

Determinantes de los precios reales del petróleo y de las materias primas no petroleras, 1980:1-2009:3

(Recibido: julio/09–aprobado: marzo/010)

Luis N. Lanteri*

Resumen

Los cambios registrados durante los últimos años en los precios de las materias primas han generado un considerable interés por parte de los investigadores empíricos. Este trabajo analiza el comportamiento de los precios reales del petróleo y de un índice agregado de las materias primas no petroleras (incluye principalmente las agrícolas, alimentos y minerales). El estudio se basa en modelos de vectores autorregresivos estructurales (SVAR), utilizando datos mensuales que cubren el periodo 1980:1-2009:3. Los resultados sugieren que los precios de las materias primas se incrementan frente a un aumento en el nivel de actividad industrial de las principales economías, una caída en las tasas de interés y una depreciación en el valor del dólar. A su vez, los *shocks* en las tasas reales de interés de los EUA explicarían un porcentaje importante de las fluctuaciones en los precios reales del petróleo.

Palabras clave: precios de las materias primas, producción industrial, tipo de cambio del dólar, tasas de interés, SVAR.

Clasificación JEL: E37, Q17.

* Técnico del Banco Central de Argentina (lnlante@yahoo.com.ar).

Introducción

Los cambios registrados durante los últimos años en los precios de las materias primas han mostrado un considerable interés por parte de los investigadores empíricos.

Los ingresos vía exportaciones de muchos países en desarrollo siguen siendo altamente dependientes de los productos primarios y son, por tanto, extremadamente sensibles a los movimientos en los precios de las materias primas. En la Argentina, en particular, los productos agropecuarios y sus manufacturas representan casi 60% de las exportaciones. Algo similar ocurre con otras economías latinoamericanas, donde los bienes primarios y sus manufacturas representan, por lo general, los principales rubros de exportación: Bolivia (minerales, gas y petróleo), Brasil (productos agropecuarios, minerales y petróleo), Chile (minerales y pesca), Colombia (productos agropecuarios y minerales), Ecuador (petróleo y productos agrícolas), México (petróleo y productos agropecuarios), Paraguay (productos agropecuarios y madera), Perú (minerales y pesca), Uruguay (productos agropecuarios y madera) y Venezuela (petróleo).¹ Ello determina que las fluctuaciones en los precios de las materias primas causen ciclos de expansión y de contracción en la producción, el ingreso y el empleo.

Las alzas de precios han sido observadas en años recientes en los combustibles fósiles (petróleo), pero también en otras materias primas como los minerales y los productos de origen agropecuario. Para Akram (2009), los incrementos en los precios de las materias primas tendrían su origen en el fortalecimiento de las condiciones de demanda en las economías industrializadas, en la depreciación del dólar frente a las principales monedas, en la declinación de las tasas reales de interés de los EUA y en la lenta respuesta del lado de la oferta. No obstante, los comportamientos de las economías de China e India podrían explicar también un porcentaje de los incrementos registrados en las demandas de petróleo, de minerales y de granos y aceites durante la última década. El rápido crecimiento observado en estas economías asiáticas habría contribuido a expandir la demanda mundial, generando una presión ascendente sobre los precios de los productos primarios (Trinh, Vioss y Dyck, 2006; Cheung y Morin, 2007). No obstante, ello habría tenido lugar de manera general en un contexto de expansión de la economía global y de abundante liquidez en los mercados internacionales.

Este trabajo analiza los principales factores macroeconómicos que han influido sobre los precios reales de las materias primas durante las últimas tres dé-

¹ La excepción podrían ser Brasil y México, que también son importantes exportadores de manufacturas industriales.

cadadas. En este sentido, el análisis se concentra en el comportamiento de los precios reales del petróleo y de un índice agregado de las materias primas no petroleras (*non-fuel commodities*), de acuerdo con datos de *Estadísticas Financieras internacionales* del FMI.² A tal efecto, se utilizan SVAR, con datos mensuales, que cubren el periodo 1980:1-2009:3.

El trabajo se desarrolla como sigue. En la primera sección se analiza la evolución de los precios reales de las materias primas y de los principales factores que podrían explicarlos. En la siguiente sección se incluye la propuesta de SVAR y en la tercera las restricciones impuestas al modelo. En las secciones cuatro a seis se realizan las pruebas de raíz unitaria y se estiman las funciones de impulso-respuesta y el análisis de descomposición de la varianza de los precios reales. Por último, se comentan las principales conclusiones del trabajo.

1. Comportamiento de los precios reales de las materias primas. Principales factores explicativos

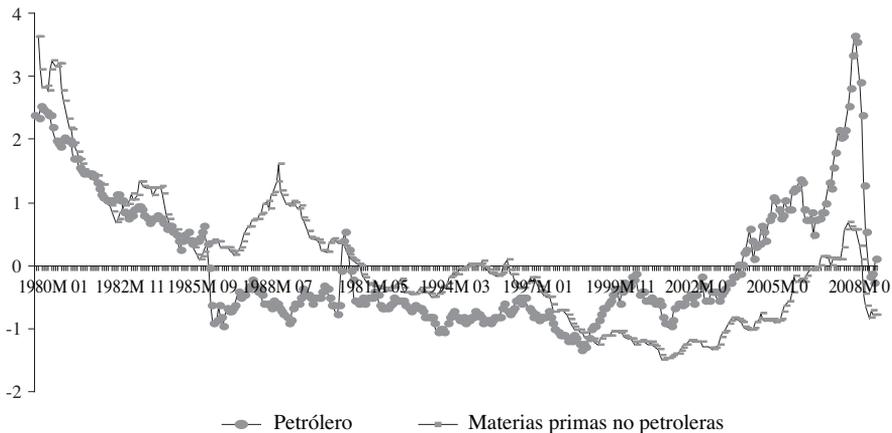
Si bien los precios reales de las materias primas (petróleo y agregado de los productos no petroleros) habrían tenido un comportamiento decreciente durante gran parte de las últimas tres décadas, a partir de los primeros años de este milenio comenzó a observarse una tendencia ascendente, que fue recién interrumpida con el inicio de la última crisis financiera internacional.

