, Guohua (2007) Robust regression shrinkage and consistent variable selection through the LAD-Lasso, *Journal of Business & Economics Statistics*, Vol. 25, No. 3 (julio).

Weyant, John (1984) The continuing threat of oil supply interruptions, *Journal of Policy Analysis and Management*, Vol. 3, No. 3 (primavera), pgs. 393-405.

Wright, Brian & Williams, Jeffrey (1982) The roles of public and private storage in managing oil import disruptions, *Bell Journal of Economics*, Vol. 13, No. 2 (otoño), pgs. 341-353.

Wu, Tong Tong & Lange, Kenneth (2008) Coordinate descent algorithms for lasso penalized regression, *Annals of Applied Statistics*, vol. 2, No.1, pgs. 224-244.

ANEXO A: Estimación vía Máxima Verosimilitud Penalizada

La estimación de modelos de series de tiempo múltiples típicamente encuentra insalvable el problema de sobre-parametrización. Las estrategias usuales para lidiar con este problema han sido los algoritmos de eliminación vía una secuencia de pruebas de hipótesis (“stepwise”) y vía una secuencia de criterios de información, logrando así modelos parsimoniosos.

A partir de aplicaciones estadísticas a problemas de regresión penalizada en química y biología (estructuras de moléculas y genotipos) ha (re)surgido la literatura de regularización (*shrinkage*) de parámetros, que considera una función de penalización sobre éstos, la cual se adiciona a la función que típicamente se optimiza en la estimación de los parámetros (GLS, GMM ó MV)³².

En el caso de la estimación MV, la función de pérdida que se minimiza es el negativo de la log-verosimilitud, que denotamos como $L(\theta)$, donde θ es el vector de parámetros. En un sistema con múltiples variables, este vector θ puede descomponerse en dos bloques: los interceptos α y todos los demás parámetros β , para definir la función de pérdida penalizada como

$$g(\theta) \equiv L(\theta) + P_\lambda(\beta)$$

donde $P_\lambda(\beta)$ es una de las tres funciones de penalización disponibles en la literatura (ver McCann & Welsch(2006)), que dependen de un vector de parámetros de sintonización λ , todos positivos,

- *Lasso* ó *L1* (ceros fuertes; Tibshirani, R. (1996)), $P_\lambda(\theta) = \lambda \sum_{i=1}^q |\theta_i|$.
- *Ridge* ó *L2* (versus sobre-parametrización), $P_\lambda(\theta) = \lambda \sum_{i=1}^q \theta_i^2$.
- *Red elástica* (*L1 & L2*), $P_\lambda(\theta) = \lambda_1 \sum_{i=1}^q |\theta_i| + \lambda_2 \sum_{i=1}^q \theta_i^2$.

La razón para optimizar esta nueva función de pérdida es claramente la de estimar los parámetros y al mismo tiempo seleccionar la especificación (Fan & Li (1999)). Esta selección de modelos es aparentemente más directa que la alternativa de realizar una secuencia de pruebas de hipótesis. Sin embargo, de manera similar a la familia de estimadores “ridge” (ver nota 11), es necesario determinar los parámetros de sintonización $\lambda > 0$ mediante un conjunto de estimaciones para diferentes valores de λ ³³.

³² El típico estimador OLS minimiza $SSE \equiv (y - x\tilde{\beta})'(y - x\tilde{\beta})$. Para evitar un potencial problema de multi-co-linearidad, se ideó el estimador “ridge” $\tilde{\beta} \equiv [x'x + \lambda Q]^{-1} x'y$, que minimiza $SSE_R \equiv SSE + \lambda \tilde{\beta}' Q \tilde{\beta}$, donde Q debe ser una matriz definida positiva arbitraria y $\lambda > 0$ para que el estimador OLS se “regularice” (ver Firinguetti & Rubio (2000) para referencias y una generalización). Regresando a nuestro contexto, un estimador parsimonioso pertenece a esta misma familia de estimadores porque con $Q = I$ se obtiene la versión penalizada de SSE.

³³ La complejidad del problema de optimización que resulta, para cada valor fijo de λ , es considerablemente mayor, por lo que enfrentarlo varias veces para llenar una parrilla y seleccionar así los parámetros de sintonización (y los parámetros θ asociados) resulta excepcionalmente costoso computacionalmente. Para el caso sencillo de una regresión *lasso*, se ha propuesto un conjunto de algoritmos (ver Wu & Lange(2008)).

