

MERCADOS INTERNACIONALES DE PRODUCTOS ENERGETICOS: UN MODELO PARA LOS PRECIOS DEL MERCADO DE ROTTERDAM

J. Ignacio Peña

Departamento de Econometría
Universidad Autónoma de Madrid

Resumen Este trabajo se ocupa del estudio del mercado de productos petrolíferos más importante de Europa Occidental: Rotterdam. El análisis se enfoca desde dos puntos de vista; en primer lugar se describen los rasgos estructurales básicos del mismo, tales como volumen de negocio, método de operación, influencia de sus transacciones en el contexto internacional. En segundo lugar, se propone un modelo estadístico que ayude a explicar el mecanismo de formación de precios en este mercado, así como efectuar predicciones sobre su comportamiento futuro.

Abstract This work focuses on the study of the most important West Europe oil market: Rotterdam. The analysis is presented from two viewpoints: first, describing the market's structural aspects, and second building statistical models for the main products price series using multiple arma models.

1. INTRODUCCION (*)

El nombre de mercado de Rotterdam hace referencia a un importante grupo de puertos de Europa Occidental, conocido como grupo ARA (Amsterdam Rotterdam/Antwerp). En estos puertos se da una densa concentración de refinerías, depósitos de almacenaje de crudos y subproductos y terminales de recepción del crudo.

La mayoría de las grandes empresas del sector utilizan el grupo ARA como un elemento fundamental en su política de distribución de derivados del petróleo en Europa. En particular, las cotizaciones de este mercado, referidas a los productos que en él se comercian (crudos y sus derivados) tienen una gran importancia por diversos motivos. En primer lugar, estos precios actúan como un barómetro bastante preciso de las condiciones generales del mercado del petróleo en Europa. En segundo lugar, dichos precios sirven como referencia para el resto de las contrataciones de derivados del petróleo que se efectúan en Europa. Y en tercer lugar,

(*) El autor agradece los detallados comentarios de un evaluador anónimo, que han contribuido a mejorar la presentación del trabajo.

estas cotizaciones son un elemento muy importante en la determinación de los precios interiores de derivados del crudo en los países de Europa donde el Gobierno controla los mismos mediante algún tipo de fórmula o reglamentación (como es el caso de España).

Es de interés señalar que las cantidades que se negocian en este mercado son relativamente pequeñas (de un 5 a un 10 por 100 del total consumido en Europa del Oeste) y que por tanto este es un mercado «marginal» (o «spot» en la terminología anglosajona), aunque de hecho se tome como punto de referencia muy destacado. No obstante, estas características del mercado ocasionan que, en muchas situaciones, los precios se forman basados en «predicciones» sobre cómo será el futuro equilibrio entre oferta y demanda, más bien que basados en una determinada situación del mismo.

Se trata, por tanto, de un mercado de expectativas de futuro, más que de mero reflejo de la situación concreta.

Los objetivos del trabajo son dos: en primer lugar, describir los rasgos de funcionamiento de este mercado. En segundo lugar, construir modelos estadísticos simples, que permitan predecir la evolución de algunas series de precios. Además, se estudia la interdependencia dinámica de estas series y se encuentran indicadores adelantados, que clarifican las relaciones entre esas series de precios.

El trabajo está estructurado como sigue: en primer lugar, se pasa revista al origen y desarrollo del mercado, así como se comentan brevemente sus características estructurales básicas. En segundo lugar, se seleccionan varias series temporales de precios en este mercado y se construyen modelos ARIMA univariantes para los mismos. Como resultado de este análisis se observa el brusco cambio de los precios en 1979-1980, que se modeliza mediante Análisis de Intervención. A continuación se explora la existencia de algún indicador adelantado del comportamiento de estas series mediante modelos ARIMA multivariantes. Finalmente, se comentan algunas implicaciones económicas de los modelos obtenidos, así como las conclusiones generales del estudio (*).

2. EL MERCADO DE CRUDOS DE ROTTERDAM: DESARROLLO Y ESTRUCTURA

El desarrollo del mercado de Rotterdam (RM en adelante) se impulsó por dos circunstancias: el rápido crecimiento de la producción mundial de crudo y la considerable expansión de su consumo, que tuvo lugar en las décadas de 1950 y 1960. Esta nueva situación expansiva necesitaba un mecanismo donde los desequilibrios de oferta y demanda pudiesen compensarse lo más rápida y eficientemente posible. Se dio la circunstancia de que RM reunía una serie de ventajas geográficas, industriales y de almacenaje que hicieron de él un sitio privilegiado para la implantación del mencionado mecanismo. Para hacerse una idea de su importancia en el

comercio mundial de crudo baste indicar que más del 25 por 100 de la demanda total de crudo de Europa occidental en 1980, pasó por el puerto de Rotterdam.

Los principales operadores en RM son negociantes independientes que intervienen en el mercado para aprovechar su carácter «marginal». Por tanto, se trata de un mercado muy atomizado donde en principio no hay una situación de dominio claro de unos agentes sobre otros.

Otro rasgo interesante del mercado es que carece de un lugar formal de reunión y, por tanto, las transacciones se llevan a cabo, por lo general, por teléfono o télex. Como resultado de esta situación no hay una forma sencilla de obtener, en principio, información fiable sobre las cotizaciones en RM.

Sin embargo, hay un medio, parcial pero muy indicativo, de obtener información sobre las transacciones efectuadas en RM. Platt's Oilgram Price Service y Petroleum Argus, publican datos diarios de los precios de los productos negociados en RM; estos datos están basados en algunas operaciones consideradas como típicas y en la información obtenida de una amplia muestra de agentes «típicos» del mercado. Cualquier transacción que presente características muy atípicas (por especiales requerimientos en la calidad del producto, plazos de entrega, etc.) como extremos, se excluye del conjunto de información relevante (1).