Como se observa en la Gráfica 1, mientras que los precios reales del petróleo habrían alcanzado un máximo en el año 2008, los precios reales del agregado de las *non-fuel commodities* se encontrarían todavía bastante por debajo de los niveles máximos registrados a principios de la década de los ochenta. Puede verse también como a partir de la crisis internacional, que hizo eclosión en septiembre de 2008, estos valores sufren una importante retracción.³

² El índice de las materias primas no petroleras incluye los siguientes productos: *i) agricultural raw materials*: algodón, tabaco, lana, cuero, caucho y madera; *ii) foods*: plátanos, cereales (trigo, maíz, arroz), carne, soya, aceites y harinas oleaginosas y azúcar; *iii) metals*: aluminio, estaño, cobre, hierro, oro, níquel y zinc; y *iv) beverages*: como café, té y cacao. Este último componente no es analizado en el trabajo.

³ Cabe agregar que los índices de precios nominales de los productos agrícolas, de los alimentos y de los minerales que integran el índice agregado de precios de las materias primas no petroleras, se ubicaban en marzo de 2009 bastante cerca de los niveles de estas series a principios de los años ochenta, mientras que el índice de precios al consumidor prácticamente se triplicó en los EUA desde el año 1980. De allí que los precios reales de estas materias primas muestren, por lo general, una tendencia decreciente.

Gráfica 1^a
Precios reales del petróleo y del agregado de las materias primas no petroleras
(datos estandarizados)



^a Las series incluidas corresponden a los precios reales del petróleo y de un índice agregado de las materias primas no petroleras. Representan los precios internacionales en dólares de estos productos en términos del índice de precios al consumidor de los EUA. Los precios reales fueron estandarizados, restándoles su media y dividiéndolos por el desvío estándar.

Los incrementos más recientes observados durante esta década en los precios reales de las materias primas habrían coincidido con la existencia de tasas reales de interés relativamente bajas y con la depreciación del valor del dólar en relación con las principales monedas (Krichene, 2008), aunque la economía mundial también habría mostrado en este periodo un crecimiento relativamente elevado, por lo menos antes de la crisis de 2008. A su vez, algunos trabajos (FAO, 2008; Akram, 2009) sugieren que podrían haberse generado efectos derrame (*spillover effects*) entre los diferentes productos. En particular, los precios del petróleo podrían inducir aumentos en los precios de las materias primas no petroleras mediante el empuje de los costos (*cost-push effects*) y por medio de una mayor demanda de materias primas agrícolas tendiente a sustituir combustibles fósiles (petróleo) por biocombustibles provenientes del maíz, la soja y otros productos agrícolas.

Algunos autores, como Frankel (1986 y 2006), sugieren incluso que los precios de las materias primas podrían mostrar una sobre reacción (*overshoot*)

como respuesta ante los cambios en las tasas de interés (un incremento en las tasas reales de interés deprimiría los precios reales de las materias primas y viceversa), de forma similar al comportamiento del tipo de cambio en el modelo seminal de Dornbusch (1976). Este comportamiento de los precios habría sido observado por Akram (2009), principalmente para el petróleo y otras materias primas no petroleras como los minerales.

1.1 Precios de las materias primas y tasas de interés

La relación negativa entre las tasas de interés y los precios de las materias primas se sostiene al considerar que estos últimos representan bienes con precios flexibles comercializados en mercados eficientes (Kellard, Newbold, Raymer y Ennew, 1999; Frankel, 1986). En estos mercados los retornos netos, ajustados por riesgo, de los activos reales y financieros tenderían a igualarse. Esta relación entre los precios de las materias primas y las tasas de interés se indica a continuación (véase, por ejemplo, Akram (2009):

$$E_t cp_{t+1} - cp_t = i + s(i) \quad (1)$$

Donde:

$E_t cp_{t+1} - cp_t$ = incremento esperado en los precios de las materias primas entre los periodos t y $t + 1$, dada la información disponible al momento t ;

i = tasa de interés nominal.

$s(i)$ = costo de almacenamiento más alguna prima de riesgo fija.

Siguiendo a Deaton y Laroque (1996), se considera que el costo de almacenamiento se incrementa en función de las tasas de interés. Para estos autores, en el caso de un *stock* positivo (los inventarios deben ser positivos ya que las materias primas no podrían ser consumidas antes de que existan), el precio esperado en el segundo periodo debería ser igual al precio en el primero más el costo de almacenamiento (*carrying cost*). A tal efecto consideran una tasa de interés constante. En este caso, se está considerando que no existe un deterioro del *stock* físico.⁴

La condición representada por la ecuación (1) establece que la ganancia esperada (revaluación) por mantener una posición en materias primas, neta de los costos de almacenamiento, debería igualarse a la tasa de interés nominal. Esta

⁴ Véase la ecuación (5) del trabajo de Deaton y Laroque (1996). Si existiera un deterioro físico del producto almacenado, al final del primer periodo se tendría $(1-\delta)I_t$, donde δ es la tasa de deterioro físico.

condición de no arbitraje, que establece una relación negativa entre los precios de las materias primas y las tasas de interés, es conocida como regla de Hotelling (Hotelling, 1931; Gray, 1914) y podría ser expresada también en términos reales al restar la tasa de inflación en ambos lados de la ecuación.

En forma alternativa, podría considerarse que los precios corrientes de las materias primas son iguales al valor descontado de los precios futuros esperados, netos del costo de almacenamiento. De esta forma, una caída en las tasas de interés incrementaría el valor presente de los valores futuros esperados y por tanto el precio corriente. Una declinación en las tasas de interés coincidiría con un incremento contemporáneo en los precios de las materias primas, dados los precios futuros esperados. Ello podría obedecer a las siguientes razones:

- 1) Al caer las tasas de interés los agentes tratarían de invertir menos en bonos y más en materias primas, la mayor demanda de materias primas determinaría una presión ascendente en sus precios.
- 2) La reducción en los costos de almacenamiento (dependen directamente de las tasas de interés) incrementaría la demanda por inventarios de materias primas y, de esta manera, sus precios.
- 3) Sería menos rentable la extracción de materias primas agotables, tales como petróleo y minerales, para colocar el producto resultante en el mercado de bonos (Hotelling, 1931). La menor oferta de materias primas contribuiría a incrementar sus precios.
- 4) La baja de tasas estimularía el nivel de actividad económica y con ello la demanda de materias primas y sus precios.

