

TRABAJO DE INVESTIGACION PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN ECONOMIA
CENTRO DE ESTUDIOS ECONOMICOS
EL COLEGIO DE MEXICO

Un análisis empírico del
programa ambiental
"Hoy no circula"

JOSE LUIS GUTIERREZ PONCE

PROMOCION 1992-1994

Enero, 1995.

ASESOR: Dr. Carlos Manuel Urzúa Macías

A mis Padres.

A mis hermanos.

A mis abuelos, tíos y primos.

A mis amigos y compañeros.

***A mi asesor
Dr. Carlos M. Urzúa Macías.***

***Al coordinador de la maestría
Dr. Jorge Fernández Ruíz.***

A El Colegio de México.

RESUMEN

En este trabajo se analizan los alcances y limitaciones del Programa Ambiental “Hoy No Circula” así como su influencia sobre los mercados de gasolina y de automóviles en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. A partir de la relación que guardan estos tres fenómenos, se realizó un análisis econométrico para la evaluación del programa. La evaluación consistió en introducir variables dicotómicas a un vector autorregresivo para analizar la efectividad del programa ambiental en estos mercados. Nuestros resultados econométricos fundamentales muestran que el programa tuvo efecto sólo en el mercado de gasolinas y exclusivamente durante su vigencia temporal.

ÍNDICE

	Tema	Página
	Introducción	1
1	La Contaminación	3
2	Las Soluciones	5
2.1	El Programa "Hoy No Circula"	6
3	El Parque Vehicular	9
3.1	Las Ventas de Automóviles	9
4	Metodología	14
4.1	Análisis Estadístico de los Datos	16
4.2	Transformaciones	22
4.3	Raíces Unitarias	26
4.4	Procesos ARIMA	28
4.4.1	Criterios de Selección	29
4.4.2	Ajustes	33
4.5	Causalidad	34
4.6	Vectores Autorregresivos	36
4.6.1	Criterios de Selección	40
4.6.2	Otros Modelos	42
5	El Modelo	44
5.1	Un Vector Autorregresivo	44
5.2	Variables Exógenas	47
5.2.1	Las Variables de Intervención	48
5.3	Evaluación del Verano	51
5.4	El Pacto en el Corto Plazo	53
5.5	Determinación del Modelo	56
5.6	Impulsos	56
5.6.1	Análisis de los impulsos	59
6	Conclusiones	64

7	Apéndices	71
	A Los Contaminantes	71
	B El Convertidor Catalítico	77
	C Gráficos de las Funciones de Autocorrelación y Autocorrelación	83
	D Parámetros de los Modelos Estimados	91
	D1 Parámetros de los Modelos ARIMA	91
	D2 Parámetros del Modelo VAR-1	92
	D3 Parámetros del Modelo VAR-2	93
	D4 Parámetros del Modelo VAR-3	94
	D5 Parámetros del Modelo VAR-4	95
	D6 Parámetros del Modelo VAR-5	96
	E Gráficos de las Series Diferenciadas	98
8	Bibliografía	101

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico	Página
1 Ventas mensuales de automóviles a nivel nacional	10
2 Ventas de vehículos en la ZMCM y el resto del país	11
3 Precio del automóvil relativo al precio de 1980	12
4 Consumo de gasolina en la ZMCM	13
5 Índices de precios y precio deflactado de los automóviles	16
6 PIB Trimestral e índice del volumen de la producción industrial	17
7 Tasa inflacionaria en la Ciudad de México	18
8 Tasa de interés nominal anualizada Cetes a 28 días	19
9 Tasa de interés real anualizada	20
10 Precios nominales de la gasolina	21
11 Precio real de la gasolina	22
12 Consumo de gasolina en la Zona Metropolitana del Distrito Federal. Estimaciones con modelos ARIMA.	33
13 Precio del automóvil en la Zona Metropolitana del Distrito Federal. Estimaciones con modelos ARIMA.	34
14 Consumo de gasolina en la Zona Metropolitana del Distrito Federal. Estimaciones con modelos ARIMA y VAR-1	46

15 Precio del automóvil en la Zona Metropolitana del Distrito Federal. Estimaciones con modelos ARIMA. y VAR-1	47
16 Consumo de gasolina en la Zona Metropolitana del Distrito Federal. Estimaciones con modelos VAR 1 y 2	50
17 Precio del automóvil en la Zona Metropolitana del Distrito Federal. Estimaciones con modelos VAR 1 y 2	50
18 Consumo de gasolina en la Zona Metropolitana del Distrito Federal. Estimaciones con modelos VAR 2 y 3	52
19 Precio del automóvil en la Zona Metropolitana del Distrito Federal. Estimaciones con modelos VAR 2 y 3	53
20 Consumo de gasolina en la Zona Metropolitana del Distrito Federal. Estimaciones con modelos VAR 3 y 4	54
21 Precio del automóvil en la Zona Metropolitana del Distrito Federal. Estimaciones con modelos VAR 3 y 4	55
22 Respuesta de la tasa de crecimiento del precio del automóvil a un choque exógeno	60
23 Respuesta de la tasa de crecimiento del consumo de gasolina a un choque exógeno en el precio del automóvil	61
24 Respuesta de la tasa de crecimiento del consumo de gasolina a un choque exógeno	62
25 Respuesta de la tasa de crecimiento del precio del automóvil a un choque exógeno en el consumo de gasolina	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Notación	23
2 Resultados de la prueba de raíces unitarias de Dickey-Fuller	27
3 Resultados de las pruebas de causalidad de Granger	35

INTRODUCCION.

La contaminación ambiental es un problema que afecta la salud y, por lo tanto, la vida cotidiana de la Ciudad de México. Alrededor del 70% de las emisiones de contaminantes que existen en la atmósfera del D.F. provienen de vehículos con motor a gasolina, una situación grave en términos sociales que llevó, desde hace algunos años, a la necesidad de instrumentar acciones tendientes a solucionar el problema de la contaminación. Dentro de la estrategia para disminuir la presencia de contaminantes, destaca el Programa Ambiental "Hoy No Circula", que dispone el descanso obligatorio del parque vehicular un día a la semana para contribuir a la solución de este problema.

El impacto de este programa como estrategia de combate a la contaminación exige de nuevas evaluaciones. Las cuales a su vez requieren establecer qué relación existe entre esta medida y el desarrollo de la demanda de gasolina; y cuál es la relación entre el mercado de gasolina y el mercado de automóviles.

En virtud de ello, este trabajo realiza una evaluación econométrica de la relación entre estas dos variables económicas y se enriquece con la introducción de variables exógenas a ellas. Asimismo, se introducen variables dicotómicas

con duraciones distintas para evaluar los efectos que ha tenido el Programa en el corto o mediano plazo y su significado actual.

Con este propósito en mente, se aborda en la primera sección del trabajo, el problema de la contaminación, sus componentes y los daños que causan. En la segunda parte, se mencionan de manera sucinta, las medidas que se han tomado para solucionar dicho problema. El tercer apartado se dedica al comportamiento del parque vehicular y las ventas de automóviles. El capítulo cuarto se ocupan del tratamiento estadístico de los datos para, en función de ello, en el capítulo quinto construir un modelo y evaluar sus bondades. El sexto apartado se dedica a analizar las reacciones que los choques exógenos provocan en las variables del sistema. Una última sección recoge las conclusiones fundamentales que se desprenden de todo el trabajo.

1. LA CONTAMINACION.

La contaminación atmosférica es producto principalmente de los procesos de combustión en los que la fuente de energía son combustibles fósiles. La industria, los vehículos y los establecimientos de servicios, en conjunto, producen alrededor del 90% de las emisiones de contaminantes hacia la atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM)¹. De ahí que la emisión de contaminantes se encuentre relacionada con el consumo de energía de las actividades productivas y otras relacionadas como el transporte.

La ZMCM produce alrededor del 50% del producto interno bruto del país. Esto supone un consumo muy alto de energía y, por ende, una elevada emisión de contaminantes. Desde este punto de vista, el problema de la contaminación se resolvería con la descentralización de la economía, pero involucraría costos muy elevados en el corto plazo tanto para el gobierno como para la industria y los particulares.

Desde la perspectiva inter-temporal, a pesar de ser elevados los costos de la descentralización resultarían menores que los que implica continuar brindando servicios a una población en constante crecimiento, pues los costos marginales son crecientes, sin dejar de considerar que al continuar subsidiando

¹La Zona Metropolitana de la Ciudad de México comprende al Distrito Federal y los diecisiete municipios conurbados del Estado de México.

servicios, se estimula aún más la expansión de los asentamientos dado que el precio por vivir en esta Ciudad resulta más barato de lo que en realidad cuesta.

Las emisiones de contaminantes realizadas por vehículos representan el 76% del total emitido a la atmósfera de la ZMCM². Estos contaminantes son principalmente bióxido de carbono, óxidos nitrosos, óxidos plúmbicos e hidrocarburos residuales de una combustión no exhaustiva. La industria y el sector servicios por su parte generan partículas y óxidos sulfurosos, además de la contaminación que ocasionan en los ríos por desechos no tratados. Para una profundización en el tema de los contaminantes diríjase al apéndice A.

² Según el Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México el transporte público concesionado emite el 24% de las emisiones vehiculares, el sistema Ruta 100 emite el 1%, los camiones de carga a gasolina el 24% y los camiones de carga a diesel el 2%, aunque la contribución en partículas y bióxido de azufre de los camiones es sumamente importante.

2. LAS SOLUCIONES.

La contaminación del aire es un mal que se considera como una externalidad sobre consumidores y productores. Para controlarla se han venido realizando ciertas acciones y estrategias tendientes a solventar esta problemática. Entre ellas destacan las siguientes:

Para disminuir la cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera se han tomado varias medidas, que van desde el control de los procesos de combustión en los automóviles y la industria por medio de normas de calidad en las emisiones y la reducción de la capacidad contaminante de los combustibles, hasta la restricción del uso de los automóviles un día a la semana y la suspensión de la actividad industrial.

Para controlar la cantidad de plomo se realizó la sustitución de las gasolinas con plomo. A partir de septiembre de 1989 se introdujo al mercado la gasolina sin plomo en lugar de la gasolina *Extra* que no era muy comercial. Esta ha sido denominada *Magna Sin* la cual es, por razones técnicas, exigida por automóviles modelo 1991 en adelante con convertidor catalítico. Esta gasolina tiene un contenido de plomo casi nulo, 0.01g/gal, mientras que la *Nova Plus* contiene de 0.5 a 1 ml/gal de tetraetilo de plomo. La demanda de esta última ha ido disminuyendo paulatinamente pues la *Magna Sin* es indispensable para modelos recientes. Una medida más adoptada hacia finales de 1993 es la

elaboración del *Diesel Sin* que tiene el objetivo de disminuir las emisiones de compuestos sulfurados.

Para disminuir los niveles de contaminación y controlar las cantidades de monóxido de carbono y óxidos nitrosos, en enero de 1989, se instaló el sistema de verificación de automóviles. Este sistema tiene el objetivo de supervisar que los automóviles se encuentre dentro de una norma establecida en cuanto a emisión de contaminantes arrojados hacia el ambiente. Una medida más fue la adopción del programa “Hoy No Circula”.

La última medida tomada para los automóviles es la inclusión de convertidores catalíticos para disminuir la concentración de contaminantes emitidos en los gases de combustión. Para profundizar en este tema refiérase al apéndice B.

En algunos otros países, europeos por lo general, se han implementado políticas impositivas en las que aquellos ciudadanos que posean automóviles que excedan una edad determinada deben pagar un impuesto. Ello ha dado resultados importantes en materia de prevención de la ciudadanía en cuanto a contaminación.

2.1. EL PROGRAMA “HOY NO CIRCULA”

Durante la temporada invernal, las concentraciones de contaminantes alcanzan sus niveles más elevados por las bajas temperaturas y las inversiones térmicas.

Por esta razón en noviembre de 1988 el Departamento del Distrito Federal realizó una campaña de convencimiento para que los ciudadanos desistieran voluntariamente de utilizar su automóvil un día a la semana y así disminuir la cantidad de emisiones tóxicas. Este programa no tuvo el efecto deseado porque los automovilistas siempre esperaron que el problema lo solucionara la participación de los demás y no la propia, considerando que ellos podían excluirse de participar en el programa sin afectar marginalmente los resultados. Como consecuencia se presentó el comportamiento del “polizón”³.

El 20 de noviembre de 1989 el Departamento del Distrito Federal implementó el programa “Hoy No Circula”⁴. Este programa ha consistido en prohibir la circulación de los automóviles un día a la semana de manera temporal. El programa tendría duración hasta febrero de 1990 y su objetivo central fue el de disminuir la contaminación en un monto más que proporcional al de los autos que no circulan, por un doble efecto: la no emisión de los automóviles que dejan de circular y, con dicha reducción en el parque vehicular, se agilizaría el tránsito disminuyendo los congestionamientos y aumentando la velocidad media de circulación.

Para adaptarse a estas nuevas condiciones, los ciudadanos capitalinos se organizaron vecinalmente para trasladarse de manera conjunta, ya fuera a la

³ El problema del polizón es comúnmente conocido en inglés como el “Free-Rider”.

⁴ La implementación del programa “Hoy No Circula” se publicó en el Diario Oficial de la Federación con fecha 8 de noviembre de 1989.

escuela o al trabajo, así utilizarían y harían un mayor uso del transporte público, bajo el considerando de que esta contingencia era temporal, lo cual llevó en su primera etapa a una disminución inmediata del parque vehicular en circulación. Al analizar los resultados inmediatos del programa se pensó que eran buenos y podrían extrapolarse a largo plazo. Fue entonces que se decidió renovar el programa “Hoy No Circula” con carácter permanente el 1° de marzo de 1990.

Al conocerse que el programa era permanente, los individuos cambiaron su actitud para, de acuerdo a sus posibilidades económicas, mantenerse en una situación semejante a la que prevalecía antes de la implementación del programa. En algunos casos, ello se tradujo en la compra de un automóvil más, para su utilización el día en que el auto principal no circulaba. Ello consecuentó, en el mediano plazo, que la cantidad de automóviles en circulación aumentara en términos absolutos al igualarse con la existente antes de el programa. Es decir, a diferencia de la actitud adoptada cuando el programa era emergente y transitorio, los individuos desplazaron sus curvas de demanda, las cuales se ajustaron a un nuevo nivel de equilibrio.

3. EL PARQUE VEHICULAR.

En la ZMCM el parque vehicular tenía un comportamiento constante hasta 1990, año en que empezó a presentar una tendencia creciente. Mientras en 1987 la proporción de automóviles registrados en la Ciudad de México del total registrado en el país era del 19.9%, y en 1989 tenía una participación del 18.8%, para 1991 ya alcanzaba una participación del 22.8%.

La participación de los automóviles respecto al total del parque vehicular en el D.F. se ha mantenido alrededor del 90%, mientras que en el resto del país esta proporción es del 70%. Mientras en 1987 el 25.5% de los automóviles particulares se hallaban registrados en la capital y en 1989 el 24.5%, para 1991 ya eran el 30.2%.

De acuerdo a información del INEGI (1994) la tasa de crecimiento del parque vehicular en el Distrito Federal se incrementó a partir de 1990 a valores entre un 15 y 22%, mientras que en los años inmediatos anteriores estuvo por debajo del 10%, reflejando los resultados de los datos mencionados anteriormente.

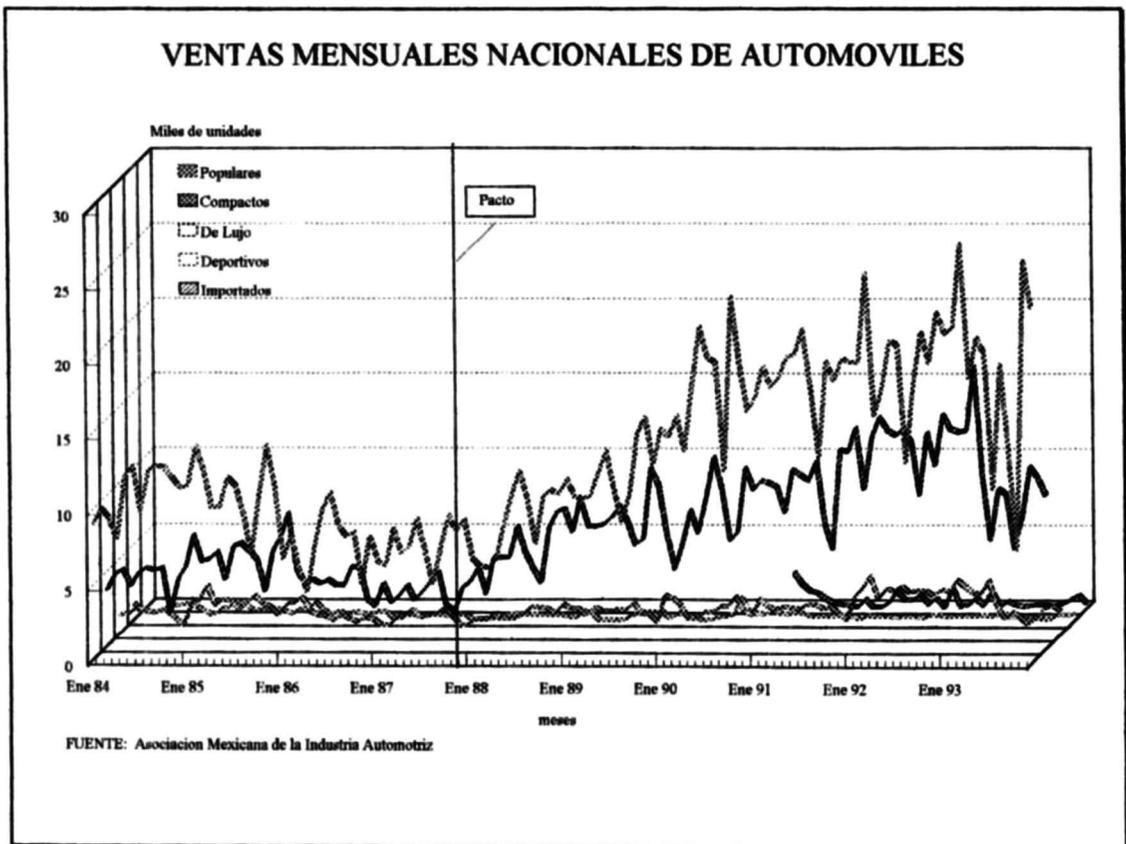
3.1. LAS VENTAS DE AUTOMOVILES.

A partir de el establecimiento del Pacto de Solidaridad Económica en diciembre de 1987, las ventas de automóviles⁵ empezaron a incrementarse con un

⁵ Entendiéndose como ventas de automóviles a aquellas de automóviles nuevos.

comportamiento constante que al parecer no fue alterado por el programa “Hoy No Circula”. En el gráfico 1 se presentan las ventas de automóviles a nivel nacional. En este mercado, los automóviles populares son los de mayor venta; los compactos contribuyen en un volumen considerable pero menor y los automóviles deportivos, de lujo e importados sólo forman una parte pequeña del mismo.

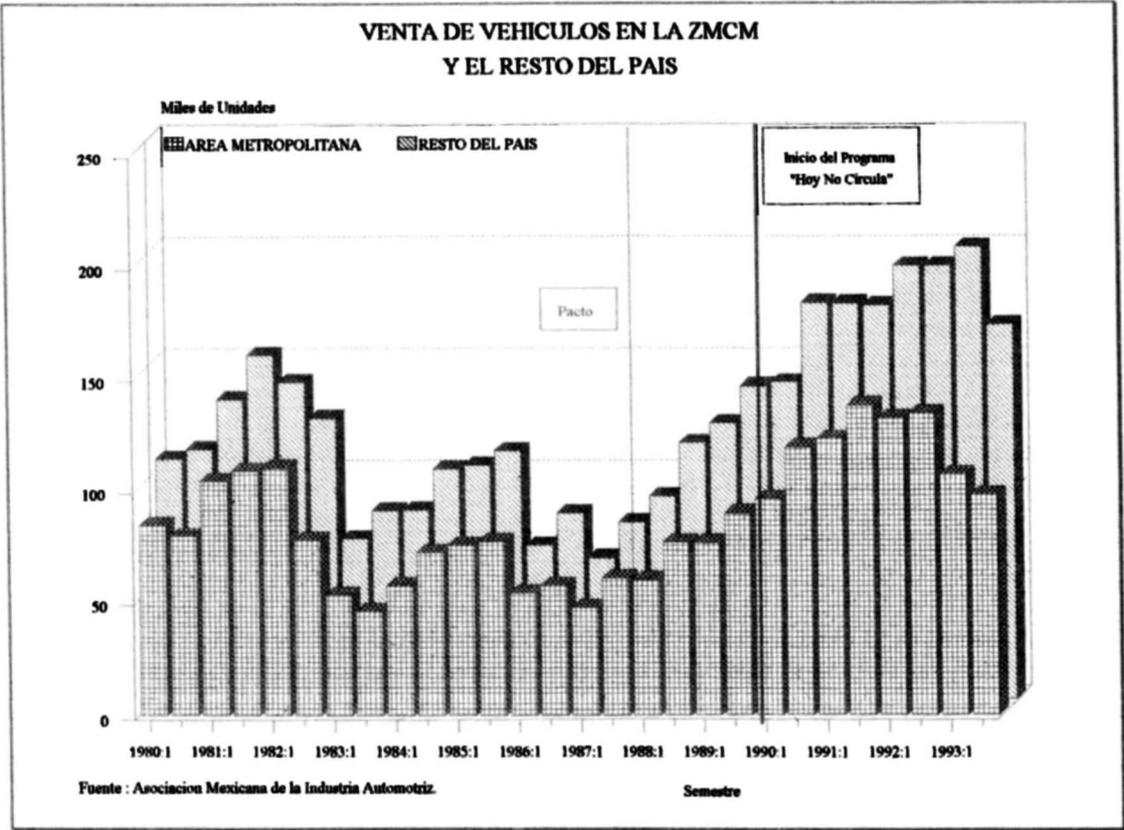
Gráfico 1



Las ventas sufrieron una disminución en su tendencia durante 1992, como respuesta a la contracción de la economía que, a su vez, se debió al cambio en las expectativas de crecimiento del país. El reajuste en las

proporciones de la actividad económica del país se debió al imperativo de adaptarse al nuevo entorno de mercado abierto y de competitividad a nivel internacional. No obstante, las ventas en provincia han aumentado su participación en los últimos años (véase gráfico 2).

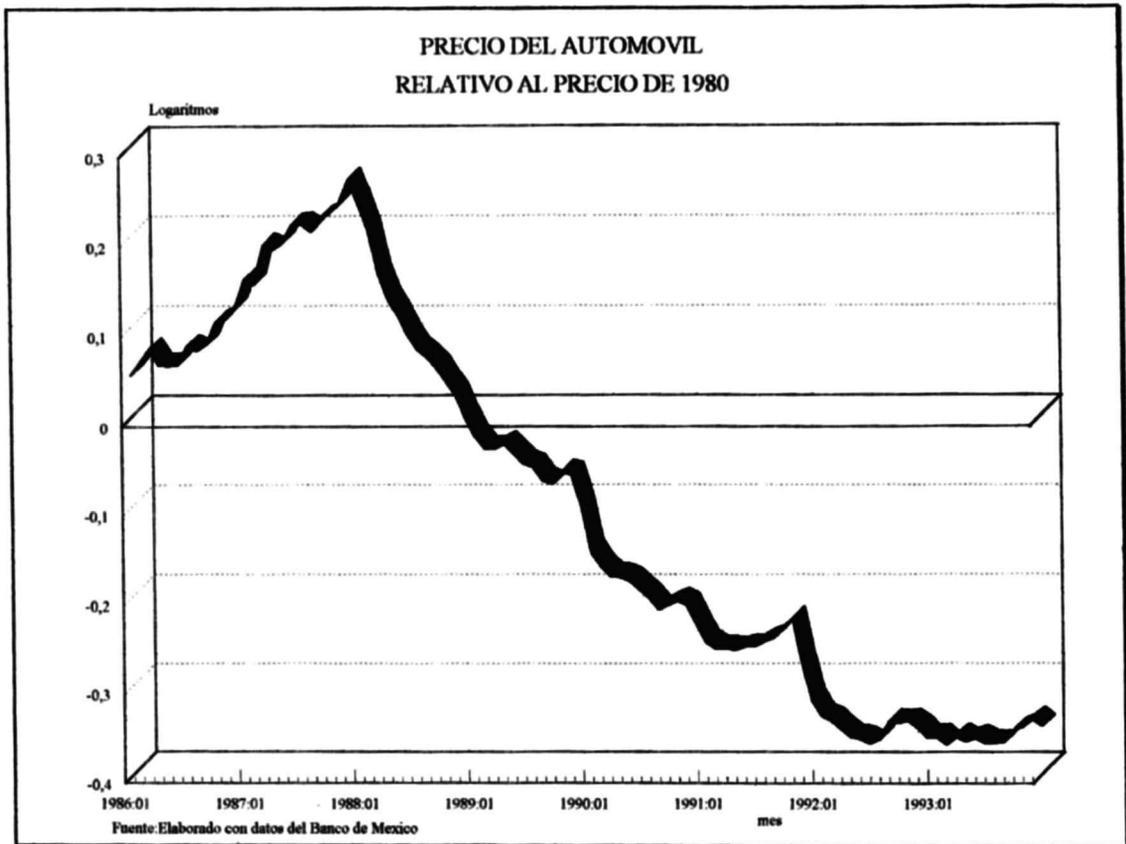
Gráfico 2



El incremento observado a partir del Pacto, se debe a que el precio real de los automóviles ha disminuido hasta principios de 1992, aunque desde entonces se ha comportado de manera estable (véase gráfico 3). Si el precio ya no decrece, el incremento en las ventas dependerá de otros factores.