En el mercado negocian más de 500 firmas, divididas en cinco grupos principales:

- a) Las grandes compañías petrolíferas (con procesos integrados generalmente) que usan RM para equilibrar su oferta y demanda en función de las producciones de sus refinerías y de las expectativas sobre los mercados internos.
- b) Empresas independientes, que adquieren productos para sus propios negocios (por ejemplo, para el mercado de calefacción doméstica) en otros mercados.
- c) Consumidores individuales, que adquieren productos para su propio uso.
- d) Agencias de corretaje (Brokers) que suelen trabajar a comisión y actúan por cuenta de determinados clientes.
- e) Negociantes que, contrariamente a las agencias de corretaje, compran productos y juegan con ellos especulativamente en el mercado.

Los precios en RM reflejan la naturaleza de este mercado: libre y atomizado, pero muy influido por acontecimientos políticos, como se verá posteriormente. Estos precios pueden aparecer estáticos por algunos períodos de tiempo, pero en general su comportamiento no es estacionario y presentan grandes fluctuaciones.

(1) Con objeto de comprobar el grado de fiabilidad de los precios así recogidos, en 1978 una comisión de la Comunidad Económica Europea (CEE) llevó a cabo una extensa investigación con la colaboración de las 50 principales compañías operadoras en el mercado. La conclusión fue que, aunque se observaron pequeñas diferencias entre lo recogido por esta comisión y lo publicado por Platt's o Argus, la dirección y la magnitud de los precios eran muy similares. Por tanto, es hoy generalmente aceptado que estas dos fuentes de información proporcionan una razonable y bastante precisa descripción de lo que está sucediendo en el mercado.

(*) Se incluyen cinco tablas y un apéndice.

En particular, son series bastante «volátiles» en sentido estadístico (ver Maravall [1983]); lo cual implica que hay una fuerte proporción de comportamiento no sistemático en la evolución de estos precios. Sin embargo, se usan muy extensamente tanto dentro como fuera de la industria del petróleo, como un indicador generalmente aceptado de los precios del crudo y sus derivados en Europa (2) (para su importancia en el caso español, ver Borrell [1978], Borrel y Gafo [1978]).

En las páginas siguientes se desarrolla el estudio de los rasgos estadísticos más destacables de un conjunto seleccionado de series temporales de precios en RM, para estudiar en profundidad cómo trabaja el mercado.

3. ANALISIS UNIVARIANTE

Los productos más importantes negociados en RM (aparte del crudo sin refinar) son (por orden de importancia): Gas Oil, que absorbe prácticamente la mitad del total de volumen negociado; Fuel Oil (en dos especificaciones de 1 por 100 y 3,5 por 100 de azufre); Nafta; Gasolina premium y normal y, finalmente, Keroseno para aviación (J-K).

De todas estas series se han escogido: Gas Oil, Fuel Oil (3,5 por 100), Nafta, J-K y Gasolina premium, por considerarse los más representativos. Se han empleado datos mensuales del Platt's Oilgram Price Service, contruidos como la media aritmética de las cotizaciones mensuales «alta» y «baja» para cada producto. Los precios vienen medidos en U.S. dólares por tonelada métrica y el período muestral es de 1/75 a 2/83 para todas las series (98 observaciones).

Seguiremos el siguiente procedimiento:

— En primer lugar, se construye un modelo ARIMA para cada serie, con objeto de clarificar sus características estadísticas más relevantes (véase la tabla número 1 para la notación usada).

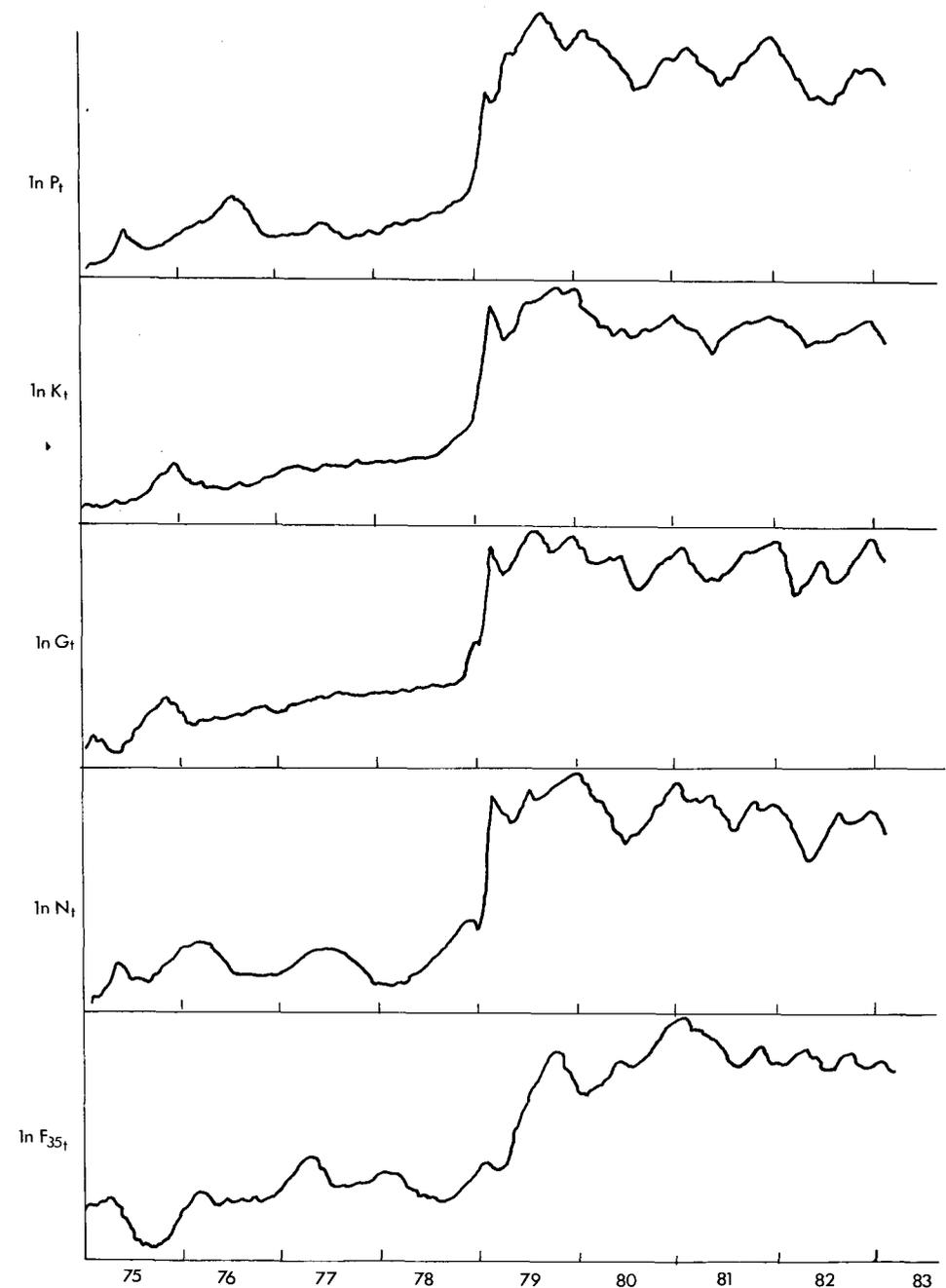
— Como resultado del análisis de los residuos de los modelos anteriores, se emplea Análisis de Intervención, Box y Tiao (1975), para reflejar el efecto de varios sucesos muy relevantes en su influencia sobre las series.