No obstante, los precios corrientes de las materias primas podrían aumentar en mayor proporción que sus precios esperados (al mantener la condición de no arbitraje). Dicho incremento debería ser suficiente para asegurar que el aumento esperado en los precios $E_t cp_{t+1} - cp_t$ iguale a la tasa de interés nominal más el costo de almacenamiento.⁵ Así, en respuesta ante una caída en las tasas de interés, el precio corriente de las materias primas podría incrementarse más que los precios esperados, generando un efecto *overshoot*.⁶ En otros términos, de acuerdo con el modelo de *overshooting* del tipo de cambio (Dornbusch, 1976), los precios de las

⁵ En este caso, los retornos esperados al invertir en materias primas deberían igualarse a los retornos de invertir en activos financieros, en ausencia de oportunidades de arbitraje.

⁶ De esta forma se aseguraría que el incremento esperado en los precios de las materias primas iguale a la tasa real de interés más baja y a los *carrying costs*.

materias primas podrían sobre reaccionar a su valor de equilibrio de largo plazo como respuesta ante una caída (o a un incremento) en las tasas nominales de interés (las tasas reales de interés también caerían). Para Frankel (1986) la política monetaria podría afectar los precios reales de las materias primas debido a que los precios de estas últimas son flexibles, mientras que los de las manufacturas son fijos, por lo menos en el corto plazo. Así, los precios de las materias primas se verían afectados más que proporcionalmente frente a los cambios en la oferta monetaria y sobre reaccionarían a sus valores de largo plazo.

Sin embargo, la evidencia empírica con respecto a la relación entre las tasas reales de interés y los precios reales de las materias primas no resulta tan concluyente. Mientras que Frankel (2006) encuentra un vínculo negativo entre dichas variables al incluir datos de precios desde la década de los setenta, tal relación no es tan clara cuando se restringe la muestra con información a partir de los años ochenta. Estos diferentes resultados destacan la necesidad de controlar las estimaciones con otras variables macroeconómicas, tales como los niveles de actividad de las principales economías, el tipo de cambio real del dólar estadounidense y otros posibles determinantes, al analizar la relación entre las tasas reales de interés y los precios reales de estos productos.⁷

1.2 Precios de las materias primas y el valor del dólar

La relación negativa entre el valor del dólar estadounidense y los precios de las materias primas expresados en esta moneda tiene su sustento en la ley de un solo precio para los bienes comercializables. De acuerdo con ello, una depreciación del dólar debería compensarse mediante un incremento de los precios en dólares de las materias primas (y/o una caída de los precios en otras monedas), a efectos de asegurar el mismo importe medido en dólares. Asimismo, dado que en los mercados internacionales la mayor parte de las materias primas se cotizan en dólares, una depreciación de esta divisa incrementaría el poder de compra y la demanda de materias primas por parte de los consumidores externos y reduciría la oferta de los productores externos debido a la menor rentabilidad que resultaría en otras monedas.

⁷ La posible relación entre las tasas reales de interés y los precios de las materias primas podría ser un *shock* dependiente. Por ejemplo, los choques que inducen incrementos en los precios futuros, como un mayor crecimiento económico, podrían generar tasas reales de interés más elevadas (Svensson, 2006). Así, la relación entre las tasas reales de interés y los precios de las materias primas podría generar un sesgo por simultaneidad si no se consideran las tasas de interés como una variable endógena. Esta sería una limitación de los modelos que utilizan una sola ecuación para investigar la relación entre los precios de las materias primas y las variables económico-financieras.

La relación negativa, que hace abstracción de tarifas y otros costos de transacción, se indica mediante la expresión en niveles:⁸

$$cp^f = e \cdot cp \quad (2)$$

Donde:

cp^f = precio de la materia prima en unidades de la divisa externa;

e = tipo de cambio nominal del dólar en términos de una unidad de otra divisa.

cp = precios de las materias primas en dólares;

De esta forma, una depreciación del dólar (una caída de e) correspondería con un precio externo más bajo, una mayor demanda y una menor oferta externa y/o un precio en dólares más elevado. La condición de arbitraje aseguraría que los precios en dólares se incrementen y/o que los precios en moneda externa se reduzcan.

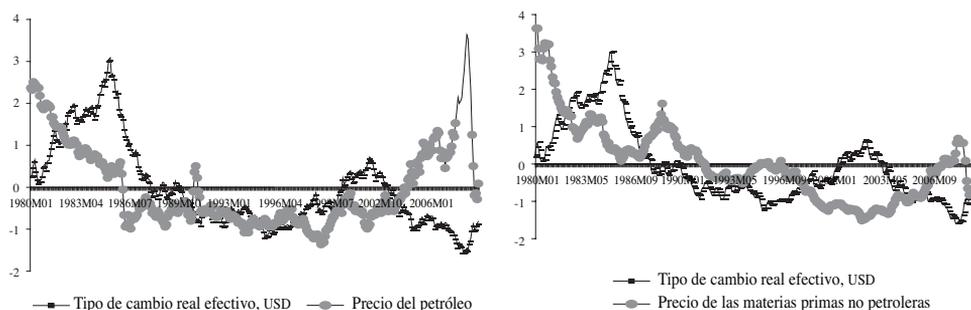
No obstante, la reducción de las tasas de interés en los EUA podría afectar, a su vez, el valor del dólar. De acuerdo con la paridad no cubierta de tasas de interés, la depreciación esperada del dólar estaría inversamente relacionada con el *spread* de tasas de interés entre el dólar y otras monedas. Además, una reducción en las tasas de interés de los EUA podría causar en el corto plazo una sustancial depreciación del dólar, de acuerdo con el modelo de *overshooting* de Dornbusch (1976). De allí que menores tasas de interés determinarían, directa e indirectamente, vía la depreciación del dólar, un incremento de los precios de las materias primas en dólares.