Penalización de la verosimilitud para modelos VARNN-ARCH

Un conocido resultado de la econometría es que el estimador de máxima verosimilitud (MV) sobre-estima la longitud del verdadero vector de parámetros cuando los regresores no son ortogonales entre sí, induciendo un sesgo importante en el estimador MV cuya minimización dio lugar a la familia de estimadores *ridge* (ver Fomby *et al* (1984), pgs. 300-302 y referencias). Este antecedente es un ejemplo de cómo un estimador MV con restricciones o penalidades puede reducir el error cuadrático medio (ECM) muestral. Aplicando el método del lagrangiano,

$$\hat{\beta}(\lambda_1, \lambda_2) = \arg \max \{l(\beta) - \lambda_1 P_1(\beta) - \lambda_2 P_2(\beta)\}$$

donde $l(\beta)$ es la log-verosimilitud bajo análisis, $P_1(\beta) \equiv \sum_{j=1}^K |\beta_j|$ y $P_2(\beta) \equiv \sum_{j=1}^K \beta_j^2$ son las penalidades³⁴ asociadas a las normas L_1 y L_2 y $(\lambda_1, \lambda_2) \in R_{++}^2$ son los multiplicadores de Lagrange.

Estos multiplicadores se toman como *parámetros de sintonización*, y suelen determinarse de modo tal que el error cuadrático medio (ECM) asintótico del estimador $\hat{\beta}(\lambda_1, \lambda_2)$ sea menor que la varianza asintótica del estimador de MV, $\hat{\beta}(0,0)$. Esta determinación es directa en un problema sencillo como una regresión lineal, pero en general requiere de un algoritmo de búsqueda en una malla de R_{++}^2 con simulación en cada punto de la misma, un procedimiento demasiado costoso computacionalmente para un modelo VARNN-ARCH.

La alternativa es definir su optimización como un “aprendiz débil”, e.d., (λ_1, λ_2) con valores elevados para forzar cambios pequeños en cada iteración de la maximización verosímil y obtener así estimados más estables (Ulbricht & Tutz(2007))³⁵. La ventaja de esta penalización de la verosimilitud es que el entrenamiento y el podado de la red neuronal se realizan en paralelo, por lo que la red neuronal puede adaptarse para minimizar los errores asociados al podado (ver Reed(1993)). Esta alternativa fue la primera en ser utilizada para el modelo VARNN-ARCH, sin que se lograra converger luego de un número elevado de iteraciones.

Luego de forzar cambios demasiado pequeños con valores elevados para (λ_1, λ_2) se utilizó valores *ad hoc* a partir de la propuesta de Fan & Li (1999), es decir,

$$\lambda_i = \sqrt{2 * Ln(nparam)}$$

donde *nparam* es el número total de parámetros θ en el modelo. Esta estrategia no logró converger para un número incluso mayor de iteraciones (3 millones). Los resultados reportados en

³⁴ Denominadas *lasso* y *ridge*, de manera individual, o *red elástica*, en conjunto; ver McCann & Welsch (2006) y Ulbricht & Tutz(2007).

³⁵ De hecho, en los problemas no lineales de clasificación que son típicas aplicaciones de las redes neuronales, la optimización de la función objetivo $l(\beta)$ se estabiliza cerca de un conjunto de valores que se considera deseable definiendo estas penalidades de *regularización* y fijando los parámetros (λ_1, λ_2) mediante otros criterios. Ver Jaakkola(2006).

esta versión del documento utilizan los parámetros no estructurales del VARNN-ARCH estimados usando esta estrategia.