— En el siguiente paso, se construye un modelo ARMA multivariante para las series «limpias» de efectos muy extremos. El objeto es reflejar las interdependencias dinámicas entre las series y la búsqueda de la posible existencia de indicadores adelantados.

Las gráficas de las series (figura 1) muestra su comportamiento bastante irregular, así como un abrupto cambio en el nivel a partir de principios de 1979. En la tabla número 2 se exponen algunas estadísticas de interés para las series.

(2) La importancia de este mercado se acentuó a raíz de la crisis de 1973-1974, debido a que las grandes compañías se vieron obligadas a acudir cada vez más frecuentemente a él. Esto se ocasionó debido a las crecientes dificultades con que las grandes empresas se encontraron para cubrir sus objetivos de almacenaje y producción, como consecuencia del creciente control de la oferta que desarrolla la OPEP.

FIGURA 1



Después de las etapas usuales en la construcción de modelos ARIMA (véase Box y Jenkins [1976]) se obtuvieron los siguientes para las series seleccionadas:

CUADRO NUMERO 1

MODELO	$\hat{\sigma}_a^2$	$\hat{\sigma}_a \times 100$	Q(12)	\bar{a}
$\nabla \ln P_t = (1+0,24B) a1_t$ (0,08)	0,003897	6,24	12,0	0,0
$\nabla \ln K_t = (1+0,51B) a2_t$ (0,08)	0,003424	5,85	18,1	0,0
$\nabla \ln G_t = (1+0,27B) a3_t$ (0,09)	0,005266	7,25	9,3	0,0
$\nabla \ln N_t = (1+0,34B) a4_t$ (0,09)	0,004107	6,41	13,1	0,0
$\nabla \ln F35_t = (1+0,64B) a5_t$ (0,07)	0,002553	5,05	14,0	0,0

Nota: Los valores entre paréntesis debajo de los parámetros son sus desviaciones típicas. La estimación se llevó a cabo usando Mínimos Cuadrados Condicionados (MCC) y a continuación Backasting, con el programa BMDP2T.

Puntos importantes de este análisis son:

a) Estos modelos son muy provisionales, ya que todas las series $a1_t, \dots, a5_t$ muestran enormes anomalías en los años 1979 y 1980 que están afectando fuertemente a los resultados.

b) Todas las series parecen seguir una estructura muy similar. Estacionarias en primeras diferencias y con innovaciones ligeramente correladas. La interpretación del modelo es interesante. Tomemos como ejemplo el Keroseno:

$$\nabla \ln K_t = (1+0,51B) a2_t \quad [1]$$

Una primera interpretación directa es que la tasa de variación de este precio [recuérdese que

$$\nabla \ln k_t = \ln k_t - \ln k_{t-1} = \ln \left(\frac{K_t}{K_{t-1}} \right) \approx \frac{K_t - K_{t-1}}{K_{t-1}}$$

se compone de dos elementos:

$$\nabla \ln K_t = a2_t + 0,51 a2_{t-1} \quad [2]$$

de la influencia de la innovación contemporánea y de la mitad de la innovación del período anterior. Como las innovaciones pueden interpretarse en términos de error de predicción un período adelante, vemos cómo la formación de los cambios en los precios contiene un elemento $(0,51a2_{t-1})$ que indica un mecanismo de adaptación en función de los errores de predicción del período anterior solamente. Esto indica además que este proceso tiene una «memoria» muy corta con respecto

a las innovaciones (sólo un período), o lo que es lo mismo, este es un sistema con poca inercia.

Este tipo de estructura univariante coincide con la de muchos otros productos industriales en mercados internacionales (véase Stigler y Kindhal [1970]) y además señala otro rasgo importante de RM: que no puede considerarse un «mercado eficiente» en su versión estricta (3), ya que en este caso las series deberían ser paseo aleatorios puros sin correlación con las innovaciones (Fama [1970]) como es el caso en la mayoría de los precios de los mercados financieros (Cooper [1982]). (Véase no obstante nota 6).

El resto de los modelos para las otras series de precios admite una interpretación similar.

Otro aspecto interesante del cuadro número 1 es que se observa que es la serie del Gas Oil la de mayor volatilidad relativa (medida por su desviación típica residual), mientras que la serie con mayor componente estable es la del Fuel 3,5. Nótese que es precisamente la serie que refleja el precio del producto más importante (en términos de volumen) de los cinco, la que presenta una menor estabilidad relativa.

A continuación se presentan los Análisis de Intervención para cada una de las series, en el cuadro número 2. Se ha optado por esta vía debido a las grandes anomalías presentes en todas las series residuales $a1_t, \dots, a5_t$, principalmente en 1-2- 3/79, 5 - 6/79 y mediados de 1980. Esta situación hace evidente la necesidad de tratar estos problemas antes de efectuar cualquier análisis posterior (4).