Sobre el particular, en la Gráfica 2 se incluyen las series del tipo de cambio real efectivo del dólar y de los precios reales del petróleo y del agregado de las materias primas no petroleras, las cuales muestran una relación inversa en varios periodos (cuando el dólar se aprecia, es decir cuando tiene mayor valor, caería el precio real de las materias primas y viceversa).⁹

⁸ La misma expresión en logaritmo sería: $cp^f = e + cp$.

⁹ De acuerdo con los datos del tipo de cambio real efectivo del dólar (*Estadísticas Financieras Internacionales* del FMI), una suba del índice indicaría una apreciación del dólar y viceversa.

Gráfica 2
Tipo de cambio real efectivo del dólar y precios reales del petróleo y del agregado de las materias primas no petroleras (datos estandarizados)



Hamilton (2008) considera que el impacto sobre los precios debido a los cambios en la oferta y demanda de materias primas podría ser particularmente relevante si estas funciones fueran inelásticas. Tal sería el caso del petróleo y de otras materias primas no petroleras.

1.3 Derrame de los precios del petróleo sobre los precios de las materias primas no petroleras

A priori los efectos de derrame entre los precios del petróleo y de las materias primas no petroleras no resultan tan claros a la luz de la teoría económica. El incremento en el precio de una determinada materia prima determinaría su sustitución por otros bienes, cuyos precios tenderían a incrementarse. Sin embargo, ello generaría también un aumento en los gastos reales de los consumidores y una caída en la demanda de todo tipo de bienes y servicios. El efecto final dependerá de la fortaleza de los efectos ingreso y sustitución y sería, por tanto, una cuestión a resolver empíricamente. No obstante, en algunos productos existe evidencia de cierta influencia de los precios del petróleo. Por ejemplo, estos choques podrían repercutir sobre los precios de las materias primas agrícolas debido a la demanda de biocombustibles (FAO, 2008).¹⁰

¹⁰ También Akram (2009) destaca el efecto derrame de los precios del petróleo sobre los precios de otras materias primas no petroleras.

2. Propuesta de SVAR con restricciones de corto plazo

El principal propósito de la estimación de los SVAR es obtener una ortogonalización no recursiva de los términos de error para el análisis de impulso-respuesta. A diferencia de la ortogonalización recursiva de Choleski, la propuesta de SVAR requiere imponer restricciones al VAR a efectos de identificar los componentes estructurales ortogonales (no correlacionados entre sí) de los términos de error. Estas restricciones, que podrían ser de corto o largo plazos, se basan en la teoría económica.

En el trabajo, se utiliza un SVAR estructural con restricciones de corto plazo en las variables. Siendo y_t un vector de k variables endógenas, la ecuación estructural del modelo podría representarse como:

$$A y_t = C(L) y_t + B \mu_t \quad (3)$$

Donde:

$\mu_t \sim N(0, 1)$ = errores estocásticos estructurales (no observables);

L = operador de retrasos; y

A, B, C = matrices $k \times k$ no observables separadamente.

Sin embargo, no es posible estimar directamente la expresión anterior debido a problemas de identificación. En este caso, se recurre a un VAR no restringido y se imponen restricciones al modelo para así de identificar su estructura subyacente:

$$y_t = A^{-1}C(L)y_t + A^{-1}B \mu_t \quad (4)$$

A su vez, podrían estimarse los residuos estocásticos aleatorios $A^{-1}B \mu_t$ a partir de los residuos observados ε_t del VAR irrestricto:

$$A^{-1}B \mu_t = \varepsilon_t \quad (5)$$

Reformulando la expresión (5) como $A^{-1}B \mu_t \mu_t' B' (A^{-1})' = \varepsilon_t \varepsilon_t'$ e introduciendo el operador esperanza, se obtiene:

$$A^{-1}B B' (A^{-1})' E[\mu_t \mu_t'] = E[\varepsilon_t \varepsilon_t'] \quad (6)$$

Donde:

ε_t, μ_t = vectores de dimensión k ; y

$E[\mu_t \mu_t'] = I$.

Por tanto:

$$A \Sigma A' = B B' \quad (7)$$

Donde:

$\Sigma = E[\varepsilon_t \varepsilon_t']$ indica la matriz de varianza-covarianza de los residuos.

Para un modelo con k variables, las propiedades de simetría determinan que deban imponerse $[k(3k-1)]/2$ restricciones adicionales sobre las matrices A y B . Amisano y Giannini (1997) plantean que el esquema de restricciones tomaría la siguiente forma:

$$A \varepsilon_t = B \mu_t \quad (8)$$

Con $k = 5$ (cinco variables endógenas), si se especificara a B como una matriz diagonal y se aplicaran en forma recursiva las restricciones sobre la matriz A , se tendría:¹¹

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & 1 & 0 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & 1 & 0 \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & 1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} b_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_{22} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_{33} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & b_{55} \end{bmatrix} \quad (9)$$

En la propuesta de SVAR, el procedimiento a seguir sería el siguiente. En primer lugar, sería necesario estimar la forma reducida de un sistema de VAR con k variables endógenas. Luego, deberían imponerse las restricciones al modelo para que resulte perfectamente identificado y puedan obtenerse las respuestas de corto plazo de las variables a los diferentes *shocks* estructurales.

¹¹ En un modelo con cinco variables endógenas ($k = 5$), el número de restricciones adicionales sobre las matrices A y B sería igual a 35 $[k(3k - 1)/2]$. Dado que se considera a B como una matriz diagonal con 20 restricciones iguales a cero, las restricciones adicionales a imponer a la matriz A serían 15. Ello se cumple con cinco restricciones iguales a la unidad y diez iguales a cero $[k(k - 1)/2]$.