A pesar de que las ventas de automóviles no se vieron afectadas por el Programa, la cantidad de automóviles nuevos se incrementó debido a la aparición de sistemas crediticios de autofinanciamiento.

Gráfico 3

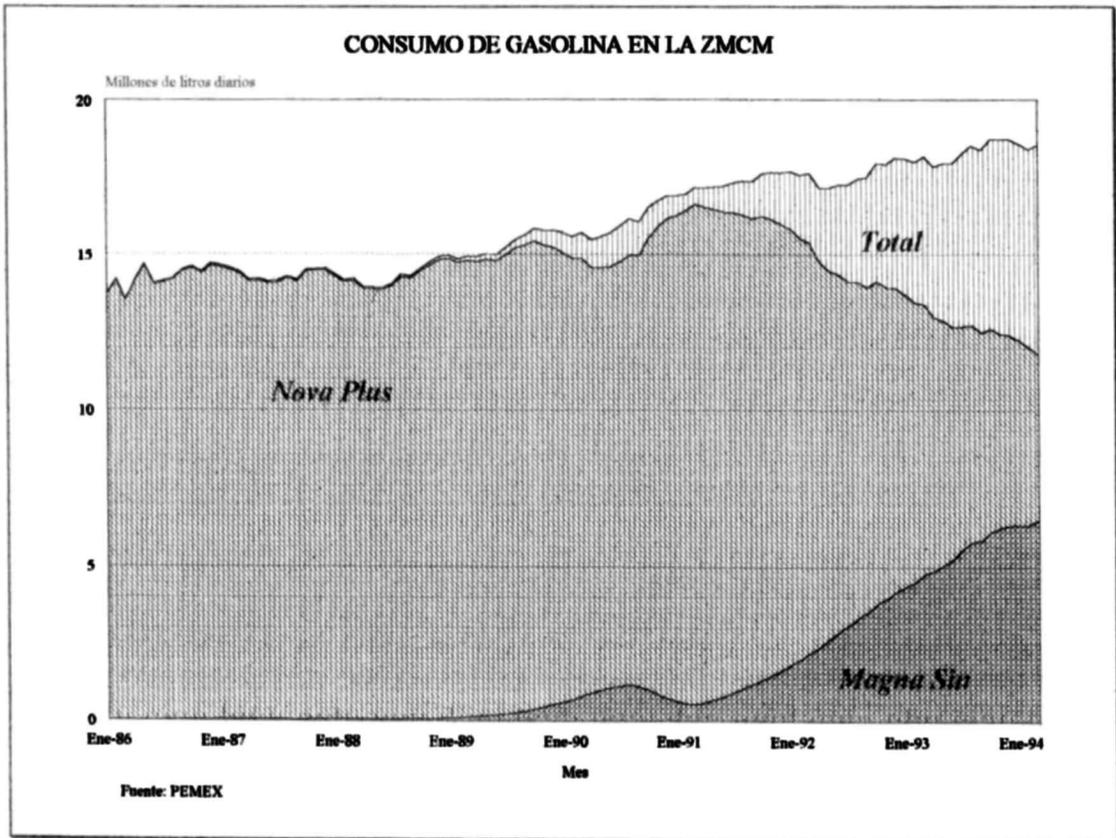


De acuerdo al censo de 1990, el INEGI determina que los automóviles componen el 90% del parque vehicular lo cual, por razones obvias, implica que son los automóviles los que generan la mayor parte de la contaminación.

Muy relacionado con el uso de los automóviles se encuentra el consumo de gasolina que es su fuente de energía, haciéndolos bienes complementarios. A raíz de la introducción de la gasolina *Magna Sin*, el consumo de la gasolina sin

plomo se ha incrementado; en contraposición la demanda por gasolina *Nova Plus* ha venido disminuyendo (gráfico 4). Esto se manifiesta sobre todo a partir de 1991 cuando se introducen los automóviles con convertidor catalítico.

Gráfico 4



4. METODOLOGÍA

En este proyecto se pretende analizar la relación existente entre variables que constituyen a dos mercados complementarios, el de automóviles y el de gasolina.

Con el propósito de realizar un modelo que evalúe el programa ambiental “Hoy no circula” se procede a evaluar las variables que se consideran pertinentes para dicho fin.

Los individuos tienen una demanda por transporte, la cual está íntimamente ligada a los mercados que se han mencionado, pero éstos se encuentran relacionados con otras variables. Por ejemplo, la demanda de automóviles depende de sus precios y del nivel de ingreso. Debido a que la mayoría de los automóviles nuevos no son comprados al contado, sino a plazos o con créditos bancarios, debe considerarse la tasa de interés como otra variable de influencia. El mercado de gasolinas también depende del nivel de ingreso y de sus precios.

De las variables arriba mencionadas se obtuvieron las series encontrándose algunas diferencias en las frecuencias con que aparecen en la bibliografía por lo que se utilizaron todas aquellas que fueran determinantes en el problema con una misma frecuencia para su evaluación estadística. En este mismo proceso se evalúan las transformaciones necesarias para el manejo más

adecuado de las series, así como su tendencia y funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial para realizar el procedimiento con o sin variables diferenciadas con el fin de obtener un proceso estacionario y el estudio de la existencia de ciclos que favorezcan la obtención de un mejor modelo.

Las variables principales del modelo se evalúan por procesos autorregresivos y de promedios móviles, de manera de observar su ajuste. Para obtener un modelo con un menor error se procedió a realizar pruebas de causalidad de Granger y determinar dependencia de estas variables entre sí y respecto de otras consideradas relacionadas. Una vez establecidas estas relaciones, se realizó la evaluación de un vector autorregresivo para observar la bondad del ajuste.

Dada una mejor estimación que la evaluación de las variables por si mismas y continuando con la pretensión de obtener un mejor modelo, merced a este un ajuste más “bondadoso” se introdujeron variables exógenas a este vector obteniendo una variante del modelo de vectores autorregresivos que se conoce como VARX.

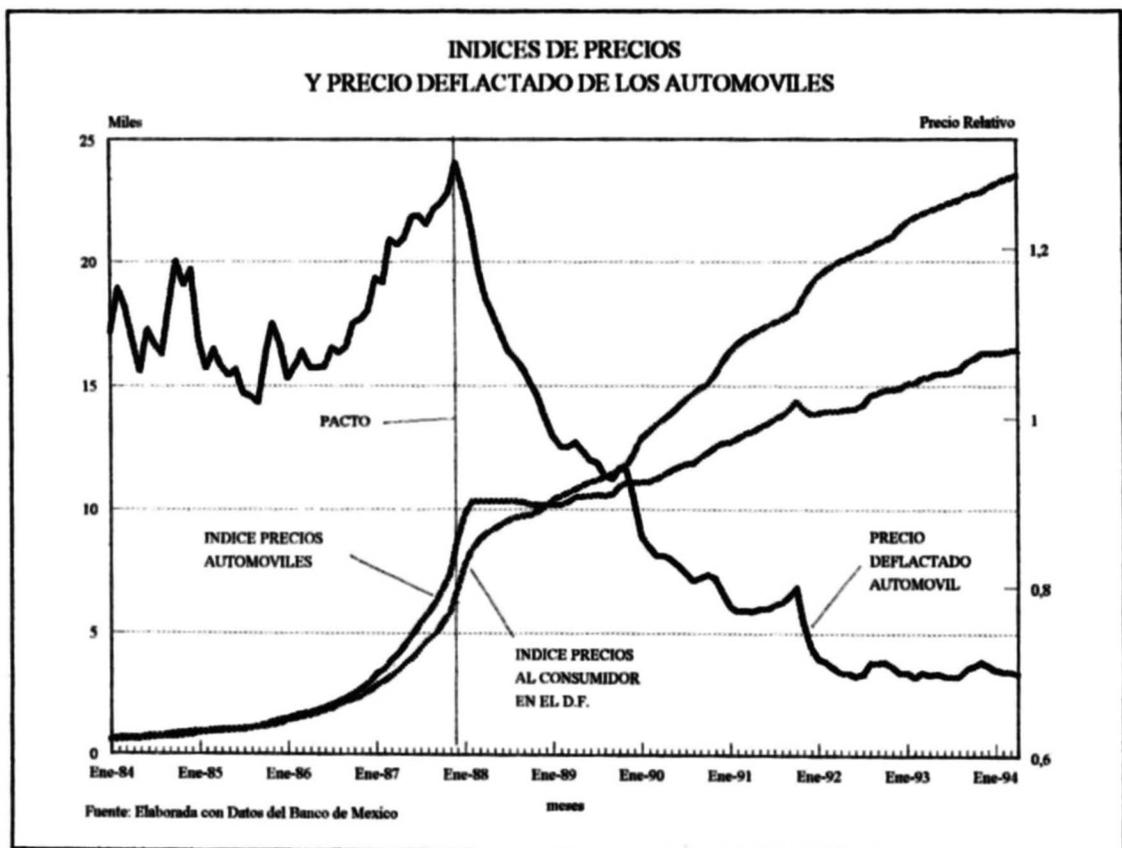
Entre las variables exógenas se contemplaron algunas dicotómicas que si bien no son de carácter económico, permiten evaluar la efectividad del programa ambiental generando así, un modelo alternativo.

Con la determinación de este modelo se analizan los efectos de choques exógenos sobre estas variables.

4.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.

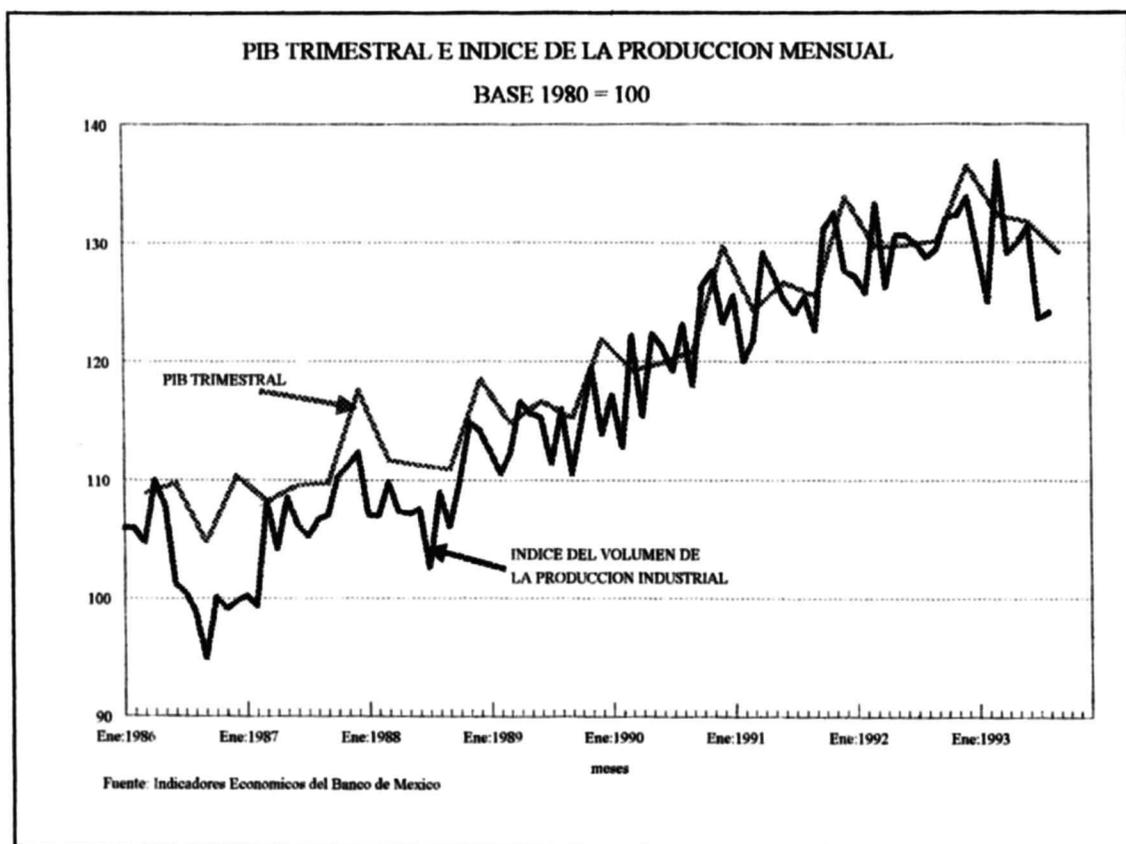
La demanda de gasolina en la ZMCM y sus precios tienen frecuencia mensual. Las ventas de automóviles a nivel nacional también aparecen mensualmente, pero en la ZMCM sólo existen semestralmente. Para el mejor manejo estadístico de los datos es necesario tener series largas, por lo que se prefieren aquellas con frecuencia mensual.

Gráfico 5



Debido a esta situación las ventas de autos no se pueden utilizar⁶. Entonces se decidió utilizar el precio relativo del automóvil como una variable del sistema, la cual es determinante en la demanda de autos. Esta variable se obtuvo por el cociente del índice de precios para automóviles entre el índice de precios al consumo del Distrito Federal, ambos con base en 1980, (véase gráfico 5).

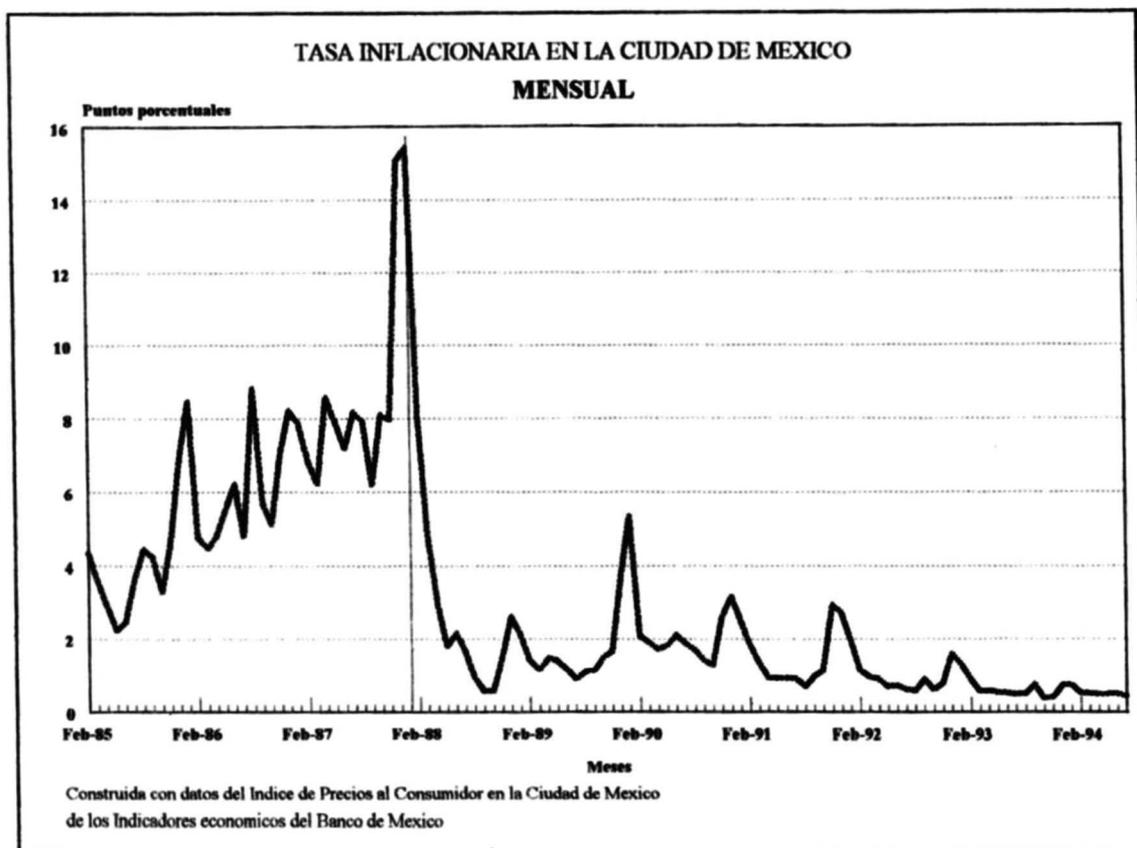
Gráfico 6



⁶ Se dice que no pueden utilizarse porque, aunque pudieron interpolarse los datos a nivel mensual, siempre involucraría un error en la estimación, que al ser utilizado como un insumo para el modelo arrojaría errores potenciados.

Con el propósito de realizar un modelo que evalúe el programa ambiental “Hoy no circula” se procede a evaluar las variables que se consideran pertinentes para dicho fin.

Gráfico 7



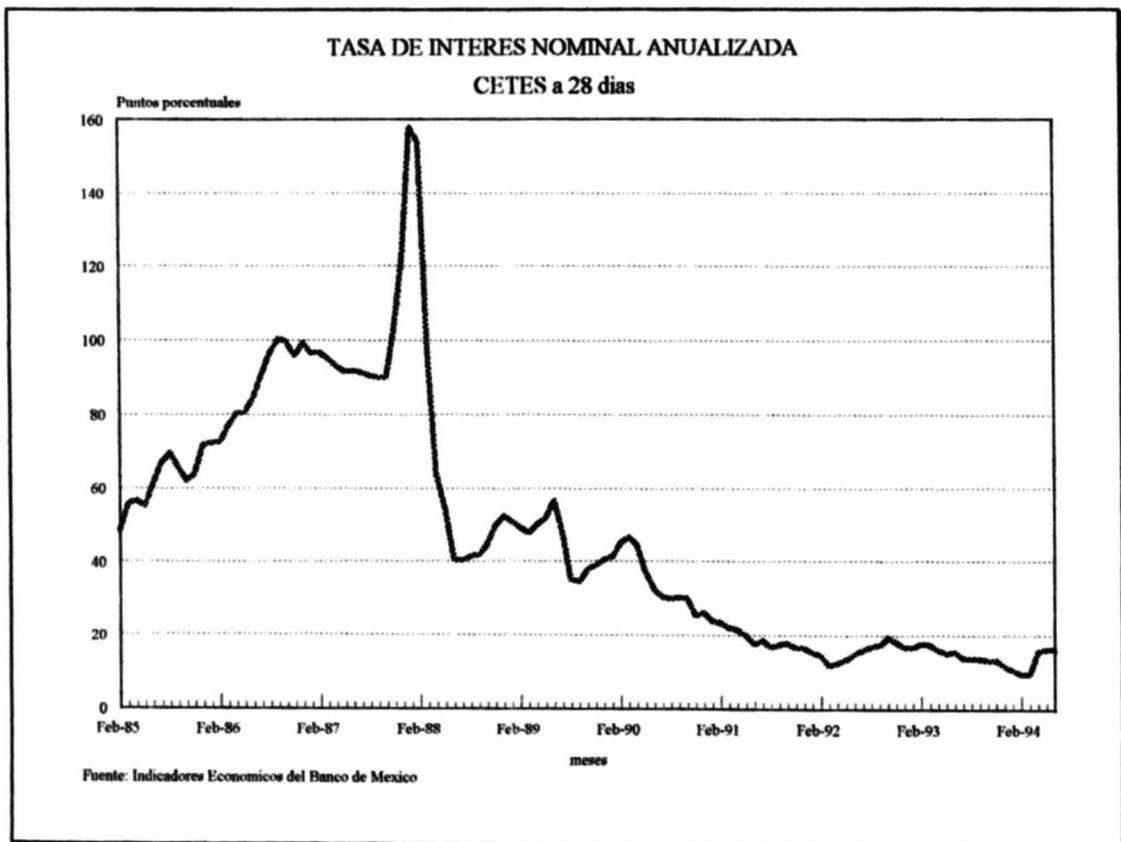
También se contemplaron otras variables relacionadas a estos mercados. El nivel de ingreso que tiene frecuencia trimestral, no puede utilizarse en el modelo, pero considerando que es una variable importante, se utiliza una *proxi* con frecuencia mensual, el índice del volumen de la producción industrial, (véase gráfico 6).

Como se mencionó anteriormente es posible que la tasa de interés afecté al mercado de automóviles. La tasa real de interés (i^*), (véase gráfico 9), se determinó mediante la diferencia de la tasa nominal (i), (véase gráfico 8), que se entiende como la tasa líder⁷, y la tasa inflacionaria en el Distrito Federal(π), que se obtuvo como la tasa de crecimiento del índice de precios al consumidor en la ciudad de México (véase gráfico 7).

$$i^* = i + \pi$$

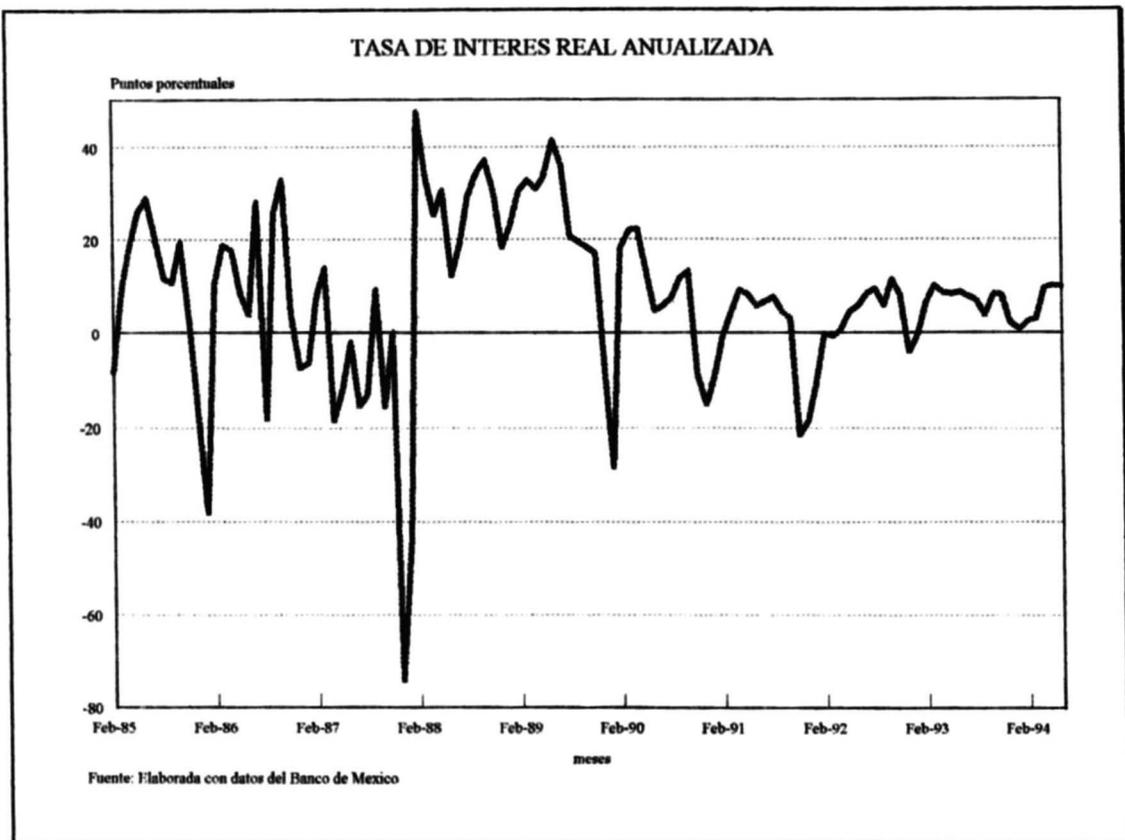
1

Gráfico 8



⁷ La tasa de interés de los certificados de la tesorería a 28 días es considerada como la tasa líder.