Información de expertos en este mercado nos indicó que esas fechas correspondían con la suspensión de la producción de crudo en Irán (finales de 1978) debido a los problemas políticos de ese Estado. Esto causó una conmoción sobre los precios del mercado al aumentar la incertidumbre sobre el aprovechamiento de crudos de la zona del Golfo. Además, se nos indicó que el comienzo de la guerra

(3) El concepto de mercado eficiente que usaremos se expone en Jensen (1978) como sigue: «un mercado es eficiente respecto a un conjunto de información H si es imposible realizar beneficios económicos extraordinarios de forma sistemática negociando en el mismo basándose en la información contenida en H». Sin embargo, hay varias matizaciones de este concepto que utilizaremos en este trabajo. Así, dependiendo de la información que contenga H podemos distinguir tres tipos de situaciones:

a) Si H sólo contiene la historia pasada de los precios de ese mercado se dice que este es *débilmente* eficiente.

b) Si H contiene toda la información disponible *públicamente* en un determinado momento, se dice que el mercado es *semifuertemente* eficiente.

c) Si H contiene *toda* la información relevante sobre el mercado en un instante del tiempo, se dice que éste es *fuertemente* eficiente.

Nótese que nuestro estudio se concentra en un conjunto H básicamente del tipo a) y que a pesar de ello, es claro que no se cumple siquiera esta condición de eficiencia débil.

(4) Los problemas asociados a las perturbaciones que en las estructuras ARIMA univariantes inducen los datos atípicos, se tratan con cierta extensión en Liu (1979).

Iran-Irak se produjo a mediados de 1980. Ambos hechos causaron graves problemas de abastecimiento de crudos y temores crecientes de una grave repercusión sobre los precios de los crudos de estas dos situaciones políticas.

Después de varios intentos de modelización de estos efectos se llegaron a los modelos del cuadro número 2 (la estimación se realizó con MCC), donde las variables de intervención tienen la forma:

$$X_{2/79}^s = \begin{cases} 0 & t < 2/79 \\ 1,0 & t \geq 2/79 \end{cases}$$

$$X_{5/79}^p = \begin{cases} 0 & t \neq 5/79 \\ 1,0 & t = 5/79 \end{cases}$$

$$X_{1/79}^p = \begin{cases} 0 & t \neq 1/79 \\ 1,0 & t = 1/79 \end{cases}$$

$$X_{10/80}^p = \begin{cases} 0 & t \neq 10/80 \\ 1,0 & t = 10/80 \end{cases}$$

Es de interés señalar los siguientes puntos:

a) En las fechas cercanas a la suspensión de producción en Irán, todas las series sufrieron un brusco y abrupto cambio en su nivel medio, incrementándose éste en una proporción muy sustancial. Este incremento es del orden siguiente:

CUADRO NUMERO 2

	δ^2	$\delta \times 100$	Q(12)
$\ln P_t = 0,39 X_{2/79}^s + \frac{(0,10)}{\nabla} (1+0,44B) a_t$ (0,04) (0,03) (0,03)	0,002001	4,47	14,0
$\ln K_t = 0,034 X_{2/79}^s + \frac{(0,10)}{\nabla} (1+0,55B) a_t$ (0,03) (0,03) (0,03)	0,001662	4,08	9,0
$\ln G_t = 0,26 X_{1/79}^p + 0,69 X_{2/79}^s + \frac{(0,10)}{\nabla} (1+0,22B) a_t$ (0,05) (0,08) (0,04) (0,04)	0,003045	5,51	19,1
$\ln N_t = 0,13 X_{1/79}^p + 0,51 X_{2/79}^s + \frac{(0,10)}{\nabla} (1+0,38B) a_t$ (0,05) (0,08) (0,04) (0,04)	0,002741	5,23	7,5
$\ln F35_t = 0,13 X_{2/79}^s + \frac{(0,04)}{\nabla} (1+0,57B) a_t + 0,18 X_{10/80}^p$ (0,04) (0,03)	0,002362	4,86	21,0

Nota: No hay correlaciones mayores de $\pm 0,5$ entre los parámetros estimados.

SERIE PRECIO	Incremento global	Incremento porcentual sobre nivel anterior
Gasolina P	90 \$/TM	39
Gas Oil	120 \$/TM	70
Keroseno	75 \$/TM	34
Nafta	104 \$/TM	51
Fuel 3,5	35 \$/TM	13

Nótese de nuevo que es el precio del Gas Oil la serie que proporcionalmente sufre un mayor incremento, mientras que el Fuel 3,5 tiene un incremento muy inferior al resto de las otras cuatro. Un punto muy importante es que este cambio en el nivel medio de las series es *permanente*, es decir, que a partir de la crisis de la producción iraní el mercado se sitúa en un nuevo nivel medio, que permanece desde entonces.

b) Todas las series, excepto F35, tienen incrementos fuertes en 5-6/79, inmediatamente después de que Irán volviese a suministrar crudo. Sin embargo, esos incrementos son puramente transitorios, al no manifestarse nada más que durante esos dos meses sin que se detecten secuelas posteriores. Los expertos consultados indicaron que esta situación podía estar causada por la inseguridad de que la producción de crudo en Irán se mantuviese, como antes de la crisis de principios del 79. De hecho se esperaba una nueva supresión en el suministro de crudo iraní, que finalmente no se produjo. Esto puede indicar el carácter transitorio de esas expectativas que al no verse confirmadas dejaron de actuar.

c) Es interesante indicar que el inicio de la guerra Irán-Irak (fines del tercer trimestre de 1980) no tiene efectos claros sobre las series, de nuevo con la excepción de F35. La evolución del mercado en esas fechas y las inmediatamente siguientes no presenta ningún signo claro de anomalía y todos nuestros esfuerzos al intentar obtener variables de intervención significativas en esas fechas han dado resultados no concluyentes.

d) La inclusión de las variables de intervención no afecta de modo sustancial la estructura ARIMA de las series, lo cual es una prueba de robustez. Sin embargo, los correlogramas residuales presentan algún indicio de estructura (nótese los altos valores del estadístico Q) que no se ha podido captar de forma satisfactoria, lo cual lleva a suponer que puedan estar contaminadas por valores atípicos, como los que de hecho subsisten en la serie (véase Peña [1985]).

e) Otro punto interesante es que no se ha detectado estacionalidad relevante en las series residuales de los modelos de intervención. Este hecho está en contradicción con algunas opiniones de expertos que si postulan la existencia de estacionalidad en estos precios. Sin embargo, si ésta está presente, es tan débil que no se detecta con los métodos usuales; más bien los resultados parecen indicar que los almacenistas de RM llevan una política eficiente en la gestión de sus stocks.