3. Restricciones contemporáneas al modelo. Supuestos

En el trabajo se emplea una propuesta de SVAR con restricciones de corto plazo. Los modelos incluyen cinco variables endógenas: a) un índice de producción industrial de las economías avanzadas, en términos desestacionalizados (*prodind*); b) las tasas reales de interés de corto plazo de los EUA, por simplicidad se calculan como el *spread* entre las tasas de Fondos Federales y el índice de precios al consumidor del periodo, datos anualizados (*rus*); c) el tipo de cambio real efectivo del dólar de los EUA (*reer*), de acuerdo con datos del FMI, en este caso un incremento en el índice indica una apreciación del dólar y viceversa; d) el precio real en dólares del petróleo WTI (*oil*); y e) un índice agregado de los precios reales de las *non-fuel commodities*. Los precios reales se obtienen al utilizar como deflactor el índice de precios al consumidor de los EUA. Se ha preferido no incluir simultáneamente a los diferentes componentes del índice de precios de las materias primas no petroleras en el mismo modelo, debido al número de observaciones disponibles y a que podría resultar más adecuado estimar un sistema más parsimonioso. De todas formas, los modelos consideran la posible interacción que podría darse entre los precios del petróleo y los precios de las materias primas no petroleras.¹²

El vector de variables Y_t sería el siguiente:

$$Y_t = [\textit{prodind}, \textit{rus}, \textit{reer}, \textit{precios oil}, \textit{precio materias primas no petroleras}] \quad (10)$$

Los *shocks* estructurales son identificados imponiendo una estructura causal recursiva sugerida por Sims (1980). Este esquema recursivo establece que la primer variable del sistema no reacciona contemporáneamente ante los choques en las demás variables, pero que las restantes podrían reaccionar a los de la primera y así sucesivamente (la tercera reaccionaría en el corto plazo ante los *shocks* en la primera y en la segunda, etcétera). Estas restricciones hacen referencia solamente a relaciones contemporáneas, de forma que después de un periodo (mensual) las variables incluidas podrían verse afectadas por todos los *shocks* del sistema.

El modelo a estimar considera las siguientes restricciones (recursivas) sobre los parámetros estructurales contemporáneos de las matrices A y B :

¹² No obstante, en la sexta sección se incluye también el análisis de descomposición de la varianza para los modelos que consideran a los principales componentes de este índice agregado, es decir a los precios de las materias primas agrícolas, de los alimentos y de los minerales, respectivamente, en lugar de los precios reales del agregado de las materias primas no petroleras. En otras palabras, se estimaron en total cuatro modelos: el que considera al agregado de los precios de las materias primas no petroleras y los que incluyen a los precios de sus principales componentes: materias primas agrícolas, alimentos y minerales, respectivamente.

- 1) El índice de producción industrial no se vería contemporáneamente afectado por el resto de los *shocks*. En el corto plazo respondería solamente a sus propias innovaciones.
- 2) Las tasas reales de interés responderían contemporáneamente ante sus propios choques y las innovaciones en el índice de producción industrial de las economías avanzadas.
- 3) El tipo de cambio real efectivo de los EUA sería contemporáneamente afectado por los *shocks* en el índice de producción industrial, en las tasas reales de interés y por sus propias innovaciones. Este tipo de ordenamiento (primero el nivel de actividad y luego las tasas de interés y el tipo de cambio) sería compatible con los trabajos de Eichenbaum y Evans (1995), entre otros.
- 4) Los choques en los precios reales del petróleo serían afectados contemporáneamente por las variables colocadas en los primeros tres lugares del sistema (y por sus propios choques) e influirían a su vez en los precios reales de las materias primas no petroleras. En este sentido, resulta más razonable suponer que los precios del petróleo afectan a los precios de las materias primas no petroleras en el corto plazo, que una relación inversa. De hecho, los precios de las materias primas agrícolas serían endógenos con respecto a los precios del petróleo, debido a la demanda de materias primas agrícolas que tiene lugar para la producción de biocombustibles, como etanol o biodiesel (FAO, 2008).
- 5) Los *shocks* en los precios reales de las materias primas no petroleras no afectarían a ninguna de las variables del sistema en el corto plazo, pero serían influenciados contemporáneamente por todas ellas.
- 6) Para Akram (2009), los estudios sobre funciones de reacción de la política monetaria para economías de la OCDE no muestran una respuesta importante de las tasas de interés frente al tipo de cambio o los choques en los precios de las materias primas en el corto plazo. Por su parte, si bien existe evidencia de que el tipo de cambio podría responder ante los *shocks* en los precios de las materias primas en el largo plazo, los resultados sobre una relación contemporánea entre estas variables no son tan concluyentes (Cashin, Céspedes y Sahay, 2004).¹³

¹³ Existe, sin embargo, en la literatura cierta controversia acerca de si los bancos centrales bajo regímenes de metas de inflación responden contemporáneamente ante los choques en los precios de los activos (Clarida, Gali y Gertler, 1998; Chadha, Sarno y Valente, 2004).

- 7) Los modelos estimados presentan, sin embargo, una limitación. Debido a la disponibilidad de información, no es posible incorporar una variable que represente a la producción industrial, o al nivel de actividad, de la economía china durante todo el periodo analizado (sólo existen datos desde los años noventa). Por tanto, se incluye una variable binaria, la cual toma valor uno desde 2002:1 en adelante y cero en los periodos restantes. Esta variable pretende captar el mayor crecimiento experimentado por la economía asiática durante esta década. No obstante, el comportamiento de las economías emergentes (como China e India) podría estar siendo captado indirectamente también por medio del crecimiento de las economías avanzadas (índice de producción industrial), dado el proceso de interacción (globalización) que suele darse a nivel mundial.

A partir del esquema planteado por Amisano y Giannini (1997), las restricciones indicadas previamente podrían formalizarse como:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & 1 & 0 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & 1 & 0 \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon^{prodind} \\ \varepsilon^{rus} \\ \varepsilon^{reer} \\ \varepsilon^{oil} \\ \varepsilon^{otrospr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_{22} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_{33} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & b_{55} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mu^{prodind} \\ \mu^{rus} \\ \mu^{reer} \\ \mu^{oil} \\ \mu^{otrospr} \end{bmatrix}$$

4. Pruebas de raíz unitaria

A efectos de determinar si las variables son no estacionarias en niveles, se realizan las pruebas de raíz unitaria mediante los estadísticos Dickey-Fuller Aumentado (ADF), KPSS y Schmidt-Phillips.¹⁴ Las series se presentan estandarizadas y se utilizan doce rezagos (véase Cuadro 1).