Gráfico 9

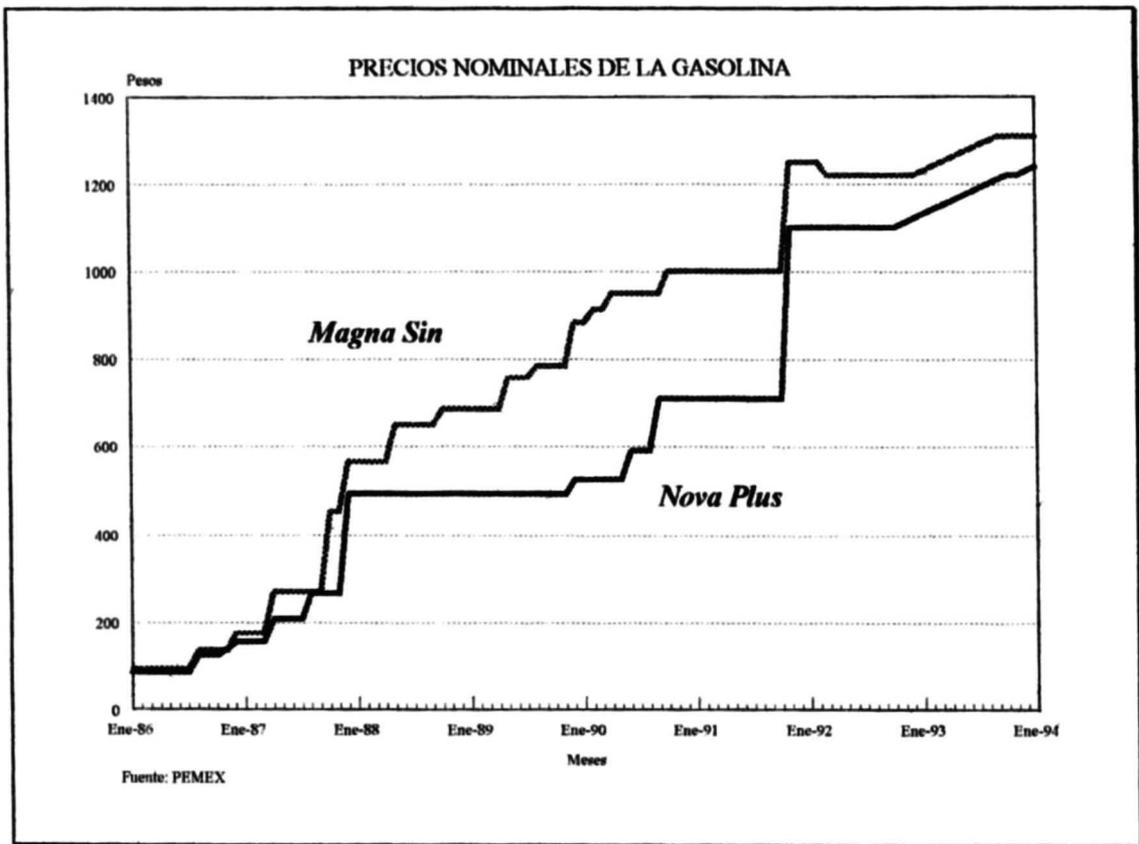


Una variable más que se considera es el precio de la gasolina. En el gráfico 10 se muestra el comportamiento de los precios nominales de las gasolinas.

Los precios nominales no reflejan el comportamiento de las variables económicas por lo que se utilizó el precio real de la gasolina, el cual se obtuvo por un costo ponderado de los precios reales de las gasolinas *Nova Plus* y *Magna Sin*⁸, (véase gráfico 11).

⁸ Los datos de gasolina *Magna Sin* antes de septiembre de 1989 son los correspondientes a la gasolina *Extra*.

Gráfico 10



$$P_R = \frac{P_N * C_N + P_M * C_M}{C_N + C_M}$$

2

donde:

P_R = precio real de la gasolina.

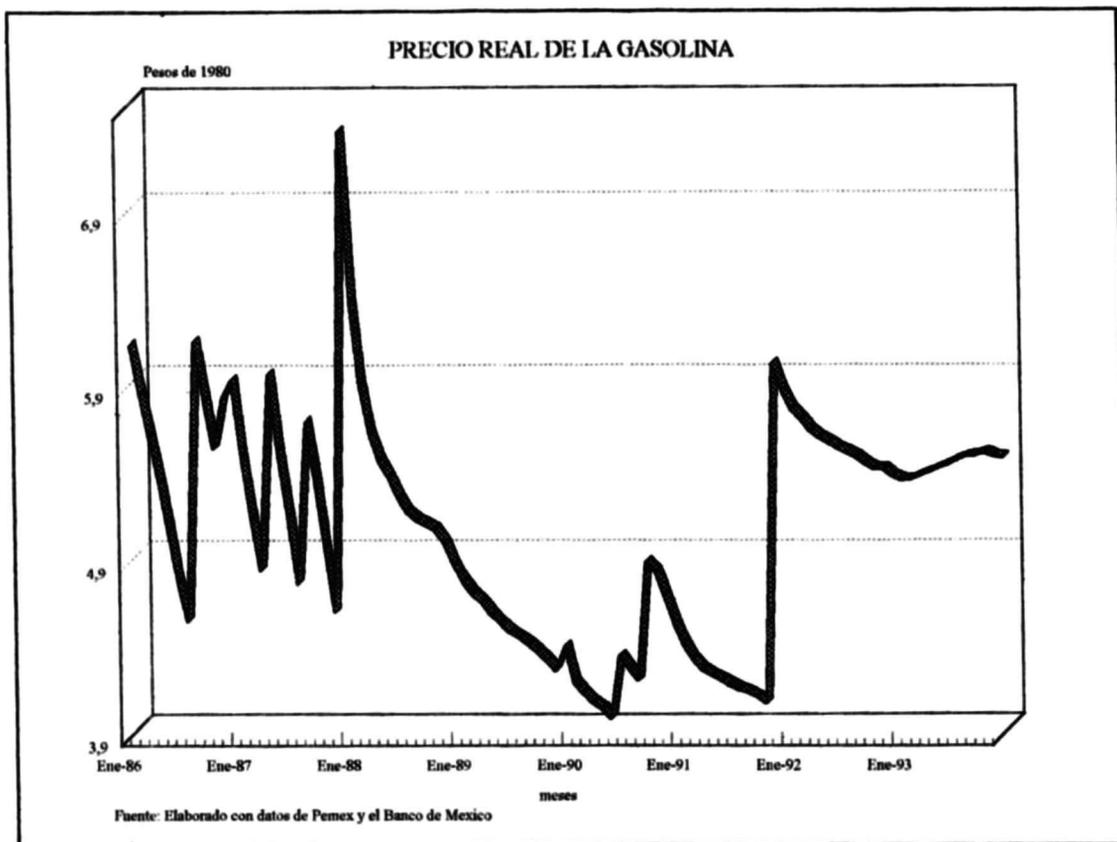
P_N = precio nominal de la gasolina Nova Plus.

P_M = precio nominal de la gasolina Magna Sin.

C_N = consumo de la gasolina Nova Plus.

C_M = consumo de la gasolina Magna Sin.

Gráfico 11



4.2. TRANSFORMACIONES.

A las variables involucradas en el modelo se les realizaron transformaciones para su mejor manejo estadístico. En particular se obtuvieron los logaritmos para estabilizar las varianzas a todas las series, excepto a la tasa de interés pues existen valores negativos. De aquí en adelante se denominará a las variables también con la notación descrita en el cuadro 1.

A estas variables se les realizaron pruebas de raíces unitarias⁹ para determinar si debían diferenciarse de antemano para obtener un proceso estacionario y evitar que las series se relacionen únicamente por la tendencia de su comportamiento y generar así relaciones espurias.

Cuadro 1. Notación

Precio Relativo del Automóvil	LPA
Consumo de Gasolina	LCG
Índice del Vol. de la Producción Industrial	LIP
Precio Real de la Gasolina	PRG
Tasa de Interés	TIR

Un proceso debe ser estacionario para estar en una condición particular de “equilibrio estadístico”. Un proceso estocástico es estacionario si sus propiedades no son afectadas por un cambio en el período de origen. Esto es, que la distribución de probabilidad conjunta asociada con m observaciones $z_{t_1}, z_{t_2}, \dots, z_{t_m}$, hecha en cualquier conjunto de tiempos t_1, t_2, \dots, t_m , es la misma que aquella asociada a las m observaciones $z_{t_1+k}, z_{t_2+k}, \dots, z_{t_m+k}$, hecha en el conjunto de tiempos $t_1+k, t_2+k, \dots, t_m+k$. Para que cualquier proceso discreto sea estrictamente estacionario, la distribución de probabilidad conjunta de cualquier conjunto de observaciones no debe ser afectada al cambiar los tiempos de las

⁹Para una explicación del término de raíces unitarias véase el apartado 4.2

observaciones hacia adelante o hacia atrás (Box-Jenkins, 1976, pp 26). El proceso estocástico estacionario tiene una media constante:

$$\mu = E[z_t] = \int_{-\infty}^{\infty} zp(z)dz \quad \mathbf{3}$$

con una varianza:

$$\sigma_z^2 = E[(z_t - \mu)^2] = \int_{-\infty}^{\infty} (z - \mu)^2 p(z)dz \quad \mathbf{4}$$

Dado que la distribución de probabilidad $p(z)$ es la misma para cualquier tiempo, la media μ del proceso estocástico puede ser estimada por la media:

$$\bar{z} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N z_t \quad \mathbf{5}$$

de la serie de tiempo y la varianza σ_z^2 , del proceso estocástico, puede ser estimada por la varianza de la serie de tiempo.

$$\hat{\sigma}_z^2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (z_t - \bar{z})^2 \quad \mathbf{6}$$

El supuesto de estacionaridad también implica que la distribución de probabilidad conjunta $p(z_{t_1}, z_{t_2})$ es la misma para todos los tiempos t_1, t_2 , que se encuentran separados por un intervalo constante. De aquí viene el término de correlación, el cual consiste en evaluar la relación existente entre datos de la

serie separados por períodos de tiempo determinados. La covarianza entre z_t y z_{t+k} separada por k intervalos de tiempo, es llamada autocovarianza con k rezagos y se define por:

$$\gamma_k = cov[z_t, z_{t+k}] = E[(z_t - \mu)(z_{t+k} - \mu)] \quad \mathbf{7}$$

De forma similar la autocorrelación con k rezagos es:

$$\rho_k = \frac{E[(z_t - \mu)(z_{t+k} - \mu)]}{\sqrt{E[(z_t - \mu)^2]E[(z_{t+k} - \mu)^2]}} \quad \mathbf{8}$$

o lo que es lo mismo:

$$\rho_k = \frac{E[(z_t - \mu)(z_{t+k} - \mu)]}{\sigma_z^2} \quad \mathbf{9}$$

pero para un proceso estacionario, la varianza $\sigma_z^2 = \gamma_0$ es la misma al tiempo $t+k$ que al tiempo t . Así pues, la autocorrelación¹⁰ con k rezagos es:

$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} \quad \mathbf{10}$$

La autocovarianza se estima de la siguiente forma:

$$c_k = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-k} (z_t - \bar{z})(z_{t+k} - \bar{z}), \quad k = 0, 1, 2, \dots, K \quad \mathbf{11}$$

y la autocorrelación:

$$r_k = \frac{c_k}{c_0} \quad \mathbf{12}$$

¹⁰La función de autocorrelación anteriormente era conocida como correlograma.

4.3. RAÍCES UNITARIAS

Una raíz unitaria indica que la serie debe diferenciarse para eliminar la tendencia y hacerla estacionaria. La prueba de raíces unitarias de Dickey-Fuller (1979) consiste en probar la hipótesis nula H_0 : Existe raíz unitaria contra la hipótesis alternativa H_1 : No existe raíz. La prueba consiste en evaluar el proceso:

$$\phi(B)(1-\alpha B)z_t = \theta_0 a_t \quad 13$$

donde: B es el operador de rezago, z_t es la variable en el tiempo t , $\phi(B)$ es la matriz que comprende los parámetros α_i de los rezagos de z en el tiempo t (proceso autorregresivo), a_t es un proceso de innovación, θ_0 contiene los parámetros de los rezagos de los errores a_t (proceso de promedios móviles), en que $\theta_0 = \phi(1)(1-\alpha)\mu$, con μ siendo la media de z_t , entonces la ecuación puede reescribirse:

$$\nabla z_t = \theta_0 + \phi(1)(\alpha - 1)z_{t-1} + \phi_1^* \nabla z_{t-1} + \dots + \phi_p^* \nabla z_{t-p} + a_t \quad 14$$

donde: $\nabla z_t = z_t - z_{t-1}$

$$\phi_i^* = \alpha \phi_i \quad i = 1, 2, \dots, p$$

Los coeficientes de la ecuación son estimados consistentemente por mínimos cuadrados ordinarios. Dada la hipótesis nula de que $\phi(1) \neq 0$, se utiliza

el estadístico de prueba “razón- t ” del estimado de $\phi(1)(\alpha-1)$ a su error estándar estimado. Dickey y Fuller (1979) demostraron que este estadístico no tiene una distribución “ t ” de Student, aún en el límite cuando el tamaño de la muestra tiende a infinito. Para apreciar las diferencias entre este estadístico, denotado τ_μ , y el estadístico convencional t^{11} , para una muestra grande y usando un nivel de significancia de 0.05 se requiere de un valor crítico τ_μ de -2.86, mientras que para la aproximación normal de la t de Student se necesita -1.96.

En el cuadro 2 se muestran los resultados de dicha prueba.

Cuadro 2. Resultados de la prueba de Raíces Unitarias de Dickey-Fuller

Rezago	LPA	DLPA	LCG	DLCG	LIP	DLIP	LPRG	TIR
0	0,13	-51,58	-0,52	-115,03	-5,94	-137,04	-21,40	-49,06
1	-0,46	-45,82	0,20	-115,04	-2,02	-192,58	-17,09	-52,68
2	-0,66	-42,97	-0,32	-58,24	-1,46	-196,03	-11,85	-34,02
3	-0,53	-43,08	-0,08	-92,67	-1,17	445,69	-8,36	-30,67
4	-0,60	-26,08	0,56	-43,12	-0,52	251,87	-11,43	-16,92

Al realizar la evaluación de la prueba de raíces unitarias con un criterio de significancia del 5%, se encontró que tanto para el precio relativo de los automóviles, como para el consumo de la gasolina y el índice del volumen de la producción industrial no puede rechazarse la hipótesis de la existencia de una raíz unitaria; estos resultados son convenientes pues al utilizar las diferencias de logaritmos se trabaja con tasas de crecimiento. Estos resultados concuerdan con las funciones de correlación para las series que se presentan en los gráficos del

¹¹ Las tablas de este estadístico están publicadas en Fuller (1976, pp 373) y Dickey (1986, tabla 1)

apéndice C. Por otro lado se rechazó la hipótesis de que el precio real de la gasolina y la tasa de interés tuvieran raíces unitarias.

Una vez establecidas las transformaciones necesarias se procedió a analizar un modelo. Las series transformadas se observan en el apéndice E.

4.4. PROCESOS ARIMA.

A las variables consideradas endógenas se les aplicó la metodología de Box-Jenkins (1976) para modelarlas como procesos de tipo ARIMA con lo cual se eligieron varios modelos. Un proceso ARIMA -“*autoregressive integrated moving average*”- es un modelo para series no estacionarias, que se expresa de la siguiente forma:

$$\phi(B) \nabla^d z_t = \theta(B) a_t \quad 15$$

donde: $\phi(B)$ es el operador autorregresivo de orden p .

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p \quad 16$$

$\theta(B)$ es el operador de promedio móvil de orden q .

$$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \quad 17$$

$$\nabla^d z_t = (1 - B)^d z_t \quad 18$$

B es el operador de rezago y d es el orden de la diferencia, entonces se dice que el modelo es un proceso ARIMA(p, d, q).

Si $d = 0$ el proceso es un filtro lineal inestable que corresponde a un ruido blanco. Alternativamente se puede decir que es una transformación del proceso z_t , altamente dependiente y posiblemente no estacionario a una secuencia de variables aleatorias no correlacionadas a_t ; para transformar el proceso a un ruido blanco.

Los parámetros de estos procesos se determinan de acuerdo a las ecuaciones de Yule-Walker¹².

4.4.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN.

Los criterios de selección utilizados en la metodología de Box-Jenkins consisten en una serie de análisis que se muestran a continuación:

- 1.- Análisis de las funciones de autocorrelación (ACF) y autocorrelación parcial (PACF).
- 2.- Observación de los valores del estadístico “ t ” para los rezagos.
- 3.- Observación de los valores Q de Ljung-Box para comprobar que los residuos se comportan como un ruido blanco.
- 4.- Análisis de los errores estándar de la regresión.
- 5.- Una vez elegidos los modelos más adecuados con los criterios anteriores se procede a utilizar otros que permiten una elección de aquel modelo, de entre estos ya previamente seleccionados, determinado por la varianza.

¹²En Box-Jenkins (1976) pp. 64-125

De estos, los criterios de selección más importantes para los modelos ARMA y como consecuencia para los modelos ARIMA cuando ya se ha establecido el orden de las diferencias, son estructurados en términos de la varianza estimada $\hat{\sigma}^2$ más un ajuste debido al número de parámetros estimados, y es en esta extensión del ajuste donde difieren los criterios.

Mencionaremos a los tres criterios que son más utilizados en la bibliografía, de los cuales el primero es el criterio información de Akaike (1974) AIC, que se define como:

$$AIC(p, q) = \ln \hat{\sigma}^2 + 2(p + q) T^{-1} \quad 19$$

donde T es el número de observaciones en la serie y los demás parámetros ya son conocidos. Un segundo criterio es BIC (Rissanen (1978), Schwarz (1978)):

$$BIC(p, q) = \ln \hat{\sigma}^2 + (p + q) T^{-1} \ln T \quad 20$$

mientras que un tercer criterio es Φ (Hannan (1980)), definido para valores de c mayores que 2, por:

$$\Phi(p, q) = \ln \hat{\sigma}^2 + (p + q)c T^{-1} \ln \ln T \quad 21$$

Dados estos criterios alternativos Hannan demostró que los criterios BIC y Φ son fuertemente consistentes en la determinación asintótica del modelo verdadero, mientras que para AIC un modelo con más parámetros será elegido sin importar la longitud de los rezagos. Así se entiende que los criterios de Schwarz y Hannan deben preferirse al de Akaike (Sims, 1990).

En base a estos criterio se determinaron dos posibles modelos para cada una de las dos series principales involucradas¹³.

Precio de los automóviles.

ARIMA (2,1,1)

$$PA_t = \frac{(1 + \theta_1 L)e_t}{1 - (1 + \phi_1)L - (\phi_2 - \phi_1)L^2 + \phi_2 L^3} \quad \mathbf{22}$$

ARIMA (1,1,0)

$$PA_t = \frac{e_t}{1 - (1 + \phi_1)L + \phi_1 L^2} \quad \mathbf{23}$$

Consumo de gasolina

ARIMA (2,1,2)

$$CG_t = \frac{(1 + \theta_1 L + \theta_2 L^2)e_t}{1 - (1 + \phi_1)L - (\phi_2 - \phi_1)L^2 + \phi_2 L^3} \quad \mathbf{24}$$

ARIMA (1,1,2)

$$CG_t = \frac{(1 + \theta_1 L + \theta_2 L^2)e_t}{1 - (1 + \phi_1)L - \phi_1 L^2} \quad \mathbf{25}$$

Los coeficientes se pueden ver en el apéndice D1.

¹³ En las funciones de correlación y autocorrelación se estudió la posibilidad de la existencia de ciclos, pero no se presentaron,

4.4.2. AJUSTES.

Como las series se trabajaron con diferencias, se procedió a obtener la serie estimada considerando que si la serie P tiene diferencias DP y la estimación de las diferencias es \hat{DP} :

$$\hat{DP}_t = DP_t + e_t \quad \mathbf{26}$$

como sabemos que:

$$\hat{DP}_t = \hat{P}_t - \hat{P}_{t-1} \quad \mathbf{27}$$

despejando \hat{P}_t obtenemos:

$$\hat{P}_t = \hat{P}_{t-1} + \hat{DP}_t \quad \mathbf{28}$$

y sustituyendo recursivamente obtenemos:

$$\hat{P}_t = \hat{DP}_t + \hat{DP}_{t-1} + \hat{DP}_{t-2} + \dots + \hat{DP}_0 + \hat{P}_0 \quad \mathbf{29}$$

Considerando que P_0 es el dato inicial y es conocido, se obtienen los datos estimados:

$$\hat{P}_t = P_0 + \sum_{i=1}^t \hat{DP}_i = P_0 + \sum_{i=1}^t (DP_i + e_i) \quad \mathbf{30}$$

De esta forma los ajustes que se obtienen por los modelos ARIMA se ven en el gráfico 12 para el consumo de Gasolina y para el precio de los automóviles en el gráfico 13.

Se observa que para ambas series el comportamiento se conserva, pero las estimaciones se encuentran alejadas de la serie real, por lo que se considera que estas variables no pueden justificarse por si mismas. Por esta razón se decidió hacer pruebas de causalidad de Granger (Granger, 1969).

Gráfico 12

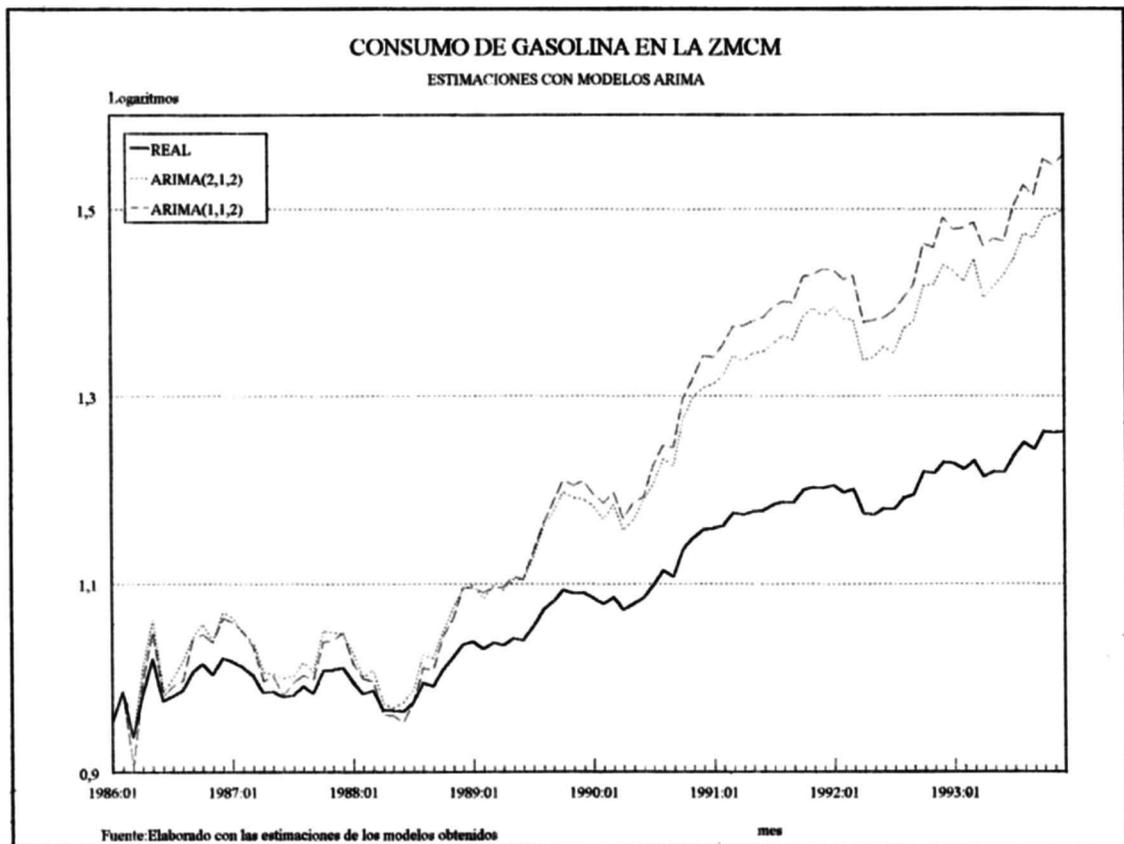
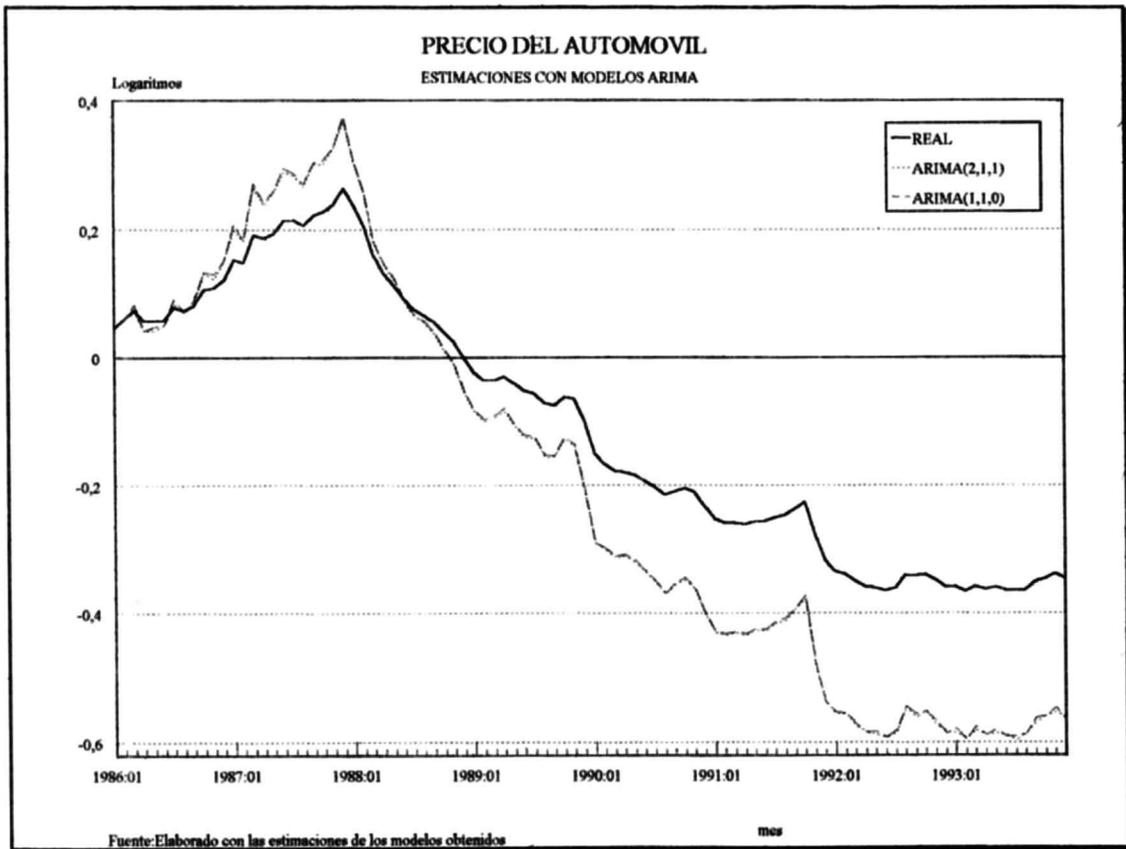


Gráfico 13



4.5. CAUSALIDAD.

La idea original de Granger es que la causa no puede venir después del efecto. Esto es que si una variable x_t afecta a otra z_t , entonces la predicción de z_t es más eficiente si la información en el proceso x_t es tomada en cuenta además de toda la información existente en el universo, entonces x_t tiene efecto de *causalidad de Granger* sobre z_t .