Alternativa a un parámetro de sintonización único

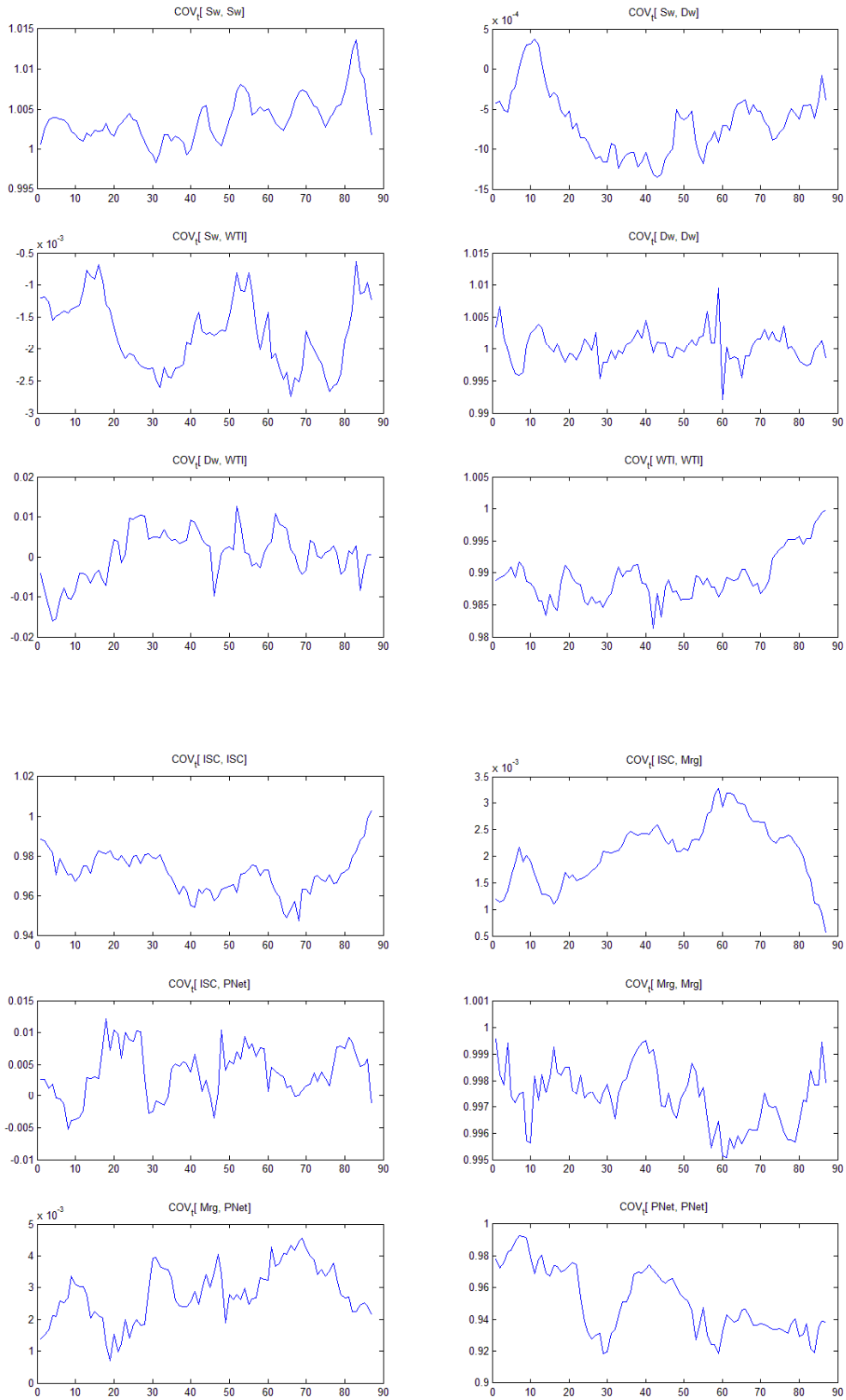
Finalmente, los resultados obtenidos con la maximización truncada (al alcanzar el número máximo de iteraciones y sin converger) de la función de verosimilitud penalizada por una penalidad LASSO usando el valor de la ecuación anterior para el único parámetro de sintonización han permitido estimar la estructura contemporánea propuesta y realizar pruebas tentativas sobre ella (las que requieren haber alcanzado convergencia, debemos decir), lo que se ha reflejado en la poca precisión de las proyecciones generadas. Aunque la convergencia no se ha producido luego de un número prohibitivo de iteraciones, en esta sub-sección se presenta una estrategia alternativa de sintonización propuesta por Wang *et al* (2007).