¹⁴ Esta última prueba se origina en el trabajo de Schmidt y Phillips (1992).

Cuadro 1
Pruebas de raíz unitaria: ADF, KPSS y Schmidt-Phillips, 1980:1-2009:3^a

<i>Variable</i>	<i>Significatividad de la constante</i>	<i>Significatividad de la tendencia</i>	<i>ADF</i>	<i>KPSS</i>	<i>Schmidt-Phillips</i>	<i>Orden de integración</i>
Producción industrial economías avanzadas	No	No	-1.58	2.21	-4.57	1
Tasas reales de interés de EUA	Sí	Sí	-3.36	0.11	-167.6	0
Tipo de cambio real efectivo del dólar	No	No	-1.57	1.16	-5.65	1
Precio real del petróleo	Sí	Sí	-2.12	0.48	-6.0	1
Precio real de los productos agrícolas	Sí	Sí	-2.77	0.23	-3.86	1
Precio real de los alimentos	No	No	-3.43	1.81	-5.79	1
Precio real de los minerales	No	No	-2.74	0.33	-3.38	0
Precio real del agregado de las materias primas no petroleras	No	No	-2.56	1.59	-5.58	1

^a En las pruebas ADF y Schmidt-Phillips la hipótesis nula establece la existencia de una raíz unitaria, en el caso de la KPSS que la serie es estacionaria. Para la pruebas ADF no se rechaza la H_0 al 5% (en el índice agregado de las materias primas no petroleras al 1%), salvo en los precios reales de los alimentos y de los minerales que se rechaza al 5 y 1%. En la prueba de Schmidt-Phillips no se rechaza la H_0 al 5%, excepto en las tasas reales de interés que se rechaza al 5 y 1%. En la KPSS no se rechaza la H_0 para las tasas reales de interés y los precios reales de los minerales. En negrita se indica el rechazo de la H_0 respectiva, excepto para la KPSS donde indica aceptación de la H_0 (que la serie es estacionaria).

Los resultados de las pruebas ADF determinan la imposibilidad de rechazar la hipótesis nula de existencia de raíz unitaria en los niveles de las variables al 5% (en el índice agregado de las materias primas no petroleras no se rechaza al 1%), excepto en los precios reales de los alimentos (*foods*) y de los minerales (*metals*) que se rechazan al 5 y 1%. En la prueba Schmidt-Phillips no se rechaza la hipótesis nula al 5%, salvo en las tasas reales de interés (se rechaza al 5 y 1%). Por último, en la prueba KPSS no se rechaza la hipótesis nula de estacionariedad en los precios reales de los minerales y en las tasas reales de interés. Por tanto, se incluyen las variables en primeras diferencias, salvo las tasas reales de interés y los precios reales de los minerales que se estiman en niveles.

Debe notarse que no se han realizado las pruebas a fin de determinar la existencia de cointegración entre las variables, en el caso de SVAR, dado que las mismas no presentan el mismo orden de integración, a las tasas reales de interés y a los precios reales de los minerales se les considera estacionarios en niveles, mientras que el resto de las variables serían integradas de orden uno.¹⁵

¹⁵ Las pruebas de cointegración se realizan para variables que presentan el mismo orden de integración $I(1)$.

5. Funciones de impulso-respuesta

La estimación de los SVAR permite examinar la interacción dinámica entre las variables económicas y financieras y los precios reales de las materias primas.¹⁶

En la Gráfica A.1 (véase Anexo) se muestran las funciones de respuesta acumulada del modelo que incluye a los precios reales del agregado de las materias primas no petroleras, frente a los *shocks* estructurales en el índice de producción industrial, en las tasas reales de interés, en el tipo de cambio real efectivo del dólar y en los precios reales del petróleo (así como a los choques propios que no aparecen en la gráfica).

Se observa que los precios reales de las materias primas no petroleras muestran una respuesta acumulada positiva y significativa frente a los *shocks* en el índice de producción industrial de las economías avanzadas, una respuesta acumulada negativa frente a los choques en las tasas reales de interés (no significativa) y en el tipo de cambio real efectivo de los EUA (significativa), así como una respuesta acumulada positiva y significativa en el corto plazo frente a los *shocks* en los precios reales del petróleo.

Por su parte, los precios reales del petróleo responden positivamente frente a los choques en el índice de producción industrial y negativamente frente a los *shocks* en las tasas reales de interés y en el tipo de cambio real efectivo del dólar en el corto plazo (en este último caso la respuesta no es significativa).¹⁷

Los resultados indican, por tanto, una relación negativa entre los precios reales de las materias primas no petroleras y las tasas de interés (no significativa) y entre estos precios y el tipo de cambio real efectivo del dólar (un alza en las tasas de interés y una apreciación del dólar afectarían negativamente a los precios de las materias primas y viceversa). Por su parte, en el caso de los precios del petróleo se observa una respuesta negativa frente a los incrementos en las tasas de interés (significativa) y frente a una apreciación del tipo de cambio real efectivo del dólar (no significativa). Estos resultados se asimilan a lo esperado de acuerdo con la teoría económica.

¹⁶ Las funciones de impulso-respuesta corresponden a la factorización estructural y las bandas de confianza se calcularon con la opción "asintótica/analítica" (Hamilton, 1994: 339) y representan ± 2 de desviación estándar. Los SVAR estimados no presentan autocorrelación de residuos (las pruebas LM de correlación serial no permiten rechazar la hipótesis nula de ausencia de correlación serial de orden 12). Se utilizaron doce rezagos por ser datos mensuales.

¹⁷ En algunos casos la respuesta es significativa solamente en un pequeño tramo de la función. Se consideran respuestas acumuladas para las variables expresadas en primeras diferencias. Las funciones de respuesta de los componentes del índice de precios agregado de las materias primas no petroleras muestran resultados similares a los del agregado.