Para formalizar la idea si suponemos que Ω_t es el conjunto de información que contiene toda la información relevante en el universo

disponible hasta el período t . Sea $z(h|\Omega_t)$, el conjunto óptimo de predicción de h períodos del proceso z_t con origen en t , basado en la información de Ω_t , entonces la matriz de errores de predicción es $\Sigma_t(h|\Omega_t)$. Se dice que x_t causa z_t si:

$$\Sigma_t(h|\Omega_t < \Sigma_t \setminus [x_s | s \leq t]) \quad \text{para algún } h = 1, 2, \quad \mathbf{31}$$

La causalidad de Granger se evalúa considerando procesos de vectores autorregresivos (VAR)¹⁴ en que se evalúa la variable que se piensa es dependiente con las que se cree son causales como exógenas, y otro proceso en que no se consideran las exógenas. Con los errores estándar de cada evaluación se realiza una prueba estadística χ^2 en la que se pretende probar la hipótesis nula H_0 : No hay causalidad contra la hipótesis alternativa H_1 : Si hay causalidad. (Lütkepohl 1991, pp. 35-42).

Los resultados de estas evaluaciones se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Resultados de las pruebas de Causalidad de Granger.¹⁵

VARIABLES CAUSALES	VARIABLE DEPENDIENTE	ESTADÍSTICO CHI-CUADRADA	NIVEL DE SIGNIFICANCIA	RESULTADO DE LA PRUEBA
DLPA	DLCG	23.344970	0.99897139	Rechazada H_0
LPRG	DLCG	12.986621	0.96634040	Rechazada H_0
DLIP	DLCG	34.605740	0.53488709	Rechazada H_0
TIR	DLPA	21.064920	0.97755629	Rechazada H_0
DLCG	DLPA	12.783793	0.99987636	Rechazada H_0
DLIP	DLPA	4.750874	1.00000000	Rechazada H_0

¹⁴ Más adelante se hablará sobre estos términos.

¹⁵ Evaluaciones, que al igual que todas las demás fueron realizadas con el programa RATS 4.1

Los resultados de las pruebas de causalidad de Granger indican que existe causalidad de el precio de los automóviles, el precio de la gasolina y el índice de la producción sobre el consumo de gasolina, así como del consumo de gasolina, la tasa de interés y el índice de la producción sobre el precio de los automóviles. Ello justifica la utilización de un VAR.

4.6. VECTORES AUTORREGRESIVOS.

Un vector autorregresivo es un modelo en que una variable depende de sus rezagos, como en el proceso autorregresivo, pero también de los rezagos de las otras variables involucradas en el modelo.

Un proceso autorregresivo se define como:

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \dots + \phi_p z_{t-p} + a_t \quad 32$$

o bien,

$$\phi(B)z_t = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)z_t = a_t \quad 33$$

de donde se puede escribir

$$z_t = \phi^{-1}(B)a_t \quad 34$$

en donde z es una serie de tiempo. Para un vector autorregresivo, el concepto es el mismo excepto que ahora z_t es un vector de variables.

$$y_t = v + A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + u_t \quad \mathbf{35}$$

donde $y_t = (y_{1t}, \dots, y_{kt})'$ es un vector aleatorio de dimensión $(K \times 1)$, las A_i son matrices de coeficientes fijos de tamaño $(K \times K)$, $v_t = (v_{1t}, \dots, v_{kt})'$ es un vector fijo de interceptos de tamaño $(K \times 1)$, que permite la posibilidad de una media diferente de cero $E(y_t)$. Finalmente $u_t = (u_{1t}, \dots, u_{kt})'$ es un proceso de innovación o ruido blanco de dimensión K , esto es $E(u_t) = 0$, $E(u_t u_t') = \Sigma_u$, y $E(u_t u_s') = 0$ para toda $s \neq t$.

La matriz de varianzas y covarianzas Σ_u se asume no singular a menos que se indique otro estado.

Ahora de la misma forma que el proceso autorregresivo, un vector autorregresivo de orden 1 VAR(1) es:

$$y_t = v + A_1 y_{t-1} + u_t \quad \mathbf{36}$$

Si el mecanismo empieza en un tiempo dado $t=1$, entonces tenemos

$$y_1 = v + A_1 y_0 + u_1 \quad \mathbf{37}$$

$$\begin{aligned} y_2 &= v + A_1 y_1 + u_2 = v + A_1(v + A_1 y_0 + u_1) + u_2 \\ &= (I_k + A_1)v + A_1^2 y_0 + A_1 u_1 + u_2 \end{aligned}$$

⋮

$$y_2 = (I_k + A_1 + A_1^2 y_0 + A_1 u_1) + u_2$$

⋮

$$y_t = (I_k + A_1 + \dots + A_1^{t-1})v + A_1^t y_0 + \sum_{i=0}^{t-1} A_1^i u_{t-i}$$

Dado que los vectores y_1, \dots, y_t están determinados únicamente por y_0, u_1, \dots, u_t . También, la distribución conjunta de y_1, \dots, y_t está determinada por la distribución conjunta de y_0, u_1, \dots, u_t .

$$y_t = (I_K + A_1 + \dots + A_1^j)v + A_1^{j+1}y_{t-j-1} + \sum_{i=0}^j A_1^i u_{t-i} \quad 38$$

cuando $j \rightarrow \infty$. A_1^{j+1} converge a cero rápidamente, diciendo que y_t es un proceso estocástico bien definido.

$$y_t = \mu + \sum_{i=0}^{\infty} A_1^i u_{t-i} \quad i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad 39$$

donde:

$$\mu = (I_K - A_1)^{-1} v \quad 40$$

El primero y segundo momentos del proceso y_t son:

$$E(y_t) = \mu \quad \text{para toda } t \quad 41$$

y

$$\Gamma_y(h) = E(y_t - \mu)(y_{t-h} - \mu)' = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n A_1^i E(u_{t-i} u_{t-h-j}') (A_1^j)'$$

$$\Gamma_y(h) = \lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{i=0}^n A_1^{h+i} \Sigma_u A_1^i = \sum_{i=0}^{\infty} A_1^{h+i} \Sigma_u A_1^i \quad 42$$

porque $E(u_t u_t') = \Sigma_u$, para toda t y $E(u_t u_s') = 0$ para toda $s \neq t$.

Si todos los valores de A_1 tienen módulos menores a 1, se dice que el proceso es estable, que es equivalente a:

$$\det(I_K - A_1 z) \neq 0 \quad \text{para } |z| \leq 1 \quad 43$$

Esta condición de estabilidad asume que el proceso empieza en $-\infty$.

Las consideraciones previas pueden ser extendidas a un VAR(p) como en (36), correspondiente a un VAR(1) de dimensión K_p .

$$Y_t = v + AY_{t-1} + U_t \quad 44$$

donde:

$$Y_t := \begin{bmatrix} y_t \\ y_{t-1} \\ \vdots \\ y_{t-p+1} \end{bmatrix} \quad U_t := \begin{bmatrix} u_t \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

$(K_p \times 1) \qquad \qquad \qquad (K_p \times 1)$

$$A := \begin{bmatrix} A_1 & A_2 & \dots & A_{p-1} & A_p \\ I_k & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & I_k & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & I_k & 0 \end{bmatrix}$$

$(K_p \times K_p)$

De acuerdo a las condiciones mencionadas, para un VAR(p), Y_t es estable si:

$$\det(I_{kp} - Az) \neq 0 \quad \text{para } |z| \leq 1 \quad 45$$

el vector de medias es:

$$\mu = E(Y_t) = (I_{kp} - Az)^{-1} v \quad \text{para } |z| \leq 1 \quad 46$$

las autocovarianzas son:

$$\Gamma_Y(h) = \sum_{i=0}^{\infty} A^{h+i} \Sigma_U (A')^i \quad 47$$

donde: $\Sigma_U := E(U_t U_t')$.

Dado que U_t comprende al proceso de ruido blanco u_t , el proceso y_t es determinado por su ruido blanco o proceso de innovación. Generalmente se toma el supuesto de que u_t es un ruido blanco de tipo *Gaussiano*. Es decir, $u_t = N(0, \Sigma_U)$ para toda t ; y u_t, u_s son independientes para $s \neq t$. En ese caso se puede señalar que y_t es un proceso Gaussiano y que todos los componentes y_t, \dots, y_{t+h} tienen una distribución normal multivariada para toda t y h (Lütkepohl, 1991, pp. 9-62).

Para la construcción del vector autorregresivo, primero se debe identificar el orden del proceso (p), es decir, la longitud de los rezagos que describen con mayor precisión el comportamiento de las variables. Generalmente se determina una cota máxima (M) para evitar un proceso de orden muy alto. El modelo se evaluó con diferentes longitudes de rezagos, que van desde uno hasta doce, considerando que no es pertinente utilizar un rezago mayor a un año ($M=12$).

4.6.1. CRITERIOS DE SELECCION.

Los criterios básicos son los mismos mencionados para los procesos ARIMA en el apartado 4.4.1, en que se analizan las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial, los estadísticos " r " y " Q ", los errores estándar y

finalmente los criterios de selección basados en el análisis de la varianza, pero con una modificación adecuada a estos procesos.

Al igual que para los modelos ARIMA existen varios métodos para determinar el orden del VAR. El Criterio de Información de Akaike (Akaike, 1973, 1974) para un proceso $VAR(m)$ se define:

$$AIC(m) = \ln|\Sigma_u(m)| + \frac{2}{T} (\text{número de parámetros libremente estimados})$$

$$AIC(m) = \ln|\Sigma_u(m)| + \frac{2mK^2}{T} \quad 48$$

La estimación $\hat{p}(AIC)$ para p es elegida de tal manera que este criterio sea minimizado. Cuando la dimensión del VAR es menor a 5, como es nuestro caso, el estadístico no garantiza que el orden del proceso no esté sobrestimado, razón por la cual se eligen otros criterios consistentes.

El primero es de Hannan y Quinn (1979) y Quinn (1980) y se denota HQ (criterio de Hannan-Quinn).

$$HQ(m) = \ln|\Sigma_u(m)| + \frac{2 \ln \ln T}{T} (\text{número de parámetros libremente estimados})$$

$$HQ(m) = \ln|\Sigma_u(m)| + \frac{2 \ln \ln T}{T} m K^2 \quad 49$$

El estimado $\hat{p}(HQ)$ es el orden que minimiza $HQ(m)$ para $m = 0, 1, \dots, M$. Comparándolo con (21) $c_T = 2K^2 \ln \ln T$, lo que dice que HQ es consistente para todo K .

Utilizando argumentos Bayesianos Schwarz (1978) derivó el siguiente criterio:

$$SC(m) = \ln|\Sigma_u(m)| + \frac{\ln T}{T} (\text{número de parámetros libremente estimados})$$

$$SC(m) = \ln|\Sigma_u(m)| + \frac{\ln T}{T} m K^2 \quad 50$$

Nuevamente el orden estimado $\hat{p}(SC)$ es elegido tal que minimice el valor del criterio. Comparándolo con (19) $c_T = K^2 \ln T$, y además es fuertemente consistente para cualquier dimensión de K .

Para muestras pequeñas AIC funciona mejor que HQ y SC.

Utilizando estos criterios se procedió a estimar los coeficientes del modelo, los que son estimados por mínimos cuadrados ordinarios, ajustando los rezagos y variables significativas al 5%.

4.6.2. OTROS MODELOS.

Un modelo de espacio de estado¹⁶ consiste en una *ecuación de transición* o *sistema de ecuaciones*

$$z_t = \mathbf{B}_{t-1} z_{t-1} + \mathbf{F}_{t-1} x_{t-1} + w_{t-1} \quad \text{para } t = 1, 2, \dots \quad 51$$

donde:

z_t : es el vector de estado.

¹⁶ Conocido como "State Space" en la literatura en inglés.

x_t : es el vector de variables observables o variables de política.

B_t : es la matriz de transición y

F_t : es la matriz de datos de la ecuación de transición.

Como puede observarse, el modelo VAR se ajusta a esta descripción si el vector x no existe, por lo que es un caso de los modelos de estado. Entre otros casos se encuentra el modelo VARX que consiste en involucrar un vector de variables exógenas al VAR (Aoki (1990) y Lütkepohl (1991)).

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + B_0 x_t + \dots + B_s x_{t-s} + u_t \quad 52$$

que puede representarse

$$Y_t = AY_{t-1} + BX_t + U_t \quad 53$$

donde:

$$Y_t = \begin{bmatrix} y_t \\ y_{t-1} \\ \vdots \\ y_{t-p+1} \end{bmatrix} \quad X_t = \begin{bmatrix} x_t \\ x_{t-1} \\ \vdots \\ x_{t-s} \end{bmatrix} \quad U_t = \begin{bmatrix} u_t \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} A_1 & A_2 & \dots & A_{p-1} & A_p \\ I_k & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & I_k & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & I_k & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} B_0 & B_1 & \dots & B_{s-1} & B_s \\ I_k & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & I_k & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & I_k & 0 \end{bmatrix}$$

5. EL MODELO.

Un modelo que involucra los rezagos de otras variables para explicar su comportamiento siempre justifica las alteraciones exógenas que sufre la variable en estudio. Uno de estos modelos es el de ecuaciones simultáneas que para explicar a la variable y_{1t} utiliza los rezagos de otras variables y_{2t} , y_{3t} ..., pero tiene el defecto de no involucrar rezagos de la variable dependiente, además de que generalmente implica una correlación contemporánea de los residuos, lo que conlleva a la obtención de estimadores sesgados.

Otro modelo que para explicar una variable los rezagos de otras es el de vectores autorregresivos, que cubre las desventajas existentes en las ecuaciones simultáneas pues si incluye rezagos de la variable dependiente.

Como consecuencia de esta discusión se procedió a evaluar como modelo del sistema a un vector autorregresivo.

5.1. UN VECTOR AUTORREGRESIVO.

Originalmente, se planteó utilizar un VAR de dimensión $K = 3$ que involucrara al consumo de gasolina, al precio relativo de los automóviles y al índice de la producción industrial, porque se piensa que las dos primeras variables están

relacionadas íntimamente al participar en mercados complementarios y la tercera como una variable explicativa de las anteriores.

En el modelo obtenido, el índice de la producción participa en las ecuaciones explicativas de las otras variables, lo que indicaba que el mercado de gasolinas y el mercado de automóviles tienen como una variable de su función de demanda a dicho índice, pero no a la inversa por lo que entonces se decidió sólo realizar el VAR con estas dos variables.

Se realizó la evaluación de la longitud de los rezagos, encontrando con los tres criterios que el VAR debe ser de orden 12, una vez determinado el orden de los rezagos, se procedió a obtener el modelo significativo, que de acuerdo a la ecuación (35):

$$y_t = \nu + A_1 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + A_3 y_{t-3} + A_4 y_{t-4} + A_5 y_{t-5} + A_6 y_{t-6} + A_7 y_{t-7} + A_8 y_{t-8} + A_9 y_{t-9} + A_{10} y_{t-10} + A_{11} y_{t-11} + A_{12} y_{t-12} + u_t$$

54

donde: $y_t = \begin{bmatrix} DLPA_t \\ DLCCG_t \end{bmatrix}$ y $u_t = \begin{bmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \end{bmatrix}$ es el vector de errores.

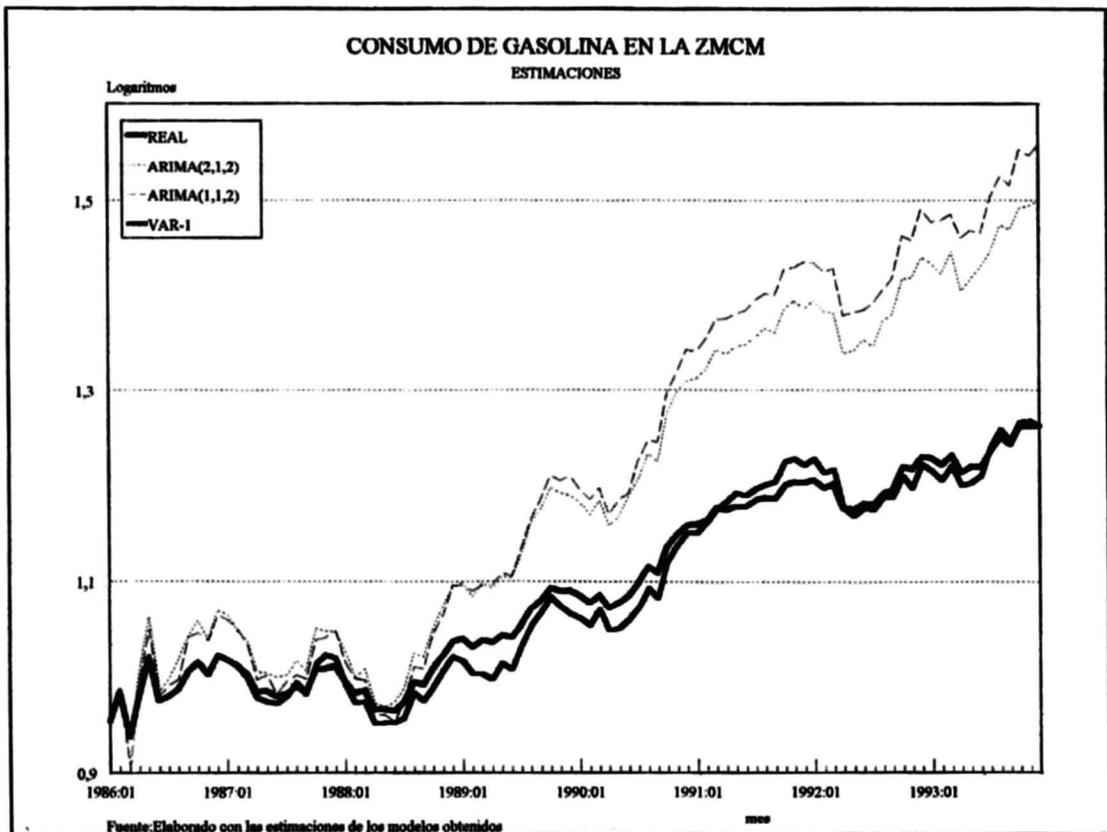
Las matrices A_i , y el vector ν están en el apéndice (D2).

Los ajustes de este modelo se obtuvieron por medio de la ecuación (30) y se presentan en los Gráficos 14 y 15.

El ajuste de la estimación conserva la tendencia y se observa que, para ambas variables, es mejor que por la evaluación de los modelos ARIMA. Se observa, a su vez, que el precio de los automóviles depende de su rezago inmediato y del número 11, y al ser diferencias indica estacionalidad anual,

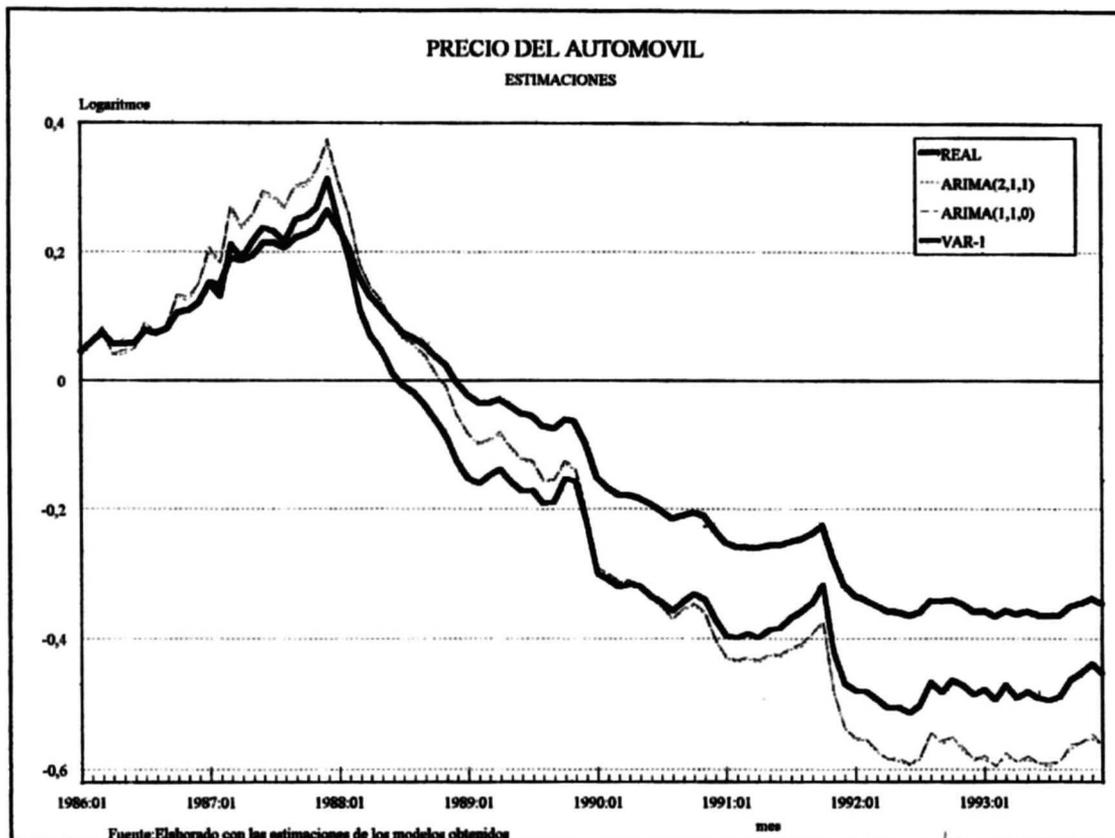
también del rezago 12 del consumo de gasolina. Mientras este último tiene dependencia de sus rezagos 2, 5, 6, 8, 12, es decir, se encuentra muy relacionado a su pasado con estacionalidad semestral y anual. Es significativo que en este caso se resalte este punto, pues en los análisis de los correlogramas de estas variables no resultaron significativos los rezagos con periodicidad semestral o anual.

Gráfico 14



Se introdujeron más variables al sistema para realizar otros modelos y observar si el ajuste mejoraba.