4. ANALISIS MULTIVARIANTE

El siguiente paso del análisis consiste en construir un modelo ARIMA multivariante para las cinco series, con objeto de estudiar sus interdependencias dinámicas. Seguiremos el enfoque propuesto inicialmente en Quenouille (1957) y desarrollado en Tiao et al. (1979) y Tiao y Box (1981) (5).

Un primer problema detectado en el análisis múltiple de las series es que los episodios de 1979 y 1980 dominaban completamente las matrices de correlación cruzada y por tanto oscurecían la identificación de cualquier estructura de dependencia. La situación ideal sería poder construir un modelo ARIMA multivariante que incorporase este tipo de variables exógenas, tal y como se expone en Abraham (1980). Sin embargo, dificultades de computación nos han impedido emplear este enfoque, y por tanto utilizaremos un procedimiento que es aproximadamente equivalente al mencionado.

Construimos las nuevas series que serán objeto del análisis multivariante como las series originales, pero eliminando de ellas los efectos de 1979 y 1980 comentados anteriormente. Es decir, si los modelos de intervención pueden escribirse como:

$$\ln Z_t = \sum_i f_i(x_i, w_i) + N_t \quad [3]$$

donde x_i es la i -ésima variable de intervención y w_i es el vector de parámetros asociado a la misma.

Entonces:

$$N_t = \ln Z_t - \sum_i f_i(x_i, w_i) \quad [4]$$

y llamando

$$Z_t^* = N_t \quad [5]$$

tenemos la serie libre de anomalías exógenas.

A efectos ilustrativos únicamente, se estimó un modelo multivariante tipo SURE—Zellner (1962)— para las nuevas series corregidas (se utilizó MCC), con los resultados siguientes:

	$\hat{\sigma}_u^2$	$\hat{\sigma}_u \times 100$
$P_t^* = (1+0,28B) a^* 1_t$ (0,07)	0,00195	4,41
$K_t^* = (1+0,52B) a^* 2_t$ (0,07)	0,00158	3,98
$G_t^* = (1+0,106B) a^* 3_t$ (0,07)	0,00294	5,42
$N_t^* = (1+0,21B) a^* 4_t$ (0,07)	0,00269	5,18
$F35_t^* = (1+0,35B) a^* 5_t$ (0,07)	0,00231	4,80

(5) Nótese que los datos son agregados mensuales de datos diarios y por tanto, la hipótesis de eficiencia sólo se refiere a los datos mensuales. Sin embargo, a nivel diario sí puede tratarse de un

Matriz de correlación de los Residuos.

1,0
0,57 1,0
0,66 0,6 1,0
0,74 0,62 0,64 1,0
0,21 0,11 0,31 0,11 1,0

Hay varios puntos de interés:

a) Como es esperable, hay una alta correlación contemporánea entre las series (más débil en el caso de $F35_t$), que al ser tenida en cuenta, aumenta la eficiencia de la estimación y mejora el ajuste de los modelos.

b) Todos los parámetros MA disminuyen de valor e incluso el correspondiente a la serie G_t^* se hace no significativo al nivel usual de contraste ($\alpha = 0,05$).

A continuación se construyó un modelo ARIMA multivariante, tras seguir los habituales pasos de identificación, estimación y contrastes diagnósticos. El modelo que se presenta aquí necesitó de cuatro ciclos de los anteriormente mencionados hasta alcanzar una forma que consideramos que representa razonablemente el funcionamiento del sistema (6).

Nótese que este modelo no incluye la serie F^*35 , ya que a lo largo del proceso de modelización se puso de manifiesto la falta de homogeneidad de su comportamiento con respecto a las otras cuatro.

El modelo es (se utilizó MCC)

$$\begin{bmatrix} P_t^* \\ K_t^* \\ G_t^* \\ N_t^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1+0,26B) & & & & \\ (0,07) & & & & \\ & (1+0,32B) & & & \\ & (0,08) & & & \\ & & (1-0,29B^3) & & \\ & & (0,07) & & \\ & & & 0,32B^4 & \\ & & & (0,08) & \\ & & & & -0,19B^3 & \\ & & & & (0,07) & \\ & & & & & (1+0,22B) & \\ & & & & & (0,07) & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a P_t \\ a K_t \\ a G_t \\ a N_t \end{bmatrix}$$

que en forma expandida es:

mercado eficiente, ya que la agregación de paseos aleatorios da como resultado procesos IMA con parámetro media móvil de valor límite $-0,268$ (véase Tiao [1972] y Stram y Wei [1985]). Los valores obtenidos para los modelos univariantes y del análisis de Intervención de los parámetros de media móvil (cuadros 1 y 2) están cerca de ese valor límite, aunque la presencia de datos anómalos no tratados (véanse tablas 3 y 4) puede sesgar la estimación de los correspondientes coeficientes.

(6) El procedimiento de análisis se llevó a cabo con el programa MTS desarrollado por Tiao et al. (1979). En primer lugar, se analizaron las series sin diferenciar y se estimaron varios modelos que señalaron claramente la necesidad de diferenciar los datos. Se construyeron diversos modelos que fueron mejorando mediante el análisis de los residuos, hasta llegar al modelo «final» que aquí se expone.

	$\hat{\sigma}_a \times 100$
$P_t^* = (1+0,26B) a P_t - 0,18 a G_{t-3}$	4,28
$K_t^* = (1+0,32B) a K_t + 0,25 a G_{t-1}$	3,78
$G_t^* = (1-0,29B^3) a G_t$	5,22
$N_t^* = (1+0,22B) a N_t + 0,32 a K_{t-4} - 0,19 a G_{t-3}$	4,81

Matriz de Covarianza Residual.