Por último, debe mencionarse que el modelo estimado incluye una variable binaria que toma valor uno desde 2002:1 en adelante y cero en los restantes periodos, a fin de captar la mayor demanda experimentada por las economías de China e India en la última década. En este sentido, una mayor demanda por parte de las economías emergentes se traduciría, *ceteris paribus*, en un incremento de los precios de las materias primas, de acuerdo con la especificación que se planteó para la variable binaria. No obstante, el comportamiento de estas economías (como China e India) podría estar siendo captado indirectamente también por medio del crecimiento de las economías avanzadas y de su índice de producción industrial, dado el proceso de globalización que suele darse a nivel mundial (véanse, por ejemplo, Cheung y Morin, 2007; Trinh, Voss y Dyck, 2006).

6. Análisis de descomposición de la varianza

El análisis de descomposición de la varianza del error de predicción permite evaluar la contribución relativa de los diferentes *shocks* en las fluctuaciones de los precios de las materias primas. En otros términos, este análisis considera la importancia relativa de cada innovación aleatoria en las fluctuaciones de las variables, de forma que la suma de estos porcentajes alcance cien.

En el Cuadro 2 se indican los porcentajes de la varianza de los precios reales de las materias primas frente a diferentes choques.¹⁸ Puede verse que la variabilidad de estos precios se explica principalmente por sus propias innovaciones. No obstante, en el caso del agregado de las materias primas no petroleras, los choques en el índice de producción industrial y en el tipo de cambio del dólar explican 21.2 y 17.6%, respectivamente, de la volatilidad de esos precios, después de doce meses y los choques propios 58.1%, mientras que el resto de los *shocks* (tasas reales de interés y precios reales del petróleo) serían en este caso menos relevantes. Por su parte, la variabilidad de los precios reales del petróleo se explica en su mayor parte por sus propios choques (66.9%) y por las innovaciones en las tasas reales de interés (18.5%). También se observa en el cuadro que los porcentajes de las variables que explican las varianzas de los principales componentes del índice agregado de las materias primas no petroleras.

¹⁸ Se muestran los resultados de los cuatro modelos estimados. El primero incluye como quinta variable a los precios de las materias primas agrícolas, el segundo a los de los alimentos, el tercero a los de los minerales y el cuarto al índice agregado de los precios de las materias primas no petroleras. En este caso, los porcentajes de la varianza de los precios del petróleo corresponden al modelo cuatro, es decir al que considera al índice agregado de los precios de las materias primas no petroleras.

Cuadro 2
Análisis de descomposición de la varianza de los precios reales del petróleo y de las materias primas no petroleras frente a diferentes choques estructurales^a (porcentajes)

<i>Varianza precios materias primas agrícolas (modelo uno)</i>					
<i>Periodo</i>	<i>Índice de producción industrial</i>	<i>Tasas reales de interés de EUA</i>	<i>Tipo de cambio real efectivo del dólar</i>	<i>Precio real del petróleo</i>	<i>Precio real de las materias primas agrícolas</i>
1	0	0.3	3.2	0.4	96.0
4	4.1	2.5	5.4	2.7	85.4
8	7.2	2.7	6.6	5.1	78.3
12	8.4	3.7	7.1	6.1	74.7
<i>Varianza precios alimentos (modelo dos)</i>					
<i>Periodo</i>	<i>Índice de producción industrial</i>	<i>Tasas reales de interés de EUA</i>	<i>Tipo de cambio real efectivo del dólar</i>	<i>Precio real del petróleo</i>	<i>Precio real alimentos</i>
1	0.1	0.1	7.5	0.7	91.7
4	0.9	0.4	10.1	2.1	86.5
8	4.2	3.1	10.1	2.8	79.9
12	4.3	4.9	10.3	3.0	77.5
<i>Varianza precios minerales (modelo tres)</i>					
<i>Periodo</i>	<i>Índice de producción industrial</i>	<i>Tasas reales de interés de EUA</i>	<i>Tipo de cambio real efectivo del dólar</i>	<i>Precio real del petróleo</i>	<i>Precio real de los minerales</i>
1	1.5	1.2	2.3	3.3	91.7
4	7.0	0.8	4.4	3.9	83.9
8	15.7	1.3	4.9	3.2	75.0
12	18.3	1.9	4.4	2.7	72.8
<i>Varianza precios petróleo (modelo cuatro-a)</i>					
<i>Periodo</i>	<i>Índice de producción industrial</i>	<i>Tasas reales de interés de EUA</i>	<i>Tipo de cambio real efectivo del dólar</i>	<i>Precio real del petróleo</i>	<i>Precio real de las materias primas no petroleras (agregado)</i>
1	0.4	21.3	0.4	77.9	0
4	2.0	17.7	0.7	78.3	1.2
8	5.4	17.9	1.7	72.8	2.3
12	6.6	18.5	2.2	66.9	5.8
<i>Varianza precios materias primas no petroleras (modelo cuatro-b)</i>					
<i>Periodo</i>	<i>Índice de producción industrial</i>	<i>Tasas reales de interés de EUA</i>	<i>Tipo de cambio real efectivo del dólar</i>	<i>Precio real del petróleo</i>	<i>Precio real de las materias primas no petroleras (agregado)</i>
1	0.2	0.5	9.7	2.0	87.5
4	4.2	0.3	16.8	3.1	75.6
8	15.2	1.1	18.0	2.4	63.4
12	21.2	1.5	17.6	1.7	58.1

^a Factorización estructural. El modelo uno indica la varianza de los precios reales de las materias primas agrícolas, el dos de los alimentos, el tres de los metales, el cuatro-a del petróleo y el cuatro-b del agregado de las materias primas no petroleras. Sólo se considera la descomposición de la varianza del precio real del petróleo para el modelo donde se incluye a los precios del agregado de las materias primas no petroleras (modelo cuatro).

Conclusiones

El auge experimentado por las materias primas en los últimos años y las repercusiones que han tenido los incrementos de estos precios sobre las exportaciones y los niveles de actividad (PIB real) de las principales economías emergentes, han suscitado un considerable interés por parte de los investigadores empíricos.

En este trabajo se analiza el comportamiento de los precios reales del petróleo y de un agregado de las *non-fuel commodities* y se evalúan los efectos de los principales determinantes económico-financieros sobre la evolución de dichos precios. A tal fin, se emplean SVAR con datos de periodicidad mensual que cubren el periodo 1980:1-2009:3.