Gráfico 15



5.2. VARIABLES EXÓGENAS.

Inicialmente, para considerar un segundo modelo (VAR-2), se introdujeron tres variables exógenas: el índice de la producción industrial para ambas variables, como consecuencia de lo señalado al principio de este capítulo, el precio de la gasolina para el consumo de la misma y la tasa de interés al precio de los automóviles, así como algunas variables de política económica como el “Pacto de Estabilidad y Crecimiento Económico” que se firmó en diciembre de 1987 (García Alba, 1993), y el programa “Hoy No Circula” como una variable de

política ecológica. Estas variables al ser determinadas para tener vigencia a partir o durante cierto período serán manejadas como variables dicotómicas.¹⁷

5.2.1. LAS VARIABLES DE INTERVENCIÓN.

El programa ambiental inició a partir del 20 de noviembre de 1989 y tuvo duración temporal hasta el último día de febrero de 1990. A partir del 1° de marzo del mismo año, el programa se hace permanente. En base a estas consideraciones se determinan las siguientes variables:

HNC con vigencia desde noviembre de 1989 en adelante,

HNCT de noviembre de 1989 a febrero de 1990,

HNCP de marzo a julio de 1990,

HNC1 de julio a noviembre de 1990.

Para la evaluación del Pacto se determinó la variable PACTOL que funciona a partir de diciembre de 1987 y en adelante.

Una vez evaluado este modelo se encontró que sólo algunas de estas variables fueron significativas: HNCT para el consumo de gasolina, y HNC, HNCT y PACTOL para el precio de los automóviles, obteniéndose el siguiente modelo:

¹⁷ Al involucrar al vector w con variables exógenas el modelo es un VARX

$$y_t = A_1 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + A_6 y_{t-6} + A_9 y_{t-9} + A_{10} y_{t-10} + A_{11} y_{t-11} + B_1 x_{t-1} + B_2 x_{t-2} + B_3 x_{t-3} + B_5 x_{t-5} + B_6 x_{t-6} + B_7 x_{t-7} + B_8 x_{t-8} + B_9 x_{t-9} + Cw + u_t \quad 55$$

$$\text{donde: } y_t = \begin{bmatrix} DLPA_t \\ DLCG_t \end{bmatrix} \quad x_{t-k} = \begin{bmatrix} DLIP_{t-k} \\ TIR_{t-k} \\ LPRG_{t-k} \end{bmatrix} \quad w = \begin{bmatrix} PACTOL \\ HNC \\ HNCT \end{bmatrix}$$

Las matrices A_i , B_j , C están en el apéndice (D3).

De este modelo se observa que el precio de los automóviles por medio de la intervención del Pacto es afectado de manera estructural, y también por el “Hoy No Circula” durante su duración temporal y permanente; mientras que el consumo de gasolina es afectado únicamente por el programa “Hoy No Circula” de manera temporal.

Los ajustes que se obtuvieron con la ecuación (30) se observan en los gráficos 16 y 17 donde se pueden comparar con los dados por el primer VAR.

Al comparar los ajustes del VAR-1 con el VAR-2 se observa que al introducir más variables explicativas al modelo, este se ajusta mejor, aunque la mejoría ya no es tan marcada como ocurrió con los ARIMA's.

Gráfico 16

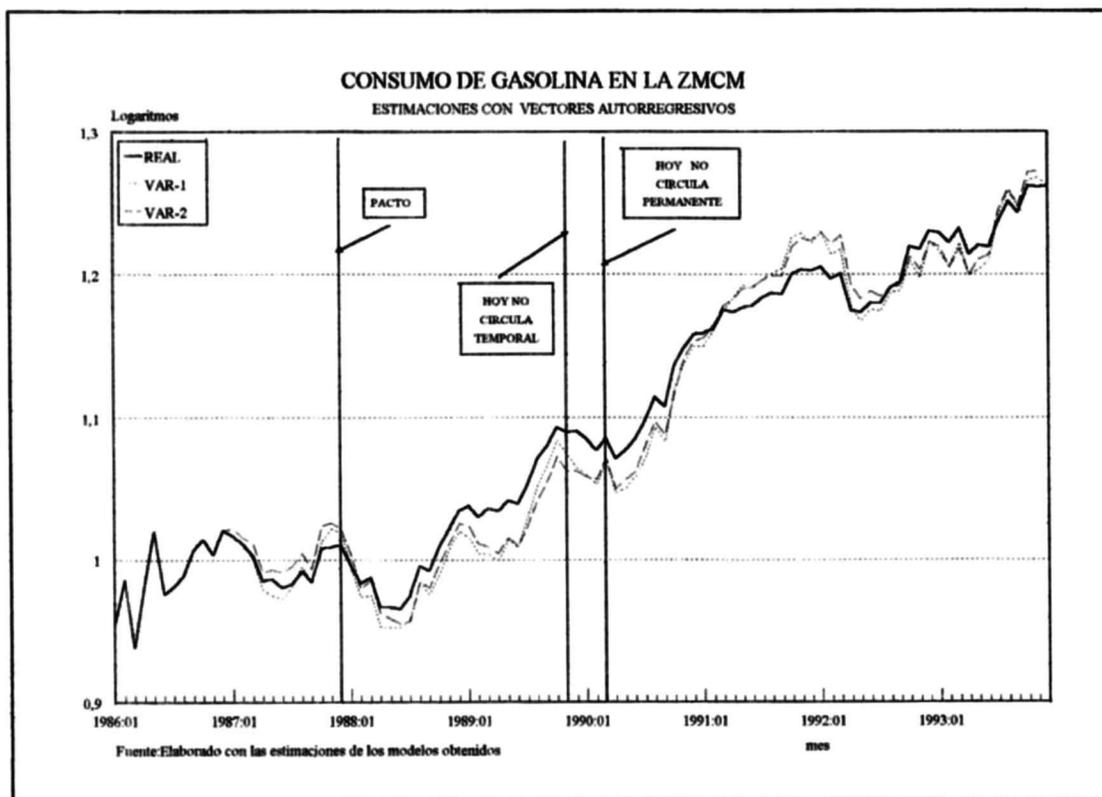
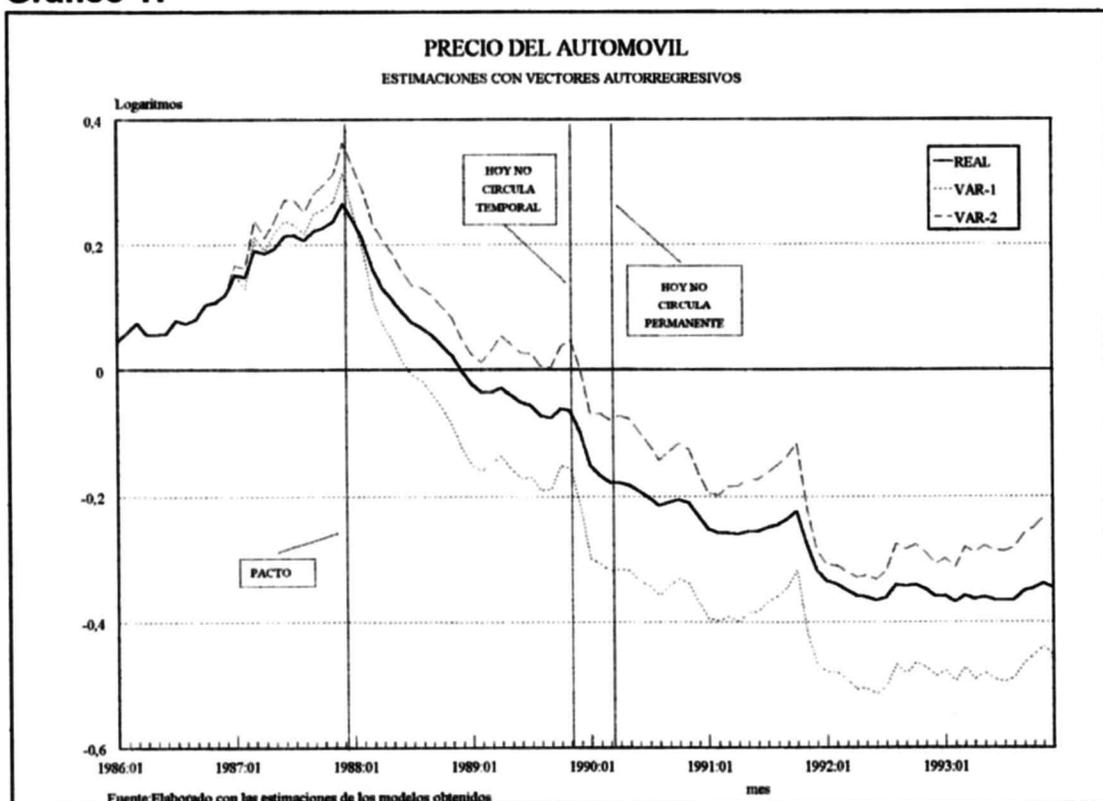


Gráfico 17



5.3. EVALUACIÓN DEL VERANO.

En un nuevo modelo (VAR-3) en el que además de las variables ya consideradas, se incluye una nueva variable dicotómica que se denomina VER, con la que se pretende evaluar si existe alguna tendencia estacional de las variables en estudio durante el periodo de las vacaciones veraniegas de las instituciones educativas; período que consideró los meses de julio y agosto.

Al evaluar este modelo se encontró que HNCT y VER fueron significativas para el consumo de gasolina y para el precio de los automóviles sólo lo fue PACTOL, obteniéndose el siguiente modelo:

$$y_t = A_1 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + A_6 y_{t-6} + A_9 y_{t-9} + A_{10} y_{t-10} + A_{12} y_{t-12} + B_1 x_{t-1} + B_2 x_{t-2} + B_6 x_{t-6} + B_7 x_{t-7} + B_8 x_{t-8} + B_9 x_{t-9} + Cw + u_t \quad 56$$

$$\text{donde: } y_t = \begin{bmatrix} DLPA_t \\ DLCC_t \end{bmatrix} \quad x_{t-k} = \begin{bmatrix} DLIP_{t-k} \\ TIR_{t-k} \\ LPRG_{t-k} \end{bmatrix} \quad w = \begin{bmatrix} PACTOL \\ HNCT \\ VER \end{bmatrix}$$

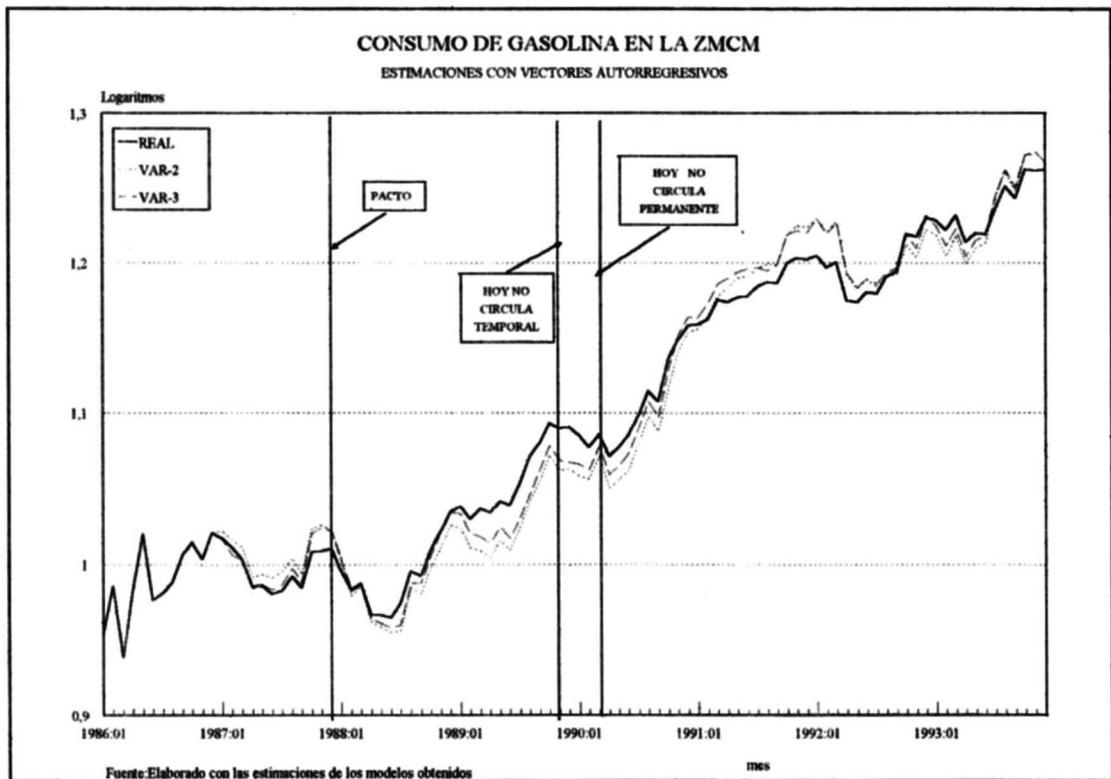
Las matrices A_i , B_j , C están en el apéndice (D4).

De este modelo se observa que el precio de los automóviles es afectado por la intervención del Pacto de la misma forma que en el modelo anterior, pero ya no es impactado por las variables del programa ambiental. Por otro

lado el consumo de gasolina es afectado por el “Hoy No Circula” únicamente durante su vigencia temporal y por la variable verano.

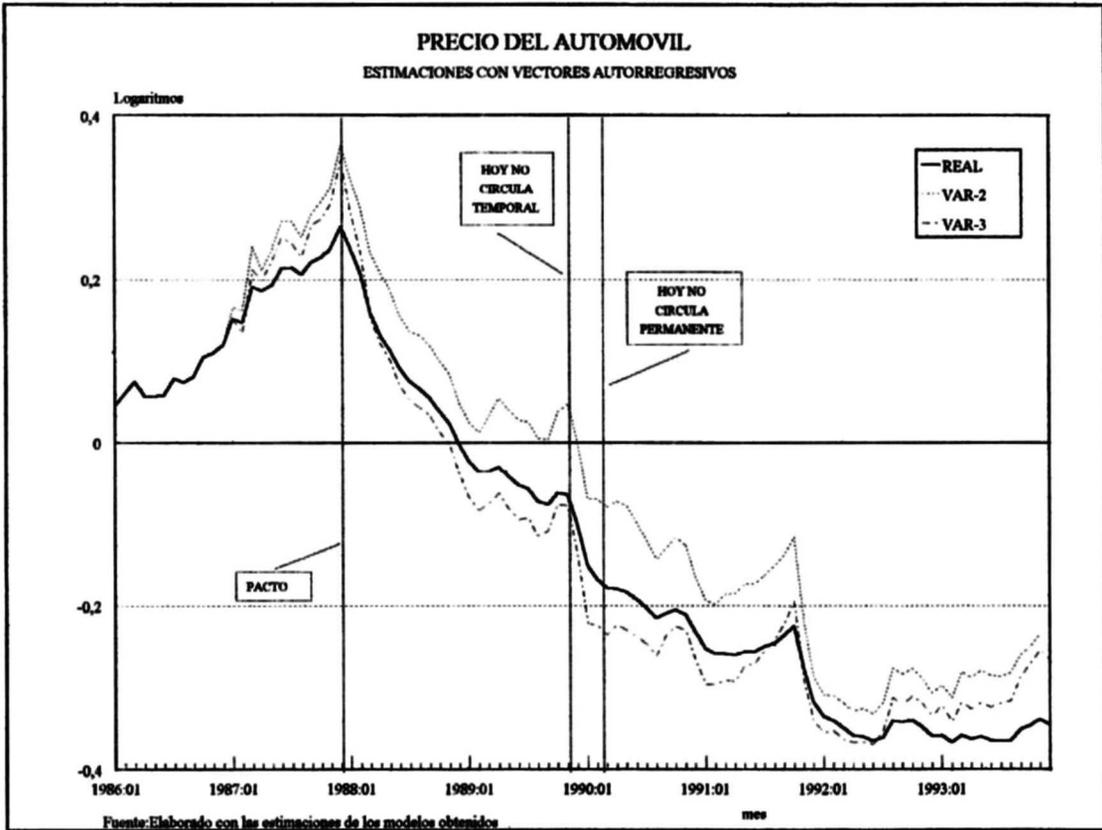
Los ajustes se observan en los gráficos 18 y 19 que se obtuvieron con la ecuación (30).

Gráfico 18



El ajuste que se obtiene es mejor aún que el del VAR-2, recalcando que ya no es muy notoria la diferencia para el consumo de gasolina, pero si para el precio de los automóviles.

Gráfico 19



5.4 EL PACTO EN EL CORTO PLAZO.

Se consideró una variable en la que el Pacto tuviera un efecto inmediato en el sistema, denominada PACTOC con duración de diciembre de 1987 a abril de 1988. En la evaluación del modelo se encontró que HNCT, PACTOC y VER fueron significativas para el consumo de gasolina y para el precio de los automóviles sólo lo fue PACTOC y HNCT.

El modelo obtenido es el siguiente:

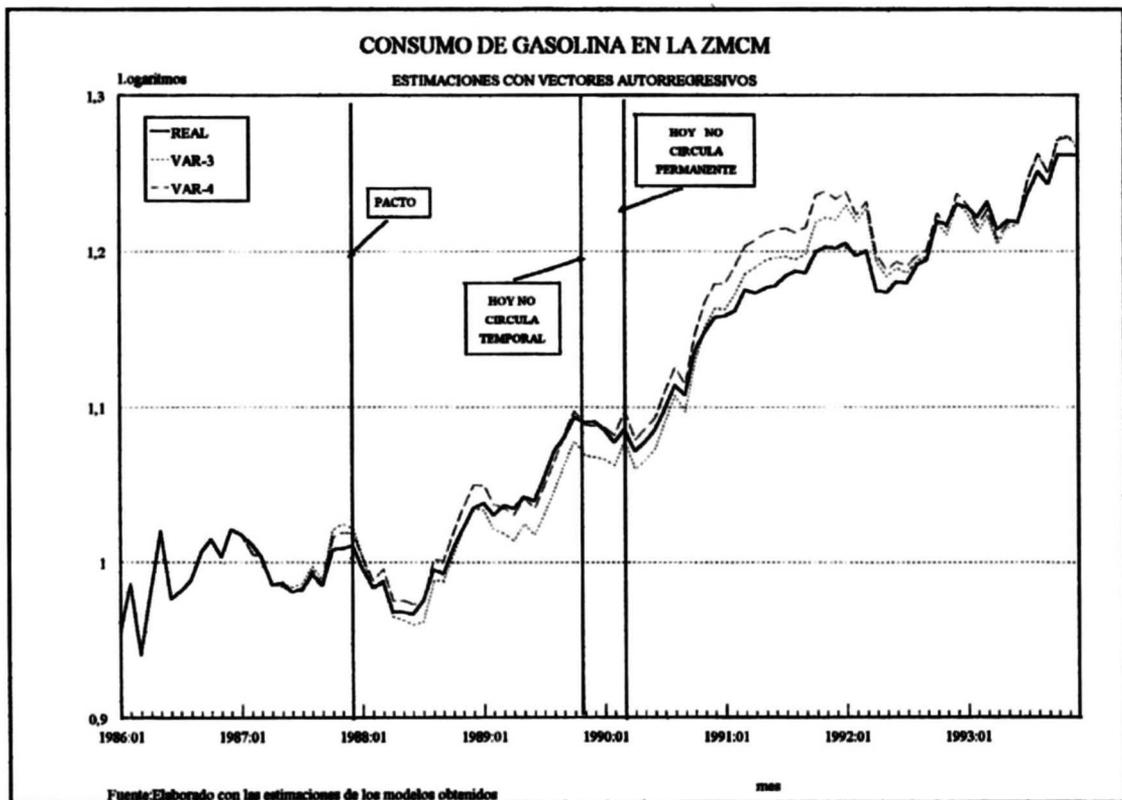
$$y_t = A_1 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + A_3 y_{t-3} + A_4 y_{t-4} + A_5 y_{t-5} + A_6 y_{t-6} + A_7 y_{t-7} + A_8 y_{t-8} + A_9 y_{t-9} + A_{10} y_{t-10} + A_{12} y_{t-12} + B_1 x_{t-1} + B_2 x_{t-2} + B_3 x_{t-3} + B_4 x_{t-4} + B_5 x_{t-5} + B_6 x_{t-6} + B_7 x_{t-7} + B_8 x_{t-8} + B_9 x_{t-9} + Cw + u_t$$

57

donde: $y_t = \begin{bmatrix} DLPA_t \\ DLCA_t \end{bmatrix}$ $x_{t-k} = \begin{bmatrix} DLIP_{t-k} \\ TIR_{t-k} \\ LPRG_{t-k} \end{bmatrix}$ $w = \begin{bmatrix} PACTOC \\ HNCT \\ VER \end{bmatrix}$

Las matrices A_i , B_j , C están en el apéndice (D5).

Gráfico 20



Se observa que el precio de los automóviles es afectado por la intervención del Pacto, y por la variable del programa ambiental en el período

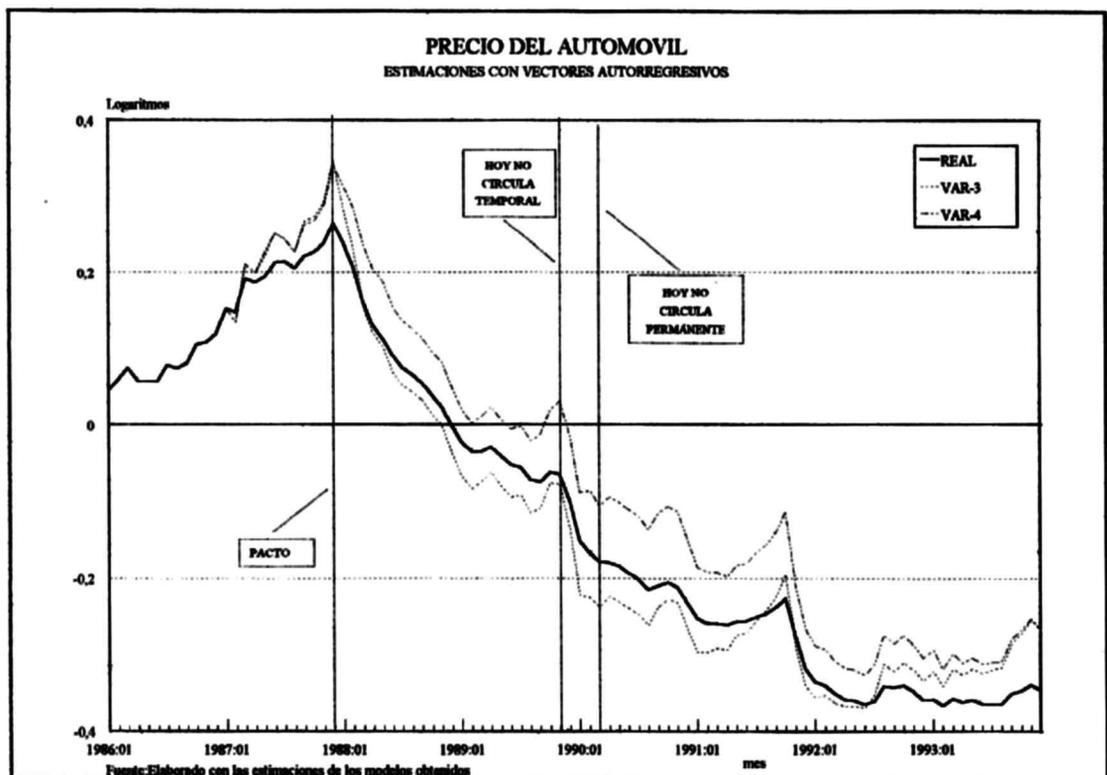
temporal. El consumo de gasolina es afectado por el “Hoy No Circula” únicamente durante su vigencia temporal, por el pacto y por la variable verano.

Los ajustes que se obtuvieron con la ecuación (30) se observan en los gráficos 20 y 21.

Para el consumo de gasolina el ajuste del VAR-4 es muy bueno, excepto en el período de finales de 1990 a principios de 1992. Este modelo se considera, salvo esta situación, el que mejor se ajusta al proceso.

Mientras que para el precio del automóvil el ajuste es bueno, pero no mejor que el anterior.

Gráfico 21



5.5. DETERMINACIÓN DEL MODELO.

De los ajustes obtenidos para los cuatro vectores autorregresivos anteriormente evaluados, podemos observar que el tercer modelo tiene un mejor ajuste para el precio de los automóviles y el cuarto para el consumo de gasolina. Por este motivo se determinó un quinto modelo como definitivo, el cual comprende a los dos ajustes mencionados.