$a P_t$	0,001839			
$a K_t$	0,000948	0,001434		
$a G_t$	0,001386	0,001261	0,002727	
$a N_t$	0,001527	0,001116	0,001508	0,002316

Matriz de Correlación Residual.

	$a P$	$a K$	$a G$	$a N$
$a P_t$	1,0			
$a K_t$	0,58	1,0		
$a G_t$	0,62	0,64	1,0	
$a N_t$	0,74	0,61	0,60	1,0

La situación de la estimación está bien definida en el sentido de que no hay ninguna correlación entre los parámetros estimados superior a 0,5.

Resumen de las matrices de correlaciones cruzadas los residuos usando +, -, ·, donde

- + indica un valor mayor que $2/\sqrt{97}$.
- indica un valor menor que $-2/\sqrt{97}$.
- indica un valor no significativo según los criterios anteriores (se muestran 24 retardos).

Los resultados no señalan claramente que el modelo esté mal especificado.

	$a P_t$	$a K_t$	$a G_t$	$a N_t$
$a P_t$	.....	.....	.....+	.....
$a K_t$	.....	.....+	.....	.....
$a G_t$	..+....	.....	.....	.....
$a N_t$	.....	.....+	.....+	.....

Nótese que el modelo 7 revela cómo todas las series dependen de las innovaciones del Gas Oil, que actúa como precio líder. Al ser un sistema sin realimentación, puede escribirse como un conjunto de funciones de transferencia —véase Tiao et. al (1979)— de la forma siguiente (la derivación de estas estructuras está en el apéndice 1).

$$P_t^* = \frac{0,51 + 0,13 B - 0,17 B^3}{(1-0,29B^3)} G_t^* + (1+0,26B) e1_t \quad [8]$$

$$K_t^* = \frac{0,46 + 0,40 B}{(1-0,29B^3)} G_t^* + (1+0,32) e2_t \quad [9]$$

$$G_t^* = (1-0,29B^3) a G_t \quad [10]$$

$$N_t^* = \frac{0,49 + 0,14 B + 0,32 B^4}{1 + 0,33 B} K_t^* + \frac{0,33 - 0,07 B - 0,03 B^2 - 0,19 B^3 - 0,06 B^4 - 0,08 B^5}{1 + 0,33 B - 0,29 B^3 + 0,09 B^4} G_t^* + (1+0,22B)eN_t \quad [11]$$

Las ganancias de las funciones de transferencia son:

Ecuación	$\hat{g}(G^*)$	$\hat{g}(K^*)$	Porcentaje sobre el total de \hat{g} en dos meses
[8]	0,66	—	90
[9]	1,21	—	70
[11]	-0,10	0,69	80

La interpretación de los modelos es como sigue:

a) *Relación P_t^*, G_t^* .* La serie G_t^* actúa como indicador adelantado de los cambios en P_t^* . El efecto final (elasticidad) de un cambio de un 1 por 100 en el precio G_t^* , produce un cambio final de 0,6 por 100 en el precio de P_t^* , después de unos efectos dinámicos complejos. Sin embargo, la mayor parte de este efecto se ocasiona en uno o dos meses como máximo después del cambio en G_t^* .

b) *Relación K_t^*, G_t^* .* Es de la misma naturaleza que en el caso anterior, pero el efecto final es mucho más fuerte, prácticamente el doble (elasticidad 1,21). La respuesta es algo más lenta que en el caso anterior, pero sin embargo, la mayor parte de los efectos se concentran en los meses cercanos al cambio en G_t^* .

c) *Estructura de G_t^** esta serie no parece venir influida por ninguna de las otras tres y su estructura básica es la de un paseo aleatorio, con un ligero efecto trimestral en sus innovaciones.

d) *Relación N_t^*, K_t^*, G_t^* .* Es esta una relación extremadamente compleja. Sin embargo, parece que K_t^* y G_t^* actúan como indicadores adelantados de N_t^* . Sin embargo, mientras que la relación entre K_t^* y N_t^* está bien definida y la ganancia da un resultado razonable; la función de transferencia de G_t^* aparece como excesivamente compleja y no es muy fiable el valor de su ganancia. No obstante nótese que estamos tratando con meras aproximaciones (7).

(7) Para interpretación de estas ecuaciones y representaciones alternativas, véase Zellner y Palm (1974).

Como es natural, la utilización de la correlación instantánea que aquí se hace es únicamente a efectos ilustrativos y no implica que la «causalidad» instantánea pueda, de modo estricto, ser referida a una relación concreta.

5. ALGUNAS CONCLUSIONES

En este trabajo se han expuesto los rasgos más importantes del mercado de Rotterdam. Estos rasgos se han ilustrado mediante el análisis de algunas series temporales relevantes del mismo. Algunas conclusiones son:

a) Todas las series analizadas muestran un comportamiento no estacionario en niveles y estacionario en primeras diferencias. El modelo ARIMA es el mismo para todas ellas; ARIMA (0,1,1), con un coeficiente MA reducido (<0,6) en todos los casos. Esta estructura sugiere procesos de memoria corta y relativamente volátiles, como podría esperarse de un mercado como éste (marginal, internacional, libre).

b) Los efectos externos de índole política parecen influir fuertemente en el comportamiento de las series y, por tanto, del mercado, tal como indican los Análisis de Intervención realizados. Especialmente interesante es el efecto «escalón» que sobre los precios tienen las medidas políticas de Irán. Sin embargo, los modelos ARIMA se ven poco afectados cuando se incluyen estos efectos, sugiriendo que la estructura habitual de comportamiento no se ha visto afectada, una vez que las expectativas se han adaptado a la nueva situación de oferta.

c) El modelo multivariante señala al precio del Gas Oil como indicador adelantado del resto, excepto el Fuel 3,5 que sigue una pauta aparte de los otros cuatro productos. Este resultado no es muy sorprendente ya que el Gas Oil es, con mucho, el producto más importante negociado en RM. La estructura del modelo multivariante da lugar a un conjunto de funciones de transferencia, que revelan la compleja interdependencia dinámica de las series. Los modelos construidos muestran cómo es posible predecir estos precios con unos errores esperables (un período adelante) del orden del 5 por 100 (sobre el nivel medio de la serie); siendo el precio menos predecible (el más «volátil») el correspondiente al producto líder: el Gas Oil.