Los modelos utilizan un esquema de identificación recursivo, con restricciones de corto plazo en el espíritu de Amisano y Giannini (1997), en el cual los precios del petróleo responden contemporáneamente al nivel de actividad industrial de las principales economías, a las tasas reales de interés de los EUA y al tipo de cambio real efectivo del dólar y afectan contemporáneamente a los precios de las materias primas no petroleras. A su vez, este último índice de precios no tendría un impacto contemporáneo sobre las demás variables del sistema pero se vería influenciado por todas ellas en el corto plazo. Los modelos incluyen también una variable binaria a efectos de considerar la mayor demanda de algunas economías emergentes (como China e India) durante la última década.

Los resultados de las estimaciones muestran que los precios de las materias primas no petroleras responden, por lo general, positiva y significativamente frente a los *shocks* en el nivel de producción industrial y en los precios reales del petróleo y negativamente frente a un alza en las tasas reales de interés y a una apreciación en el tipo de cambio real efectivo del dólar (aunque las respuestas frente a las tasas de interés no son significativas). Los precios reales del petróleo responden en el mismo sentido ante los *shocks* del nivel de producción industrial y de manera inversa frente a un incremento en las tasas reales de interés y a una apreciación en el valor dólar (en este último caso la respuesta no es significativa).

Por su parte, el análisis de descomposición de la varianza (la contribución relativa de los diferentes choques en las fluctuaciones de los precios de las materias primas) indica que en el caso del índice agregado de los precios de las materias primas no petroleras (modelo cuatro), las innovaciones propias y los choques en el nivel de actividad industrial de las economías avanzadas y en el tipo de cambio real efectivo del dólar explicarían la mayor parte de la variabilidad observada en estos precios, mientras que la volatilidad del precio real del petróleo resulta explicada principalmente por sus propios choques y por las innovaciones en las tasas reales de interés.

De esta manera, los resultados confirman la existencia de una relación negativa entre las tasas reales de interés y los precios reales de las principales materias primas, así como entre el tipo de cambio real efectivo del dólar y dichos precios, durante las últimas tres décadas. Sin embargo, no parecería observarse en este periodo un efecto de sobre reacción de los precios de las materias primas frente a los choques en las tasas reales de interés, como sugieren algunos autores (Frankel, 1986 y 2006; Akram, 2009; entre otros).

Referencias bibliográficas

- Akram, F. (2009). "Commodity Prices, Interest Rates and the Dollar", *Energy Economics*, num. 31, pp. 838-851.
- Amisano G. and C. Giannini. (1997). *Topics in Structural VAR Econometrics*, Berlin: Springer-Verlag.
- Cashin P., L. Céspedes and R. Sahay (2004). "Commodity Currencies and the Real Exchange Rate", *Journal of Development Economics*, num. 75, pp. 239-268.
- Clarida R., J. Gali and M. Gertler (1998). "Monetary Policy Rules in Practice: some International Evidence", *European Economic Review*, num. 42, pp. 1033-1067.
- Chadha J., L Sarno and G. Valente (2004). "Monetary Policy Rules, Asset Prices and Exchange Rates", *International Monetary Fund Staff Papers*, num. 51, pp. 529-552.
- Chaudhuri, K. (2001). "Long-run Prices of Primary Commodities and Oil Prices", *Applied Economics*, num. 33, pp. 531-538.
- Cheung, C. and S. Morin. (2007). "The Impact of Emerging Asia on Commodity Prices", *Working Paper 2007/55*, Bank of Canada.
- Deaton, A. and G. Laroque (1996). "Competitive Storage and Commodity Price Dynamics", *Journal of Political Economy*, num. 104, pp. 896-923.
- Dornbusch, R. (1976). "Expectations and Exchange Rate Dynamics", *Journal of Political Economy*, num. 84, pp. 1161-1176.
- Eichenbaum, M. and C. Evans (1995). "Some Evidence on the Effects of Monetary Policy on Real Exchange Rates", *Quarterly Journal of Economics*, num. 110, pp. 975-1009.
- FAO. (2008). "Soaring Food Prices, Facts, Perspectives, Impacts and Actions Required", Rome.
- Frankel, J. (2006). "The Effect of Monetary Policy on Real Commodity Prices", in J. Cambell (ed.), *Asset Prices and Monetary Policy*, Chicago: University of Chicago Press.
- (1986). "Expectations and Commodity Price Dynamics: the Overshooting Model", *American Journal of Agricultural Economics*, num. 68, pp. 344-348.

- Gray, L. (1914). "Rent under the Assumption of Exhaustibility", *Quarterly Journal of Economics*, num. 28, pp. 466-489.
- Hamilton, J. (2008). "Understanding Crude Oil Prices", mimeo, San Diego, EUA: Universidad de California.
- (1994). *Time Series Analysis*, Princeton University Press.
- Hotelling, H. (1931). "The Economics of Exhaustible Resources", *Journal of Political Economy*, num. 39, pp. 137-175.
- Kellard, N., P. Newbold, T. Raymer and C. Ennew. (1999). "The Relative Efficiency of Commodity Futures Markets", *Journal of Future Markets*, num. 19, pp. 413-432.
- Krichene, N. (2008). "Recent Inflationary Trends in World Commodity Markets", *Working Paper 08/130*, IMF.
- Schmidt, P. and P. Phillips. (1992). "LM Tests for a Unit Root in the Presence of Deterministic Trends", *Oxford Bulletin of Economic and Statistics*, num. 54, pp. 257-287.
- Sims, C. (1980). "Macroeconomics and Reality", *Econometrica*, num. 48, pp. 1-48.
- Svensson, L. (2006). "Comment on J. Frankel: Commodity Prices and Monetary Policy", in J. Campbell (ed.), *Asset Prices and Monetary Policy*, Chicago: University of Chicago Press.
- Trinh T., S. Voss and S. Dyck (2006). "China's Commodity Hunger", Deutsche Bank Research.

Anexo

Funciones de respuesta acumulada de los precios reales del petróleo y del agregado de las materias primas no petroleras, frente a diferentes *shocks*.

Gráfica A.1
Respuesta acumulada a una innovación estructural (± 2 desvío estándar)