De ello resulta el siguiente modelo:

$$y_t = \mathbf{A}_1 y_{t-1} + \mathbf{A}_2 y_{t-2} + \mathbf{A}_3 y_{t-3} + \mathbf{A}_4 y_{t-4} + \mathbf{A}_5 y_{t-5} + \mathbf{A}_6 y_{t-6} + \mathbf{A}_7 y_{t-7} + \mathbf{A}_8 y_{t-8} + \mathbf{A}_9 y_{t-9} + \mathbf{A}_{10} y_{t-10} + \mathbf{A}_{11} y_{t-11} + \mathbf{A}_{12} y_{t-12} + \mathbf{B}_1 x_{t-1} + \mathbf{B}_2 x_{t-2} + \mathbf{B}_3 x_{t-3} + \mathbf{B}_4 x_{t-4} + \mathbf{B}_5 x_{t-5} + \mathbf{B}_6 x_{t-6} + \mathbf{B}_7 x_{t-7} + \mathbf{B}_8 x_{t-8} + \mathbf{B}_9 x_{t-9} + \mathbf{C}w + u_t \quad 58$$

$$\text{donde: } y_t = \begin{bmatrix} DLPA_t \\ DLCC_t \end{bmatrix} \quad x_{t-k} = \begin{bmatrix} DLIP_{t-k} \\ TIR_{t-k} \\ LPRG_{t-k} \end{bmatrix} \quad w = \begin{bmatrix} PACTOL \\ PACTOC \\ HNCT \\ VER \end{bmatrix}$$

Las matrices \mathbf{A}_i , \mathbf{B}_j , \mathbf{C} están en el apéndice (D6).

Este modelo se determinó para su utilización porque es el que presenta los menores valores (absolutos) de las varianzas y covarianzas, y de los errores estandar.

5.6. IMPULSOS.

En la sección anterior, se realizó una partición del conjunto de variables en subconjuntos x_t y z_t para determinar la causalidad de Granger. La definición

involucra las variables del sistema, sin embargo, es de interés saber como responde una variable a impulsos en otra de un sistema que involucra a algunas más. Podemos decir que si una variable responde a un impulso, en otra existe causalidad de la segunda a la primera. A continuación, se estudiará este tipo de causalidad graficando el efecto de un choque exógeno o innovación en una de las variables sobre alguna otra. Esta respuesta a impulsos es frecuentemente llamada análisis del multiplicador.

Un supuesto problemático en la respuesta a este tipo de análisis a impulsos es que el choque ocurre sólo en una variable a un tiempo dado. Si un choque en una variable se debe a fuerzas que afectan a todas ellas, puede ser interpretado como una respuesta de coeficientes dinámicos de la matriz A_i . Esta es una razón de porqué las respuestas a impulsos son elaboradas en términos de una representación de promedios móviles (MA). Así la ecuación (34) se expresa como un MA infinito de la siguiente forma:

$$Y_t = A^{-1}(L)u_t \quad 59$$

que se puede representar como:

$$Y_t = \sum_{i=0}^{\infty} \Theta_i w_{t-i} \quad 60$$

donde los componentes de w_t no están correlacionados y tienen varianza unitaria, $\Sigma_w = I_k$, que es obtenida por una descomposición $\Sigma_w = PP'$, donde P

es cualquier matriz triangular inferior que resuelva la ecuación, y definimos

$$\Theta_s = A_i P \text{ y } w_t = P^{-1} u_t$$

Dado que la varianza de los componentes es uno, una innovación unitaria es sólo aquella que tiene tamaño de una desviación estándar. Los elementos de Θ_i son interpretados como las respuestas del sistema a tales innovaciones (Lütkephol, 1991). La diferencia de la representación del modelo en términos de A_i y de Θ_i corresponde a la diferencia entre la *forma reducida* y la *forma estructural* del sistema. Graficar las respuestas del VAR a un choque aleatorio es equivalente a obtener la representación estructural del sistema.

Existen varias posibles factorizaciones de la matriz Σ_w que es positiva definida, entre las que se encuentra la matriz de Choleski (Doan, 1992). Esta matriz tiene el problema de que, al cambiar el orden de las variables en el sistema, cambian los resultados de los choques en las variables, entendiéndose como una representación semi-estructural.

Debido a que no es fácil determinar cuál debe ser el orden de las variables, Bernanke (1986) y Sims (1980) han propuesto formas alternativas que dependen de cierta intuición respecto a las variables del modelo (Doan, 1992).

De la representación del VAR:

$$y_t = \sum_{s=1}^N A_s y_{t-s} + u_t \quad \text{con} \quad E(u_t u_t') = \Sigma_u \quad \mathbf{61}$$

Los coeficientes de rezago A_s pueden estimarse por medio de mínimos cuadrados ordinarios, sin considerar restricciones en Σ_u . Si suponemos un modelo para un proceso de innovación u , no ortogonal:

$$\begin{aligned} u_{1t} &= v_{1t} \\ u_{2t} &= \gamma u_{1t} + v_{2t} \end{aligned} \quad \mathbf{62}$$

donde asumimos que v_{1t} y v_{2t} son ortogonales. Esto impone una restricción a Σ_u : Hay cuatro elementos libres y sólo tres en esta condición, γ y las varianzas de v_{it} . Si escribimos el proceso de innovación como:

$$Au_t = v_t' \quad E(v_t v_t') = \mathbf{D} \quad \mathbf{D} = \textit{diagonal} \quad \mathbf{63}$$

necesitamos minimizar sobre los parámetros libres de A y D en la función de verosimilitud:

$$-2 \ln|A| + \sum n(A S A')_u \quad \mathbf{64}$$

donde S es la matriz de varianzas y covarianzas de los residuos de la muestra.

Este tipo de descomposición estructural se empleada para construir las respuestas a impulsos en las variables.

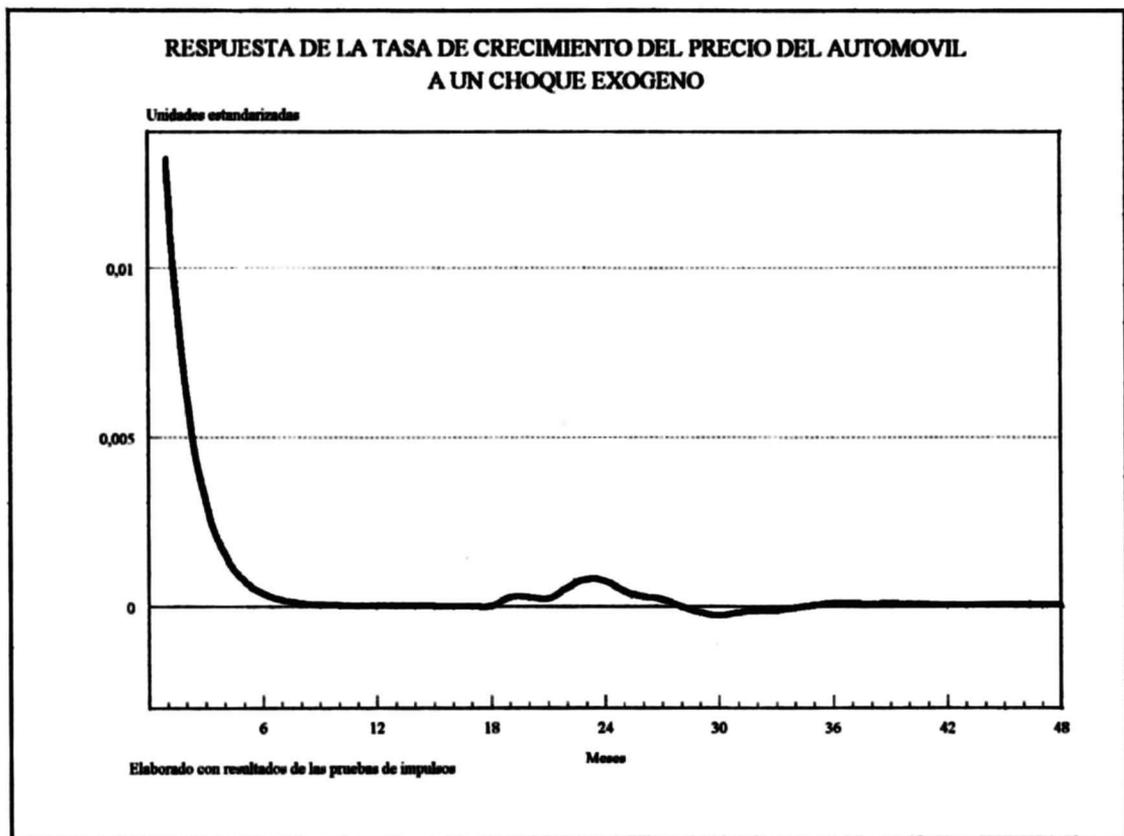
5.6.1. ANALISIS DE LOS IMPULSOS.

La descomposición de Choleski, que es semi-estructural, resultó ser casi igual a la descomposición de Bernanke-Sims que es estructural. De donde puede deducirse entonces que este modelo es de tipo estructural.

Los choques exógenos, como ya se mencionó, pueden darse al haber una alteración sobre la variable en cuestión, o bien, al ser afectada por modificaciones en las variables exógenas.

Primero analicemos los efectos que causa un choque en el precio de los automóviles.

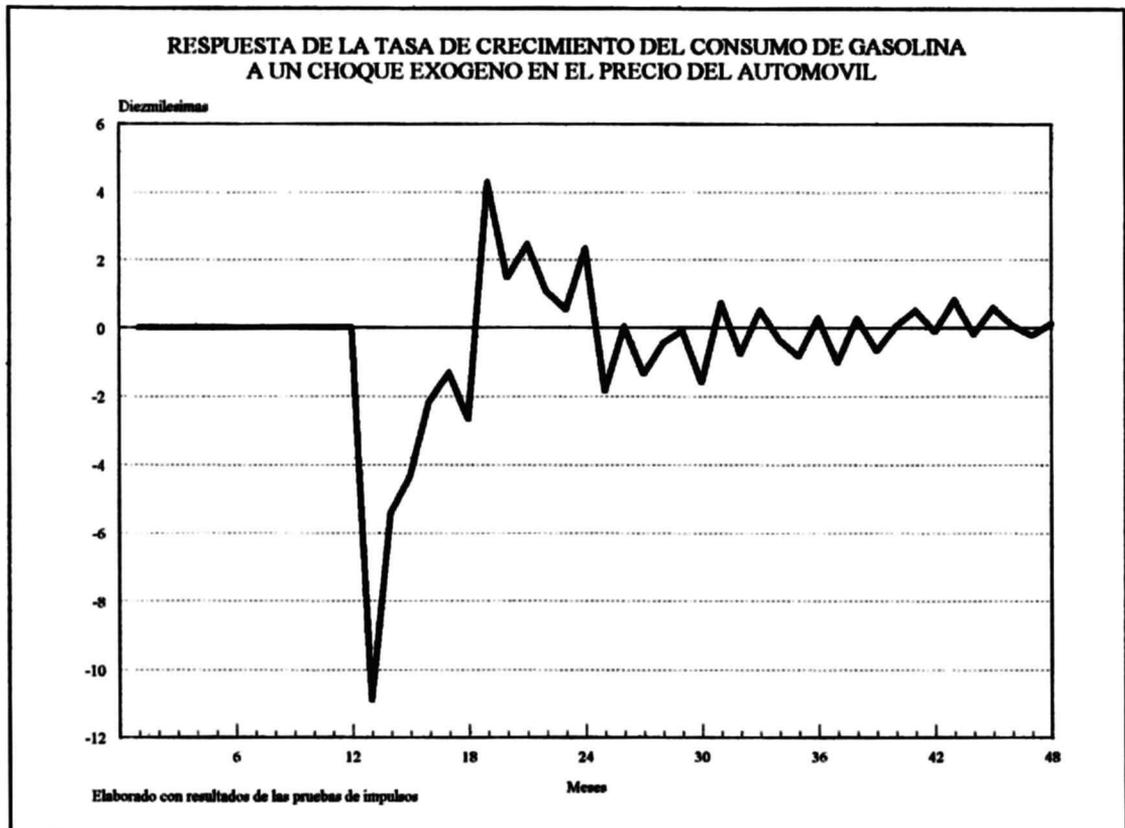
Gráfico 22



En el gráfico 22 se observa cómo afecta un choque exógeno a la tasa de crecimiento del precio de los automóviles a si misma. El efecto se diluye de manera exponencial durante los siguientes nueve meses; se mantiene estable por un período semejante y posteriormente se incrementa durante diez meses,

pero de una forma moderada, para diluirse a lo largo del tiempo de forma oscilatoria.

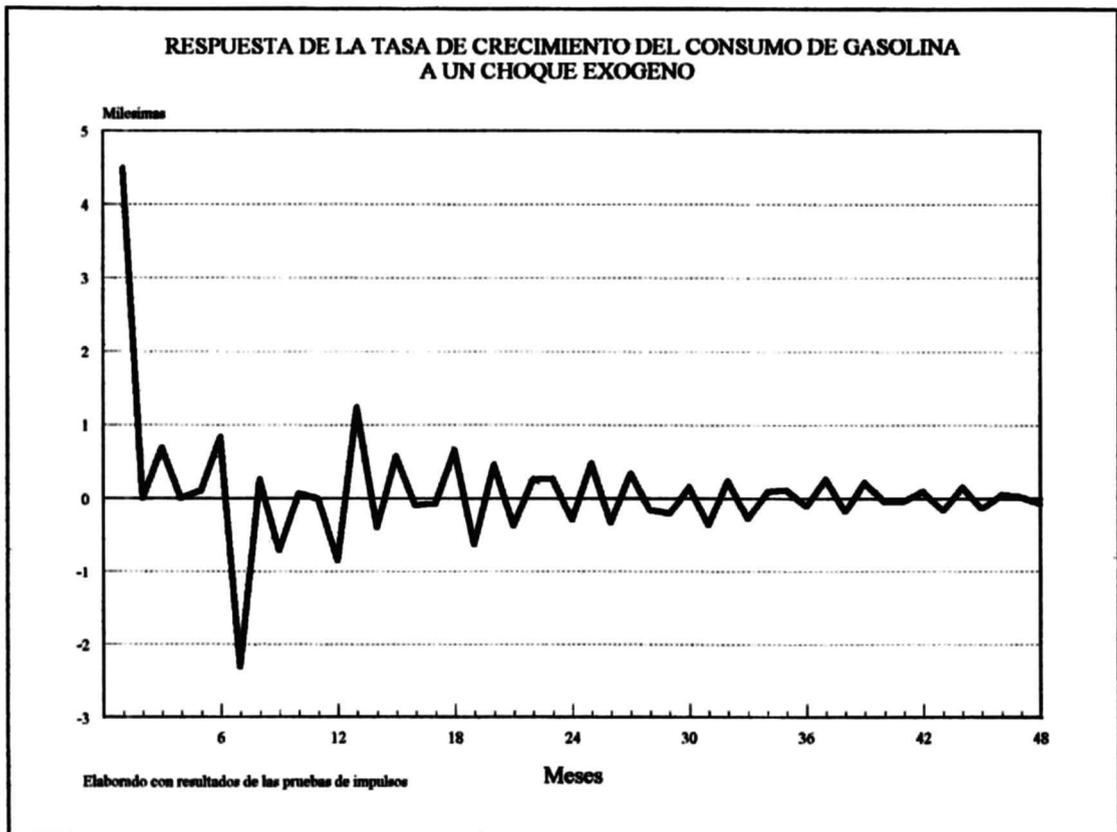
Gráfico 23



En cuanto a la tasa de crecimiento del consumo de gasolina, ésta se ve afectada un año después de que sucedió el choque sobre la tasa de crecimiento del precio de los autos, notándose una disminución súbita que se recupera a los seis meses y tiene un efecto positivo durante el siguiente semestre, para mantener una disminución oscilatoria moderada que tiende a diluirse en el largo plazo, como se puede observar en el gráfico 23.

Un choque exógeno sobre la tasa de crecimiento del consumo de gasolina tiene un efecto sobre si mismo tal que se ve reducido de manera oscilatoria con respuestas semestrales de signo alternante, tendiendo a estabilizarse en el largo plazo al mismo nivel existente antes del choque (véase el gráfico 24).

Gráfico 24



La tasa de crecimiento del precio del automóvil responde a un choque sobre la tasa del consumo de gasolina seis meses después de haber ocurrido, con una disminución considerable que se recupera a los diez meses e

incrementándose un semestre más. Después de este período el efecto se diluye de forma oscilatoria (véase gráfico 25).

Gráfico 25



El objetivo de este trabajo fue la utilización de un modelo econométrico para evaluar la relación existente entre algunas variables relacionadas a los mercados de gasolina y de automóviles. Para de esta forma poder introducir variables dicotómicas que contemplen la efectividad del programa ambiental "Hoy No Circula".

Para la evaluación del programa ambiental "Hoy No Circula" se construyó un modelo con base al cual se estudió el impacto del mismo para cuatro periodos, con el fin de medir su efecto inmediato, de corto, mediano y largo plazo del cual se obtienen las siguientes conclusiones:

1. Los resultados nos indican que dicha medida únicamente resultó significativa en su efecto inmediato en el cual se logró una disminución en el consumo de gasolina, esto es que en tanto fue una medida temporal, el comportamiento de los automovilistas fue el esperado.
2. No tuvo efecto real en la demanda de gasolina en ningún otro período diferente. Es decir, una vez que el programa fue instalado de manera permanente perdió su efectividad.
3. Los individuos al conocer la nueva situación de permanencia del programa se adaptaron, en algunos casos comprando otro automóvil para utilizarlo cuando su vehículo principal no circulaba, y en otros

utilizando más intensamente los automóviles en los días que podían circular, e incluso los sábados se incremento el tráfico para realizar las actividades que no se pudieron hacer en ese día.

4. De esta manera el patrón de consumo de gasolina se restableció rápidamente, es decir, al conocer los individuos las nuevas condiciones del mercado, se crea un nuevo nivel de equilibrio y se desplazan sus curvas de demanda.

El estudio de la demanda de gasolina arroja las siguientes conclusiones:

1. A pesar de que hubo una disminución real en la demanda de gasolina, cuyo nivel se restableció hasta julio de 1990, el modelo indica que el período comprendido entre marzo y julio de dicho año es explicado por la propia tendencia de la curva.
2. Una conclusión importante también es que el consumo de gasolina se ve disminuido cada año durante las vacaciones de verano, explicando un comportamiento estacional que justifica la no necesidad del transporte hacia los centros educativos.
3. El Pacto de Solidaridad Económica al estabilizar la situación económica del país incrementó en el corto plazo la demanda de gasolina.

4. El modelo comprueba la dependencia de demanda de gasolina del nivel de ingreso.
5. También se observa como la demanda de gasolina es determinada por sus precios comprobando condiciones de mercado (precios y cantidades).
6. Una observación más es que la demanda de gasolina tiene una estacionalidad semestral respecto a si misma .
- 7 También se observa la relación de este mercado con el de automóviles al depender la demanda de gasolina del precio de aquellos, justificando así la complementaridad de los mercados.
8. Las conclusiones respecto al Programa que indican la no efectividad del mismo a partir de su vigencia permanente justifican el aumento de la demanda de gasolina por un incremento en el parque vehicular.
9. Este aumento en la existencia de automóviles principalmente fue debido a vehículos usados, incrementando así la vida promedio de estos.

Los resultados para el precio de los automóviles arrojan las siguientes conclusiones:

1. El precio de los automóviles tiene dependencia con la demanda de gasolina, así como del nivel de ingreso.

2. **También se observa que esta variable depende únicamente de su rezago inmediato anterior, de donde puede decirse que respecto a si misma sigue un proceso de tipo *Markov*.**
3. **Se consideraba que la tasa de interés tenía una incidencia directa sobre el precio de los automóviles, pero el modelo indica que esta variable no es determinante para el sistema.**
4. **Considerando las variables de intervención, el precio de los automóviles únicamente fue afectado por el Pacto en forma permanente. Es decir, tuvo una incidencia directa sobre el precio, observándose que en cuanto a este mercado, el Pacto cumplió con su objetivo de controlar los precios y estabilizarlos.**

De la evaluación del modelo pueden obtenerse las siguientes conclusiones complementarias.

1. **Una evaluación por vectores autorregresivos tiene un poder de ajuste mucho mejor que el de un proceso tipo ARIMA. Esta situación se comprende porque al depender una variable de la información existente sobre si misma no involucra comportamientos exógenos a ella, mientras que al involucrar la información de otras variables relacionadas se contemplan más de los fenómenos que afectan al entorno.**

2. En general, con un VAR se obtienen buenas aproximaciones a los comportamientos de las variables, pero éstas pueden ser mejoradas si se introducen variables exógenas al sistema.
3. La consideración de variables de intervención explica ciertos cambios que sufre la serie, mejorando el ajuste que se obtiene en el modelo.

A pesar de que el programa ambiental no tiene un efecto positivo real en estos momentos, su cancelación tendría efectos negativos aumentando la emisión de contaminantes por el incremento súbito del parque vehicular en circulación.

Asimismo se piensa que para un mejor control de la calidad del aire, la proposición contemplada por el Departamento del Distrito Federal que otorgaría una exención del programa a los ciudadanos que tengan automóviles con convertidor catalítico es buena, porque de esta forma se crearán incentivos para que la ciudadanía renueve el parque vehicular.

Con la consideración de una vida promedio de entre 80,000 y 100,000 Km. para un convertidor catalítico, la exención del programa debería reconsiderarse cuando los automóviles estén cerca de cumplir con este recorrido.

Los gobiernos de algunos países, como en el caso español, hacen esfuerzos para sacar de la circulación los automóviles que han cumplido cierto

período de vida comprándolos a sus propietarios para posteriormente destruirlos. En otros países, como el Japón, se ha optado por cargar un impuesto a aquellos automóviles que permanezcan en circulación después de haber pasado su período de vida útil, para que así paguen la externalidad que generan o se vean motivados a cambiar su automóvil por uno de modelo más reciente. Con estas políticas lo que se pretende es tener un parque vehicular con una vida promedio corta, y así disminuir la contaminación emitida por los mismos.

Medidas de esta naturaleza, si bien parecen en una primera lectura como elitistas bajo el supuesto de que atentan contra una población de recursos bajos; viéndolas desde una perspectiva social que cuide la salud de la población en su conjunto, resultarán más democráticas, el falso populismo asociado al uso de medios de transporte que arrojan externalidades negativas para la generalidad, a más de dañar a la vida misma, constituyen una medida de privilegio para grupos en particular y, por lo tanto, adversa al interés general único objetivo de las acciones de gobierno.

En suma, todo autotransporte que cause altos índices de contaminación debe ser gravado de acuerdo a la magnitud del daño social que provoca y cuando más en el mediano plazo se debe retirar de la circulación.

Desde luego los resultados de la lucha contra la contaminación mejorarían si los medios de transporte público fuesen los primeros en cumplir

con las normas de verificación. También si el gobierno se autoobligara a cumplir con las normas que impone a los particulares, y se las impusiera a los concesionarios del transporte público, en tal sentido el parque vehicular de los concesionados debería cambiar una vez cumplida la vida útil del mismo. Complementando esta medida, se debería exigir el cumplimiento del reglamento de tránsito así como una educación vial y ciudadana que induzca a todo aquel trabajador o propietario de un transporte a tener vocación de servicio hacia la ciudadanía.

7. APÉNDICES.

Apéndice A Los Contaminantes

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inodoro, producto intermedio de la combustión incompleta que, al ser inhalado, ocupa el lugar del oxígeno formando carboxihemoglobina lo cual disminuye la cantidad transportada de éste hacia las células. Esto, a su vez, provoca una disminución en la actividad celular relacionada con cansancio y somnolencia llegando a causar, cuando los niveles de este gas son elevados, irritaciones en las vías respiratorias, alteraciones en los sistemas cardiovascular, nervioso central e incluso intoxicaciones. La principal fuente de este gas es la combustión incompleta que se realiza en los motores de Otto impulsados por gasolina y la cantidad emitida depende del grado de afinación y de las condiciones viales que prevalecen en la ciudad. El monóxido de carbono es el contaminante arrojado en mayores cantidades por los vehículos¹.

Los hidrocarburos residuales son aquellos que no fueron degradados completamente durante la combustión interna de los motores y los que se escaparon por evaporación en el carburador y el tanque de gasolina. Existen

¹Según González (1989) la cantidad de monóxido de carbono que emiten los automóviles puede llegar a ser hasta el 85% del total de las emisiones.

más de 200 tipos de estos hidrocarburos, entre los que destacan parafinas, naftenos, acetilenos, aromáticos y olefinas siendo, estas últimas, las más dañinas y reactivas. Estas últimas representan del 45 al 85% de los hidrocarburos de escape de los motores de gasolina y son el principal componente del *smog fotoquímico*. No sobra señalar que son tóxicos causantes de irritación en las mucosas y producen daños en estos tejidos, así como lesiones irreversibles en las células cerebrales.