Una extensión inmediata de este trabajo es incluir en el modelo el precio de los crudos más relevantes (en particular, el Arabian Light, crudo básico de referencia). Otra extensión es incluir las cantidades de los productos negociados y formar un sistema de relación precios-cantidades. Finalmente, un paso más sería el relacionar este modelo con los de otros mercados europeos de importancia (Italia en particular).

TABLA NUMERO 1
NOTACION

$$B Z_t = Z_{t-1}$$

$$\nabla = (1-B)$$

$$\nabla^S = (1-B)^S$$

$$\nabla_d = (1-B^d)$$

$$\hat{\sigma}_a^2 = \text{Varianza Residual Estimada.}$$

$$Q(n) = \text{Box-Pierce-Ljung Statistic.}$$

$$a_t \sim \text{iid } N(0, \sigma_a^2) \text{ (Ruido Blanco).}$$

$$\phi_p(B) \nabla^d Z_t = \theta_q(B) \text{ ARIMA } (p, d, q) \text{ model (univariate).}$$

$$\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p$$

$$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q$$

$$\underline{\phi}_p(B) \underline{Z}_t = \underline{\theta}_q(B) \underline{a}_t \text{ ARMA } (p, q) \text{ model (multivariate).}$$

$$\underline{Z}_t = [Z_{1t}, Z_{2t}, \dots, Z_{kt}]$$

$$\underline{\phi}_p(B) = \underline{I} - \underline{\phi}_1 B - \dots - \underline{\phi}_p(B) \quad \underline{\phi}_l = \{\phi_{ij}^l\}$$

$$\underline{\theta}_q(B) = \underline{I} - \underline{\theta}_1 B - \dots - \underline{\theta}_q(B) \quad \underline{\theta}_l = \{\theta_{ij}^l\}$$

$$\underline{a}_t' = [a_{1t}, a_{2t}, \dots, a_{kt}]$$

$$a_t \sim \text{iid } N(0, \underline{\Sigma}) \quad \underline{\Sigma} = \sigma_{ij}$$

$$l = 1, \dots, p \\ i = 1, \dots, k \\ j = 1, \dots, k$$

$$i = 1, \dots, k \\ j = 1, \dots, k$$

ABREVIACIONES

ln = Natural Log.

P_t = Precio de Gasolina Premium.

K_t = Precio Jet-Keroseno.

G_t = Precio de Gas Oil.

N_t = Precio de Nafta.

F35_t = Precio de Fuel-Oil 3,5 por 100.

TABLA NUMERO 2

	DATOS ORIGINALES 1/75-2/83 (\$/TM)			DATOS EN LOGS		
	Media	Varianza	St. Dev.	Media	Varianza	St. Dev.
P_t	241,19	11.686,20	108,10	5,38	0,21530	0,461
∇P_t	0,01	318,20	17,83	0,00	0,00446	0,067
K_t	220,57	12.266,50	110,75	5,26	0,27310	0,523
∇K_t	0,03	288,61	16,98	0,00	0,00504	0,071
G_t	196,18	9.599,60	97,97	5,14	0,27030	0,521
∇G_t	0,01	304,93	17,46	0,00	0,00597	0,077
N_t	212,38	9.628,4	98,12	5,24	0,22940	0,483
∇N_t	0,04	280,54	16,75	0,00	0,00475	0,069
$F35_t$	112,23	2.553,00	50,52	4,62	0,19620	0,442
$\nabla F35_t$	0,00	71,22	8,44	0,00	0,00419	0,065

A continuación se presentan los principales residuos anómalos de los modelos de intervención, en unidades de desviación típica residual. Al no hallarse ninguna explicación clara para los mismos se ha optado por no modificarlos.

TABLA NUMERO 3
RESIDUOS ATÍPICOS (EN UNIDADES DE DESVIACION TIPICA)
MODELOS DE INTERVENCION

GASOLINA		KEROSENO		GAS-OIL		NAFTA		FUEL 3,5	
7/75	-2,2	2/80	-2,2	6/75	2,2	3/75	2,1	1/76	2,1
8/78	2,7	7/81	2,3	8/75	2,3	11/75	2,4	11/78	2,2
8/80	-2,0	3/82	-3,1	8/80	-2,6	8/80	2,1	10/80	3,5
8/81	-2,4	2/83	-2,0	2/82	-2,2	11/80	2,2		
2/83	-2,0			2/83	-2,2				

En la Tabla número 4 se presentan los principales residuos anómalos del modelo multivariante final. Nótese la similitud de los resultados con la Tabla número 3.

TABLA NUMERO 4
RESIDUOS ATÍPICOS (EN UNIDADES DE DESVIACION TIPICA)
MODELO MULTIVARIANTE

GASOLINA		KEROSENO		GAS-OIL		NAFTA	
7/75	-2,1	2/80	-2,1	6/75	2,1	3/75	2,0
8/78	2,8	7/81	2,2	8/75	2,2	11/75	2,5
8/81	-2,5	3/82	-2,8	8/80	-2,5	8/80	2,1
2/83	-2,4	2/83	-2,1	2/82	-2,0	11/80	
				2/83	-2,5		

Para ilustrar las mejoras de ajuste obtenidas en las distintas etapas de la modelización, véase la Tabla número 5. En particular, nótese el no pequeño efecto de mejora en términos de varianza residual, obtenido por la modelización conjunta de las series. Sin embargo, la mejora más espectacular se obtiene mediante el análisis de intervención.