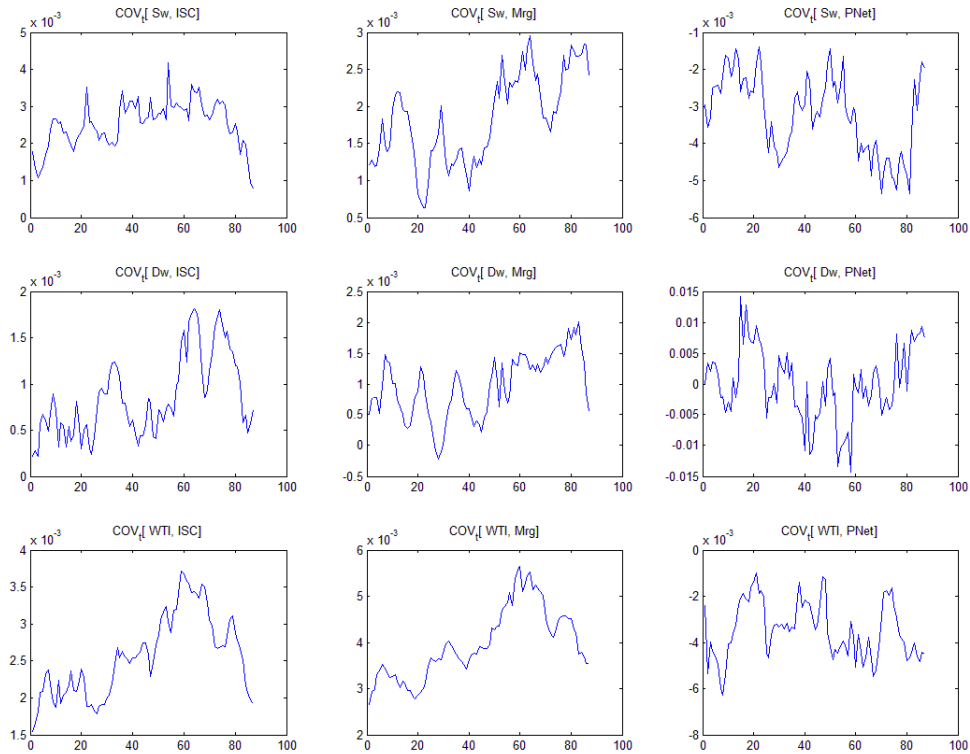
Wang *et al* (2007) propone desechar la penalidad LASSO con un único parámetro de sintonización debido al potencialmente importante sesgo que genera y utilizar múltiples parámetros de sintonización, de hecho, uno para cada parámetro de la función de verosimilitud sin penalizar.

$$\lambda_i = \text{Ln}(\text{nparam}) / (\text{nparam} * \theta_i)$$

La mayor complejidad paramétrica en la función de penalización propuesta de Wang *et al* (2007) es enfrentada mediante una provechosa estrategia para estimar todos los parámetros de sintonización en una primera etapa de optimización de la verosimilitud sin penalizar, para luego usar dichos estimados en una segunda etapa de optimización de la verosimilitud penalizada. Otra ventaja de esta estrategia es la de solucionar el problema de la falta de propiedades asintóticas requeridas para realizar pruebas estadísticas cuando sólo hay un parámetro de sintonización.

ANEXO B: Evolución de las co-varianzas condicionales (estandarizadas)





ANEXO C: Comparación de las respuestas al impulso del VARNN-ARCH vs VAR-ARCH

Gráfico No. A7
Respuestas ante choques en WTI

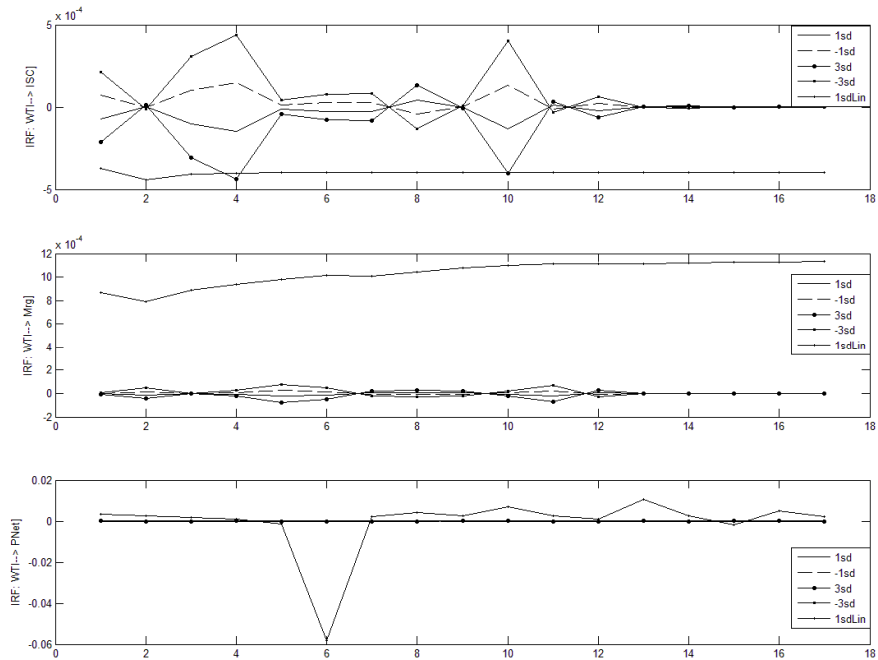


Gráfico No. A8
Respuestas ante choques en ISC