Los óxidos de nitrógeno se producen durante la combustión como consecuencia de la oxidación del nitrógeno atmosférico, el cual en el ambiente reacciona con el agua mediante la acción catalizadora de los rayos ultravioleta. Se puede oxidar nuevamente para producir ácido nítrico, nitratos y oxígeno atómico. El ácido nítrico posteriormente contribuye a la lluvia ácida, los nitratos incrementan la cantidad de partículas suspendidas en el aire y el oxígeno que al combinarse con el oxígeno molecular forman ozono (O_3). El ozono es considerado como uno de los contaminantes de más importancia porque al reaccionar con los hidrocarburos residuales forma aldehidos y compuestos oxigenados que reaccionan con más óxido nitroso y oxígeno para producir *peroxiacilnitratos*. Estos, junto con el ozono -los aldehidos y el óxido nitroso- son los componentes del *smog fotoquímico* que ataca al sistema respiratorio, causa irritación en las mucosas, reduce la visibilidad, además de dañar plantas, animales y deteriorar materiales y construcciones (González,

1989).

Los bióxidos de azufre, producidos por los motores a diesel y por la utilización de combustóleo en la actividad industrial y de servicios, son el segundo gas emitido en orden de cantidades, pero el primero en cuanto a toxicidad. Al igual que los óxidos nitrosos, se oxidan en la atmósfera para producir ácido sulfúrico y sulfatos.

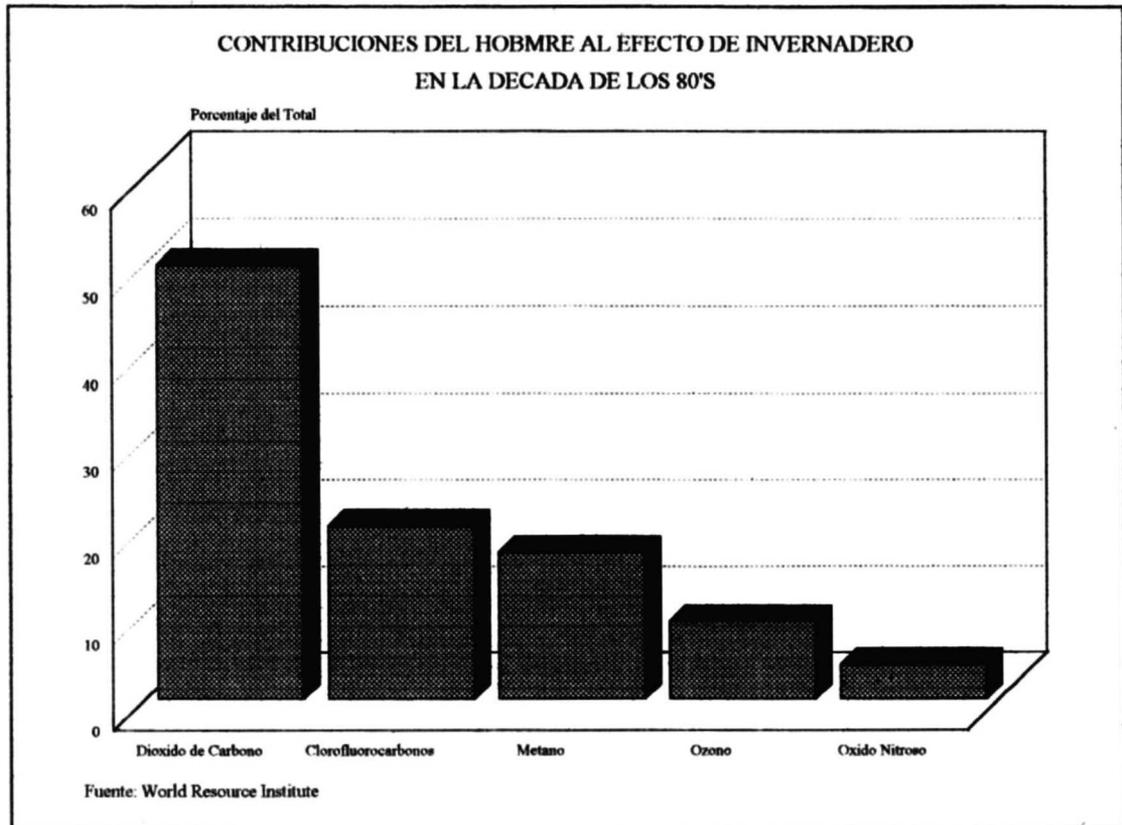
Las partículas suspendidas en el aire además de las sales de nitratos y sulfatos también incluyen a los polvos provenientes de terrenos erosionados, basura y desechos biológicos, minerales pesados y carbón que son generados por los procesos industriales (MacKenzie, 1990). Las partículas tienen un diámetro de entre 0.01 a 100 μm siendo, las más peligrosas, las que miden menos de 15 μm y particularmente las menores a 1 μm porque penetran a los pulmones perforándolos en ocasiones y causan irritaciones en las mucosas que provocan tos, asma, enfisema y bronquitis.

Las partículas contribuyen a disminuir la visibilidad y no permiten la entrada natural de los rayos solares, provocando el efecto de invernadero que afecta el desarrollo normal de los sistemas biológicos.

Otro elemento importante en el ambiente es el plomo (Pb), producido por los vehículos que usan gasolinas con ese contaminante. El plomo es agregado a la gasolina como un antidetonante que también aumenta su eficiencia de combustión. Este metal es altamente tóxico, interviene a nivel de

la respiración celular intoxicando al organismo de manera letal, evitando que el proceso de la respiración se lleve a cabo.

Gráfico A1



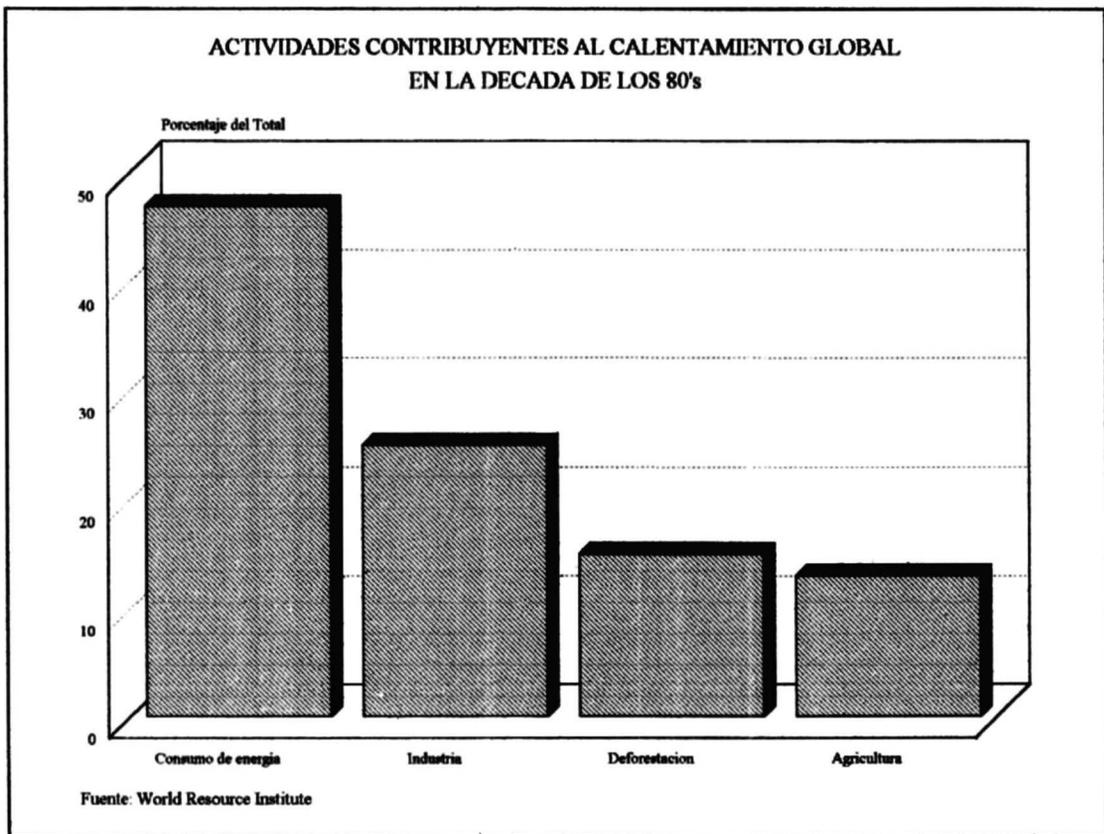
El bióxido de carbono (CO_2) es un gas producido por la quema de combustibles fósiles. Este contaminante desvía los rayos infrarrojos perturbando el balance de energía en la tierra, ya que al evitar la salida de los rayos solares provoca un aumento en la temperatura. Con la presencia del bióxido de carbono, compuestos clorofluorocarbonados, óxidos de nitrógeno y metano se da el efecto *invernadero*ⁱⁱ. Los compuestos que participan en el

ⁱⁱ El efecto de invernadero es también conocido como inversión térmica.

efecto *invernadero* se muestran en el gráfico A1.

Es notorio que el bióxido de carbono contribuye más que cualquier otro gas al efecto *invernadero*, lo que se relaciona con una cantidad elevada de procesos de combustión implicando un consumo energético considerable que se refleja en una emisión alta del gas (véase gráfico A2).

Gráfico A2



De manera global, cerca de dos terceras partes de las emisiones de bióxido de carbono provienen de la quema de combustibles fósiles; el resto primordialmente de la deforestación (MacKenzie, 1990, pp. 3-6).

Un contaminante que no es tóxico pero que sin duda daña a la salud es el ruido, el cual provoca daños al oído tras exposiciones prolongadas y alteraciones al sistema nervioso central. Asimismo, ocasiona irritabilidad y todo lo relacionado con esta sensación.

Un catalizador es un material biológico o químico que tiene la función de acelerar una reacción por la exposición de las partes reactivas de los participantes, sin que el catalizador sea un reactivo o un producto. En nuestro caso y de acuerdo a los límites legales establecidosⁱⁱⁱ y al tipo de motor, pueden utilizarse varios métodos para la purificación de los gases de escape. La purificación de estos gases mediante un catalizador ha sido aceptada como el método más efectivo a nivel mundial. En Estados Unidos y Japón los vehículos para pasajeros han sido equipados con convertidor catalítico desde 1974 (Engler, B. 1994).

Existen tres principales tipos de convertidores catalíticos para motores a gasolina.

- a) Convertidor de una cama con catalizador de oxidación. Este convertidor tiene la función de eliminar los hidrocarburos y el monóxido de carbono.
- b) Convertidor de doble cama. Son dos convertidores catalíticos conectados uno tras otro, el primero de función múltiple y el segundo de oxidación.

ⁱⁱⁱ En el diario oficial del martes 29 de octubre de 1991 se publicó un acuerdo intersecretarial en que las secretarías de Desarrollo Urbano y Ecología, de Energía Minas e Industria Paraestatal y de Comercio y Fomento Industrial establecen las características y los porcentajes de eficiencia de conversión mínima de gases contaminantes de los convertidores catalíticos.

c) Catalizador de tres vías. Tiene un convertidor equipado con un catalizador de función múltiple.

Mientras que el convertido (a) es conveniente para la eliminación de monóxido de carbono y de los hidrocarburos, los convertidores (b) y (c) permiten, además, la eliminación de óxidos de nitrógeno.

El catalizador utilizado en el convertidor puede ser de dos tipos dependiendo del material de soporte utilizado y del recubrimiento activo: los de material de gránulos que consisten en esferas con diámetro de 2-3 mm., y los monolitos de soporte metálico o cerámico que son cuerpos en forma de panal con pasajes paralelos para el gas de escape.

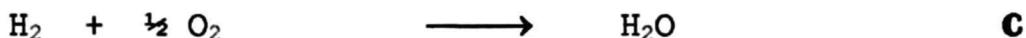
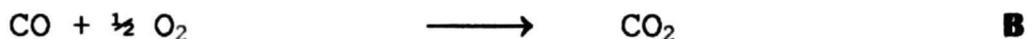
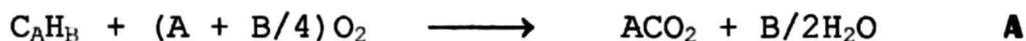
Los catalizadores de gránulos tienen mayor estabilidad mecánica que los de monolito, mientras que estos últimos ofrecen una mayor superficie de intercambio. Los canales de los monolitos están recubiertos con una capa intermedia de óxido, llamado *washcoat* e impregnados con metales preciosos como componentes activos y posteriormente varios tratamientos cerámicos. Debido a la irregularidad de la superficie, estos convertidores ofrecen una superficie activa de aproximadamente $10,000 \text{ m}^2$. El *washcoat* está constituido principalmente por óxidos de aluminio y de cerio, mientras que los metales preciosos se encuentran insertados en los poros en forma de cristales. Los metales que se utilizan en los catalizadores de oxidación son el platino y el paladio, mientras que para los catalizadores de tres vías se utilizan platino,

paladio y rodio. En promedio se requieren de 1.5 a 2 gramos de metales preciosos por vehículo, los cuales podrán ser recuperados cuando el catalizador sea destruido.

El objetivo de los catalizadores es la conversión química de los contaminantes en compuestos inofensivos. Este proceso debe realizarse con la mayor eficiencia posible dado el corto tiempo de permanencia de los gases en el convertidor. En los Estados Unidos los requerimientos de emisión indican que la conversión debe ser aproximadamente del 90%.

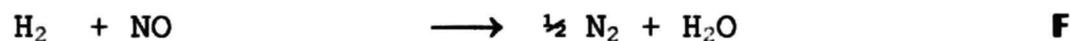
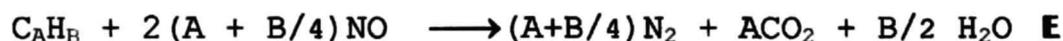
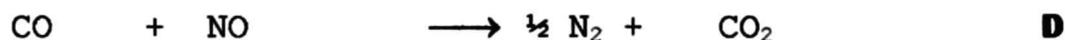
De los tres tipos de convertidores catalíticos mencionados sólo dos son considerados para automóviles, los de oxidación y los de tres vías (Engler, B. 1994). Las reacciones más importantes para eliminar contaminantes de los escapes de los automóviles son: las reacciones de oxidación en que los hidrocarburos y monóxido de carbono se convierten en CO_2 ; reacciones de reducción en las que los óxidos de nitrógeno se se convierten en Nitrógeno y Oxígeno moleculares; Reacciones de hidratación. Debe señalarse que en el convertidor catalítico se llevan a cabo algunas otras reacciones que son no deseadas por la producción de sustancias tóxicas. Estas reacciones se muestran continuación:

Reacciones con oxígeno (oxidación):



La reacción (A) es la oxidación de los hidrocarburos para producir bióxido de carbono y agua. En (B) el monóxido de carbono se oxida para formar bióxido de carbono y en (C) el Hidrógeno se oxida para formar agua.

Reacciones con óxido nitroso (reducción):



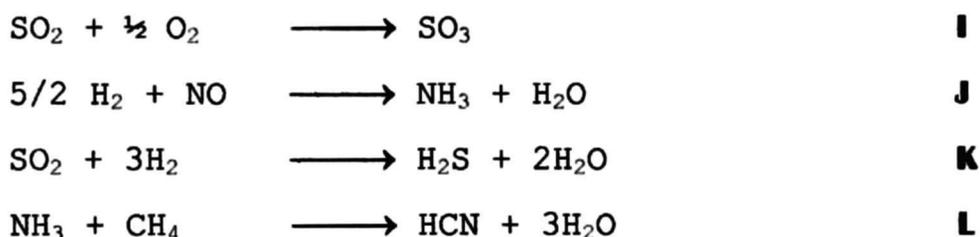
En (D) el monóxido de carbono y el óxido nitroso reaccionan para producir bióxido de carbono y nitrógeno molecular. En (E) los hidrocarburos al reaccionar con el óxido nitroso forman los mismos compuestos que en la reacción anterior más agua. En (F) el hidrógeno con el óxido nitroso forma nitrógeno molecular y agua.

Reacciones con agua (hidratación):



Al reaccionar con agua, los hidrocarburos forman bióxido de carbono e hidrógeno, mientras que el monóxido de carbono forma bióxido más hidrógeno.

En los convertidores catalíticos también se llevan a cabo algunas reacciones que no son deseables porque producen compuestos tóxicos:



Estas reacciones no son deseables, pues causan la emisión secundaria de amoníaco, trióxido de azufre, ácido sulfhídrico y ácido cianhídrico.

Asimismo cabe señalar que los depósitos de plomo y aditivos de aceite envenenan el catalizador deteriorando la conversión de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno^{iv}.

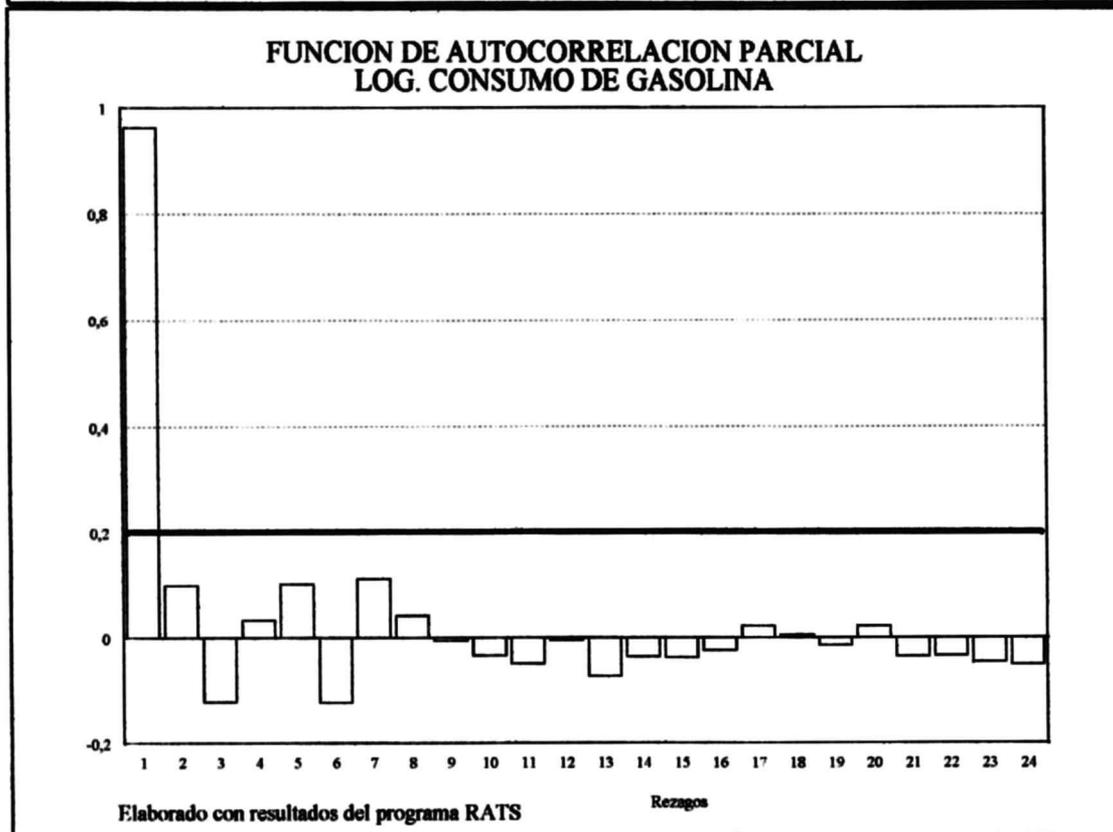
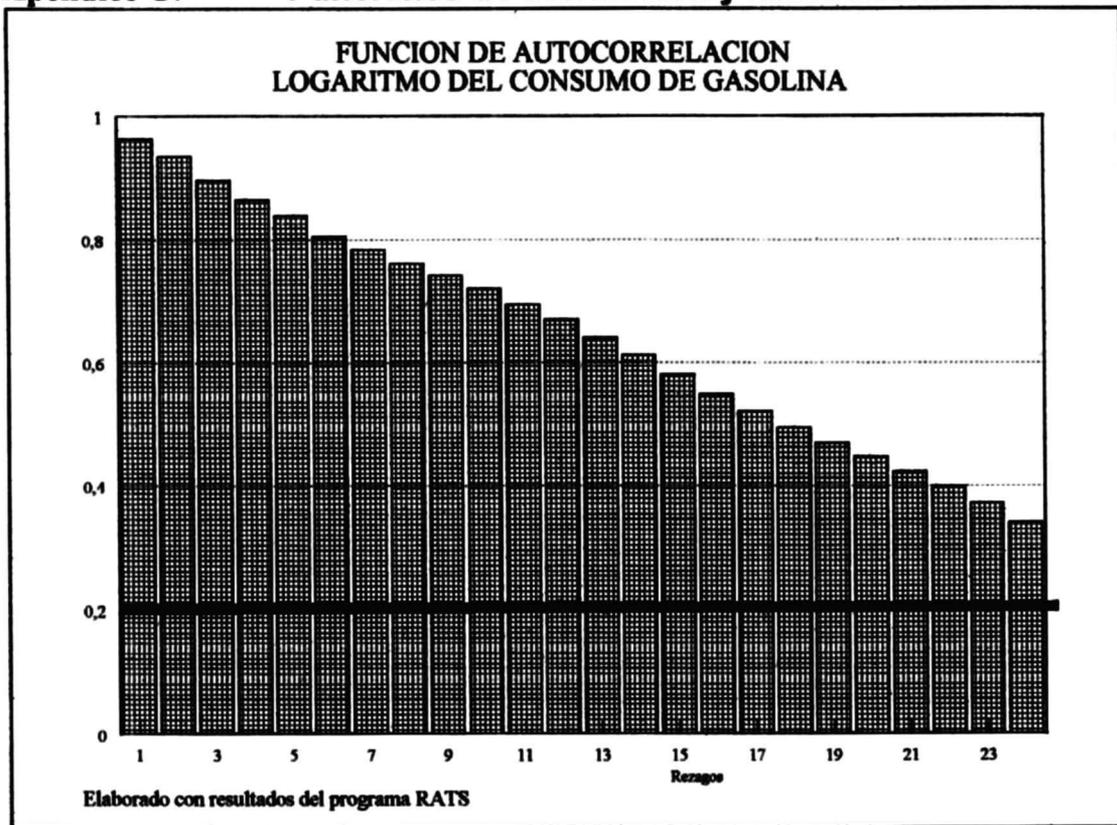
En un catalizador de tres vías la emisión de hidrocarburos como la de monóxido de carbono se reduce en un 90%, la de óxidos de nitrógeno en un 95%. Los hidrocarburos altamente tóxicos como el benceno en 87%, las cianidas en 94%, los aldehidos en 95% y los hidrocarburos aromáticos

^{iv} Esta es la razón por la cual los automóviles de reciente modelo no pueden utilizar gasolina con plomo.

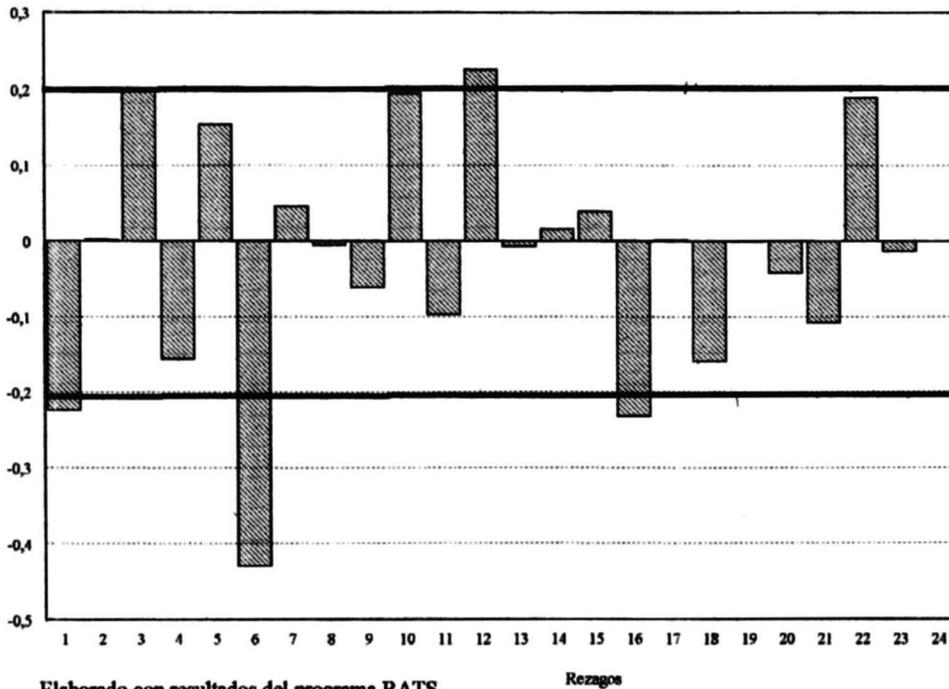
polinucleados en un 93%^v. El convertidor catalítico más aceptado en la industria automotriz es el de tres vías por su mayor capacidad de conversión.

^vLos hidrocarburos aromáticos polinucleados como los antracenos, pirenos y fluorantrenos son considerados como carcinogénicos.