TABLA NUMERO 5

	Varianza serie estacionaria (SE)	Varianza residual ARIMA	Porcentaje mejora sobre SE	Varianza residual AI	Porcentaje mejora sobre ARIMA	Varianza residual SURE	Porcentaje mejora sobre AI	Varianza residual modelo final múltiple	Porcentaje mejora sobre SURE	Porcentaje mejora sobre AI
P_t	0,00446	0,003897	12,6	0,002001	48,0	0,00195	2,5	0,001839	5,7	8,1
K_t	0,00504	0,003424	32,0	0,001662	51,0	0,00158	4,9	0,001434	9,2	13,7
G_t	0,00597	0,005266	11,8	0,003045	42,1	0,00294	3,4	0,002727	7,2	10,4
N_t	0,00475	0,004107	13,5	0,002741	39,1	0,00269	1,9	0,002316	13,9	14,7
F35	0,00419	0,002553	39,1	0,002362	7,1	0,00231	2,2			

APENDICE 1

OBTENCION DE LAS FORMAS F. T. A PARTIR DEL MODELO ARIMA MULTIPLE

ECUACION [8]:

$$\begin{aligned} P_t^* &= (1+0,26B) a P_t - 0,18 a G_{t-3} \\ G_t^* &= (1+0,29B^3) a G_t \\ a P_t &= \beta_1 a G_t + e_1 t \quad \hat{\beta}_1 = 0,51 \\ P_t^* &= (1+0,26B) \left(0,51 \frac{G_t^*}{(1-0,29B^3)} + e_1^t \right) - \frac{0,18 G_{t-3}^*}{(1-0,29B^3)} \\ P_t^* &= \frac{0,51 + 0,13 B - 0,18 B^3}{1 - 0,29 B^3} G_t^* + (1-0,26B) e_1 t \end{aligned}$$

ECUACION [9]:

$$\begin{aligned} K_t^* &= (1+0,32B) a K_t + 0,25 a G_{t-1} \\ G_t^* &= (1-0,29B^3) a G_t \\ a K_t &= \beta_2 a G_t + e_2 t \quad \hat{\beta}_2 = 0,46 \\ K_t^* &= (1+0,32B) \left[0,46 \frac{G_t^*}{1 - 0,29 B^3} + e_2 t \right] + \frac{0,25 G_{t-1}^*}{1 - 0,29 B^3} \\ K_t^* &= \frac{0,46 + 0,40 B}{1 - 0,29 B^3} G_t^* + (1+0,32) e_2 t \end{aligned}$$

ECUACION [11]:

$$\begin{aligned} N_t^* &= (1+0,22B) a N_t + 0,32 a K_{t-4} - 0,19 a G_{t-3} \\ a N_t &= \alpha_1 a K_t + \alpha_2 a G_t + e_3 t \quad \hat{\alpha}_1 = 0,49 \quad \hat{\alpha}_2 = 0,33 \\ N_t^* &= (1+0,22B) \left(0,49 \frac{K_t^*}{1 + 0,33 B} - \frac{0,25 G_{t-1}^*}{(1-0,29B^3)(1+0,33B)} + \frac{0,33 G_t^*}{1 - 0,29 B^3} + e_3 t \right) + \\ &+ \frac{0,32 K_{t-4}^*}{1 + 0,33 B} - \frac{0,25 G_{t-5}^*}{(1+0,33B)(1-0,29B^3)} - \frac{0,19 G_{t-3}^*}{(1-0,29B^3)} \end{aligned}$$

despejando se obtiene:

$$\begin{aligned} N_t^* &= \frac{0,49 + 0,11 B + 0,32 B^4}{1 + 0,33 B} K_t^* + \\ &+ \frac{0,33 - 0,07 B - 0,03 B^2 - 0,19 B^3 - 0,06 B^4 - 0,08 B^5}{(1+0,33B)(1-0,29B^3)} G_t^* + (1+0,22B) e_3 t \end{aligned}$$

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abraham, B. (1980): «Intervention Analysis and Multiple Time Series», *Biometrika*, 67, 1, págs. 73-78.
- Borrell, J. (1978): «Notas sobre la Estructura del Refino en España», *ICE* núm. 542, págs. 31-42.
- y Gafo, I. (1978): «El monopolio de petróleos y los precios de los productos petrolíferos», *ICE* número 542, págs. 15-31.
- Box, G. E. P., y Tiao, G. (1975): «Intervention Analysis with Applications to Economic and Environmental problems», *JASA*, 70, págs. 70-79.
- y Jenkins, G. M. (1976): *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Holden-Day.
- Granger, C. N. J., y Newbold, P. (1977): *Forecasting Economic Time Series*, Academic Press.
- Liu, L. M. (1979): «Analysis of Time Series with Calendar effects», *Tech. Repport* núm. 49, HSCF. UCLA.
- Maravall, A. (1983): «Sobre la volatilidad relativa de las series temporales», *Working Paper*, Banco de España.
- Quenouille, M. H. (1957): *The Analysis of Multiple Time*, Series. London, Griffin.
- Tiao, G. C.; Box, G. E. P.; Grupe, M. R.; Hudak, G. B.; Bell, W. R., y Chang, I. (1979). The WMTS-1 Program: A Preliminary Guide. Dept. of Statistics, University of Wisconsin-Madison.
- y Box, G.E.P. (1981): «Modeling Multiple Time Series with Applications», *JASA*, 76, páginas 802-816.
- Zellner, A. (1962): «An efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and a Test for Aggregation Bias», *JASA*, 57, págs. 348-368.
- Cooper, J. (1982): «World Stock Markets: Some Random Walk Test», *Applied Economics*, 14, páginas 515-31.
- Jensen, M. (1978): «Some Anomalous Evidence Regarding Market Efficiency», *Jour of Finance Ec.*, 6, páginas 95-101.
- Fama, E. (1970): «Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work», *Jour of Finance* 35, págs. 383-417.
- Stigler, M., y Kindhal, G. (1970): *The Behavior of Industrial Prices*, NBER, New York.
- Peña, J. I. (1985): «The Rotterdam oil Market; A Multiple Time Series Approach», Presentado a XVII meeting of Applied Econometrics Associations. Zaragoza.
- Zellner, A., y Palm, F. (1974): «Time Series Analysis and Simultaneous Equation Econometric Models», *Journal of Econometrics*, Z, págs. 17-54.
- Tiao, G. C. (1972): Asymptotic behaviour of temporal aggregates of time series, *Biometrika*, 59, páginas 525-531.
- Stram, D., y Wei, W. (1985): «Temporal aggregation in the ARIMA process», *Working Paper*, Harvard University.