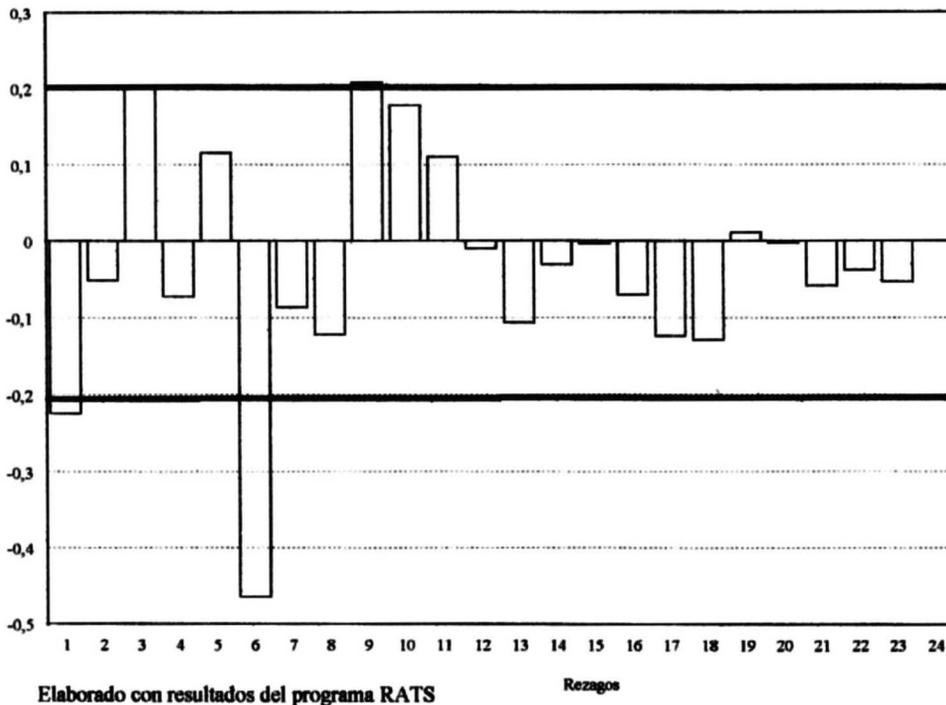
Apéndice C: Funciones de correlación y autocorrelación.



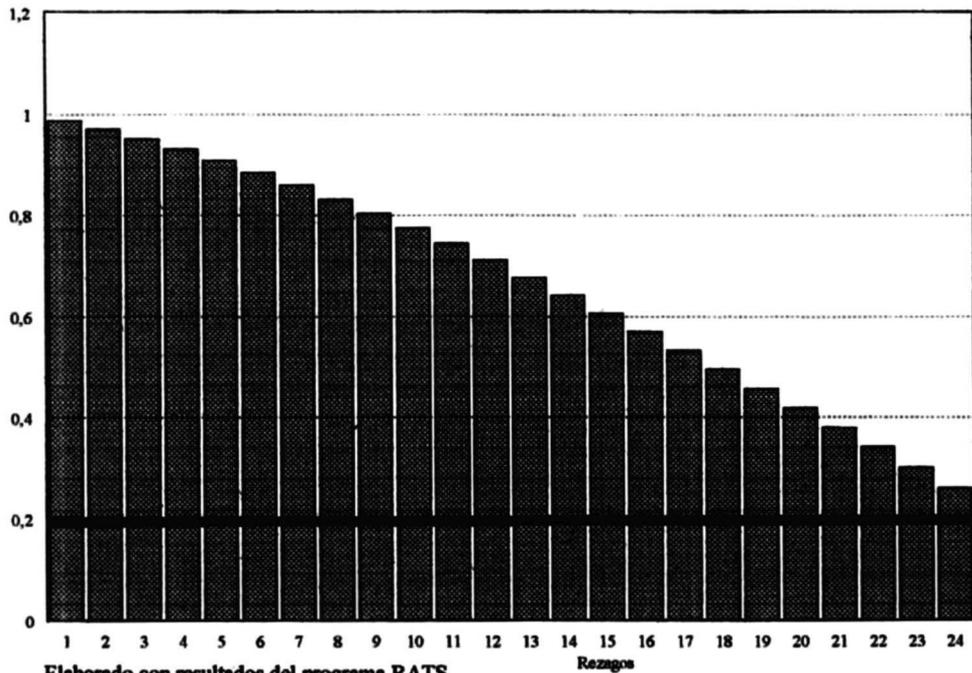
**FUNCION DE AUTOCORRELACION
DIFERENCIAS DEL LOG. CONSUMO DE GASOLINA**



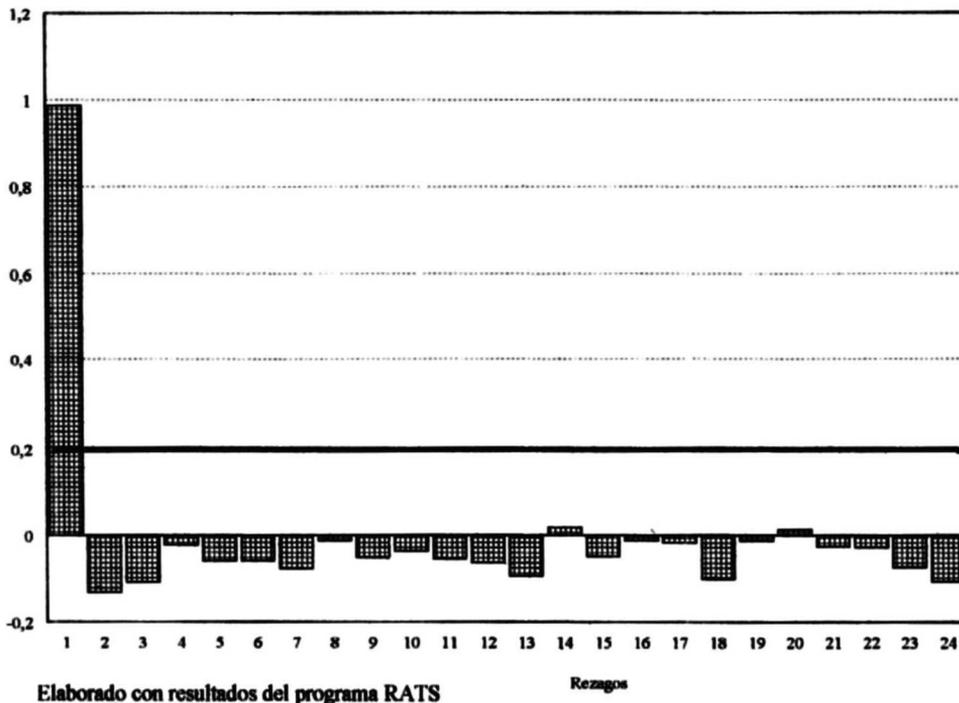
**FUNCION DE AUTOCORRELACION PARCIAL
DIFERENCIAS DEL LOG. CONSUMO DE GASOLINA**



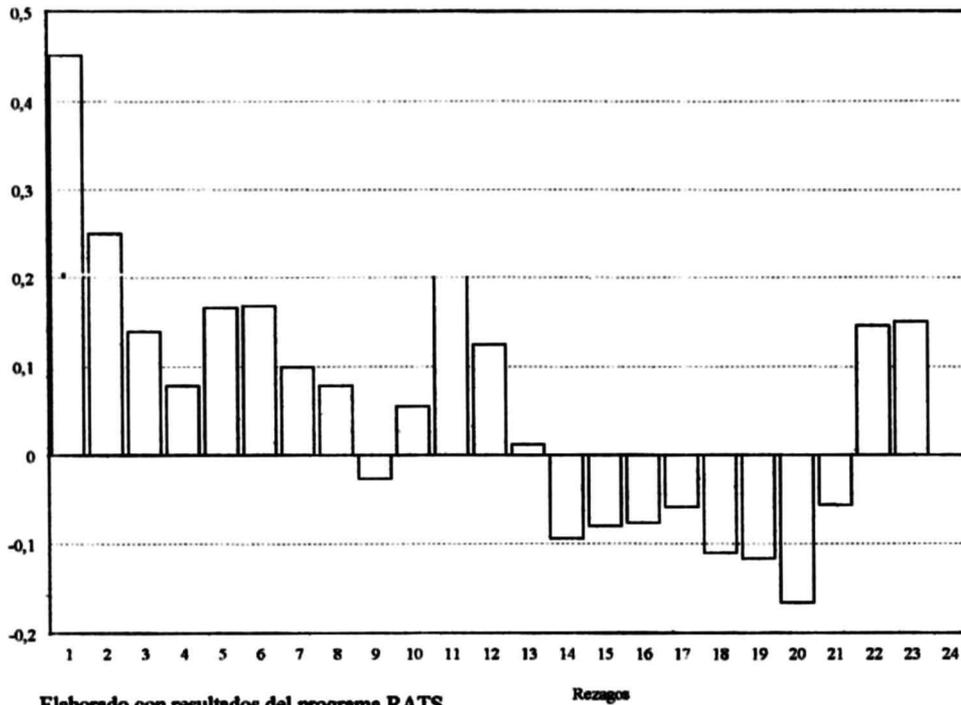
**FUNCION DE AUTOCORRELACION
LOG. PRECIO DE LOS AUTOMOVILES**



**FUNCION DE AUTOCORRELACION PARCIAL
LOG. PRECIO DEL AUTOMOVIL**



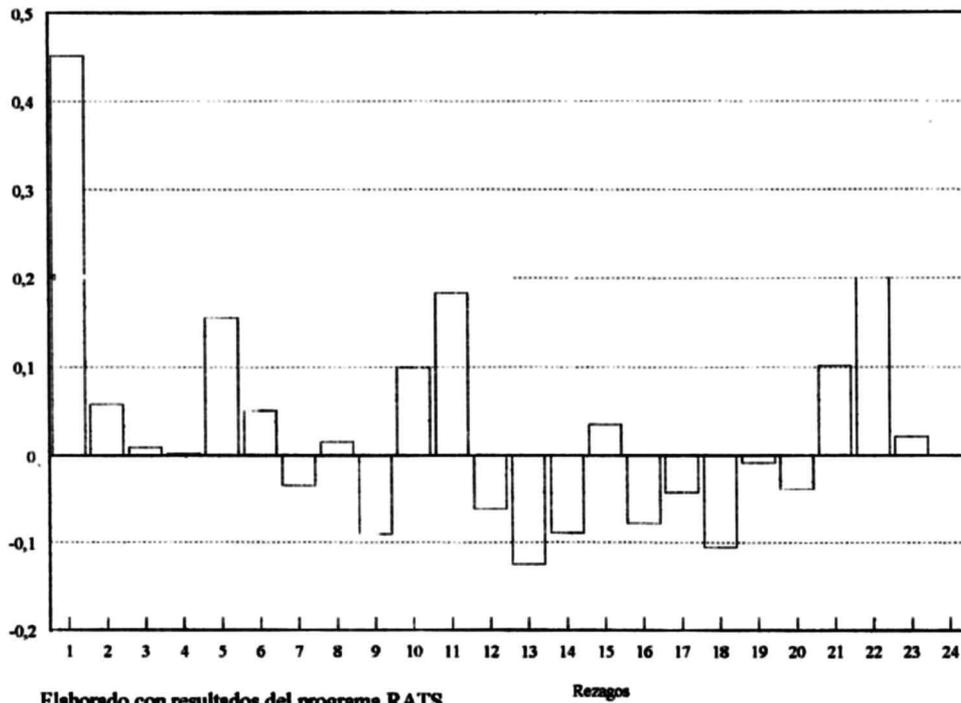
**FUNCION DE AUTOCORRELACION
DIFERENCIAS LOG. PRECIO DEL AUTOMOVIL**



Elaborado con resultados del programa RATS

Rezagos

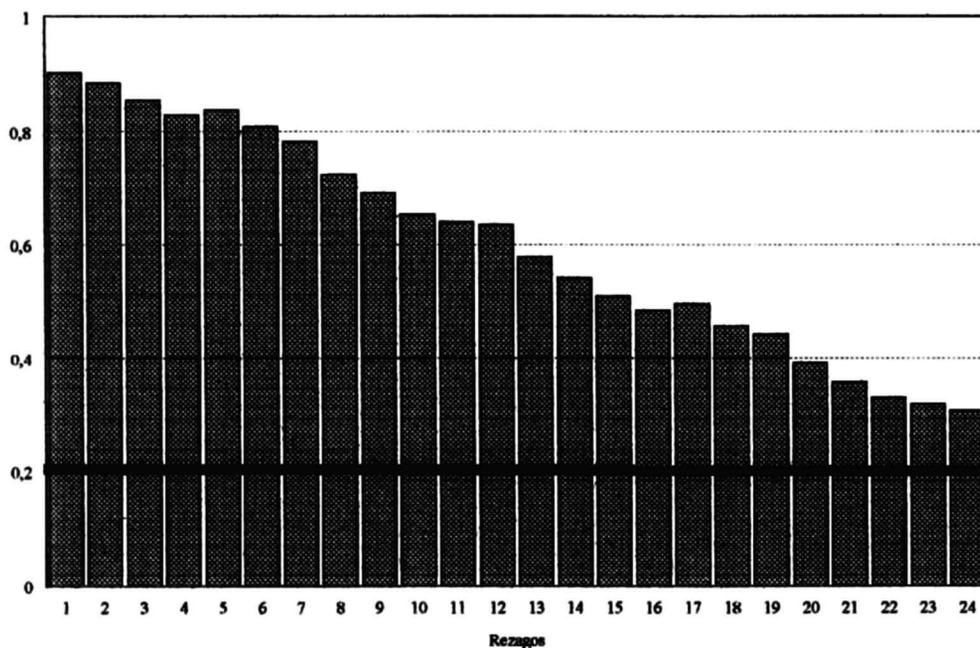
**FUNCION DE AUTOCORRELACION PARCIAL
DIFERENCIAS LOG. PRECIO DEL AUTOMOVIL**



Elaborado con resultados del programa RATS

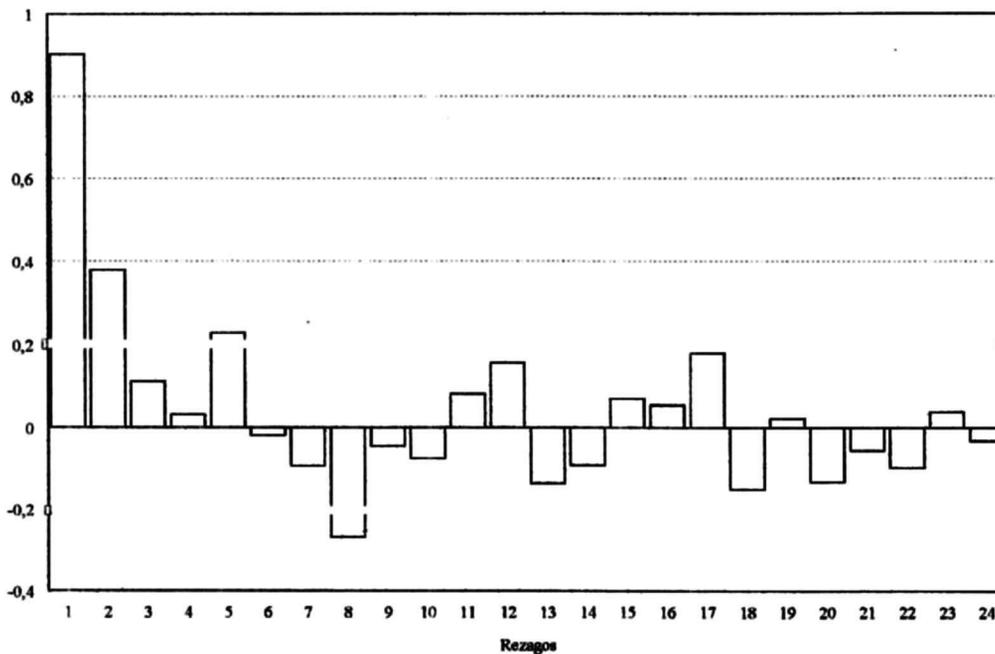
Rezagos

**FUNCION DE AUTOCORRELACION
LOG. INDICE DEL VOLUMEN DE PRODUCCION INDUSTRIAL**



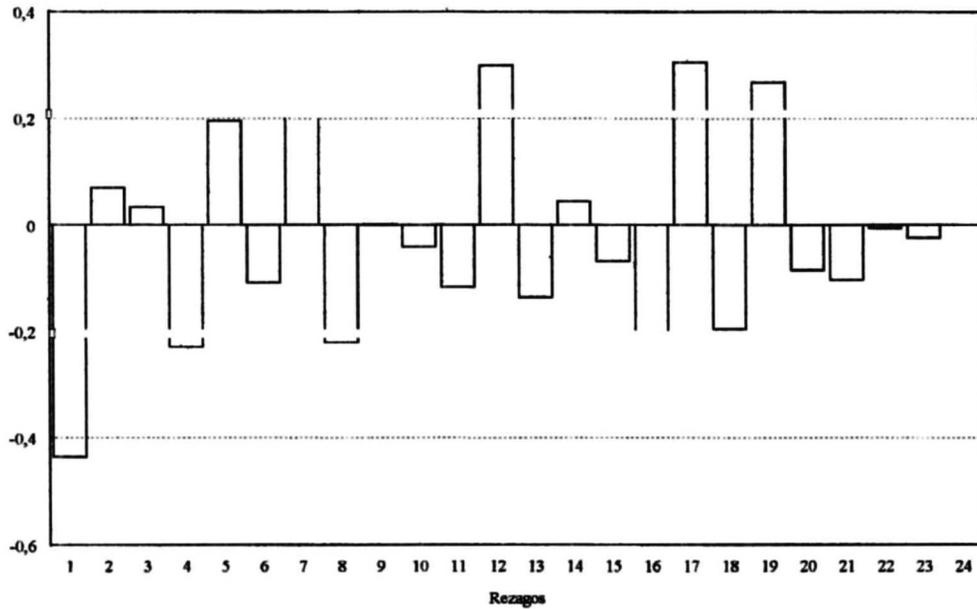
Elaborado con resultados del programa RATS

**FUNCION AUTOCORRELACION PARCIAL
LOG. INDICE DEL VOLUMEN DE PRODUCCION INDUSTRIAL**



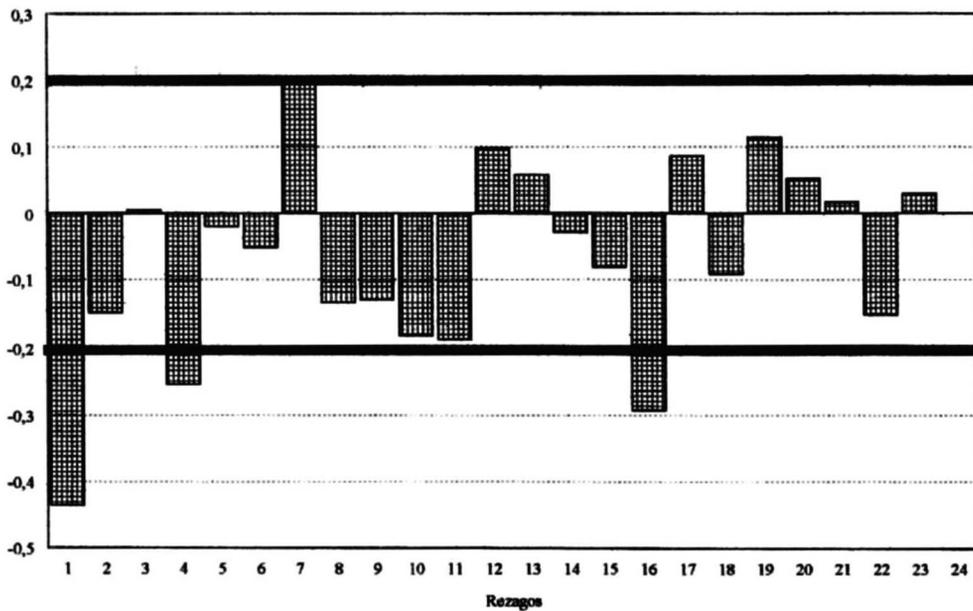
Elaborado con resultados del programa RATS

**FUNCION DE AUTOCORRELACION
INDICE DEL VOLUMEN DE LA PRODUCCION INDUSTRIAL
DIFERENCIAS DE LOGARITMOS**



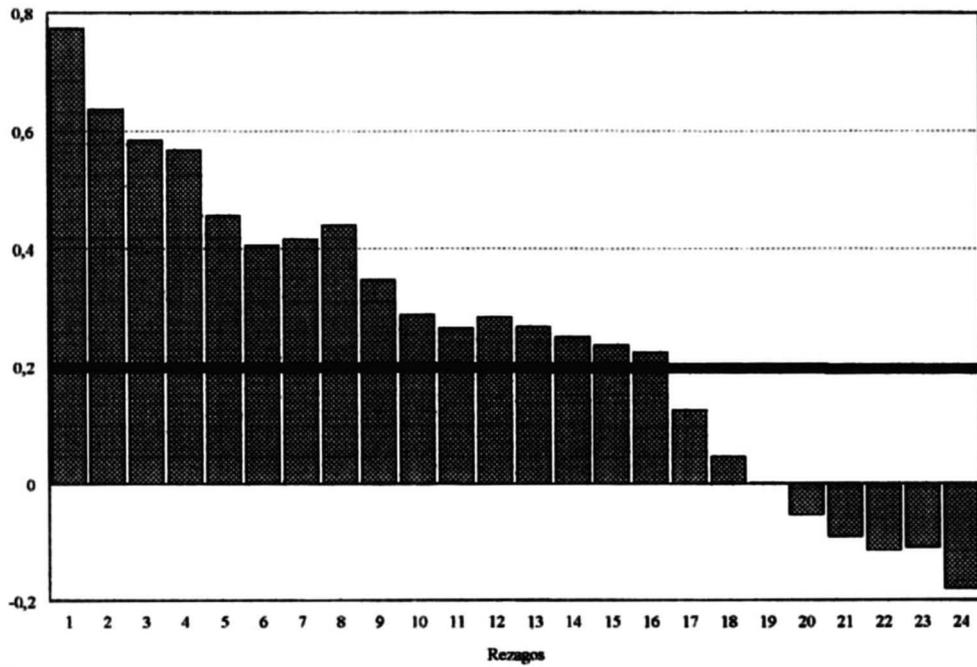
Elaborado con resultados del programa RATS

**FUNCION DE AUTOCORRELACION PARCIAL
INDICE DEL VOLUMEN DE LA PRODUCCION INDUSTRIAL
DIFERENCIAS DEL LOGARITMO**



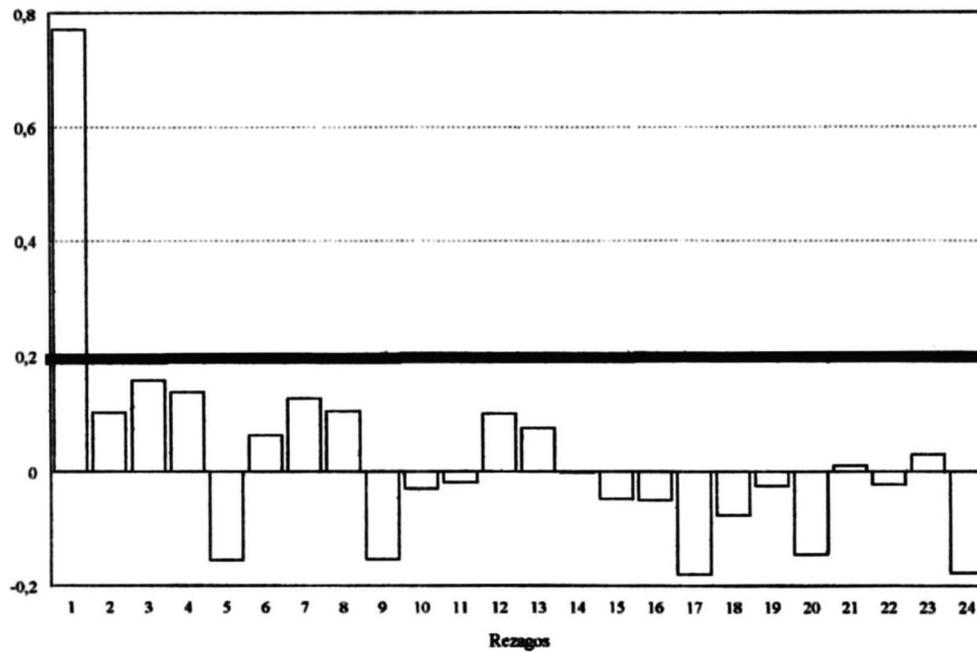
Elaborado con resultados del programa RATS

**FUNCION DE AUTOCORRELACION
LOGARITMO DEL PRECIO REAL DE LA GASOLINA**



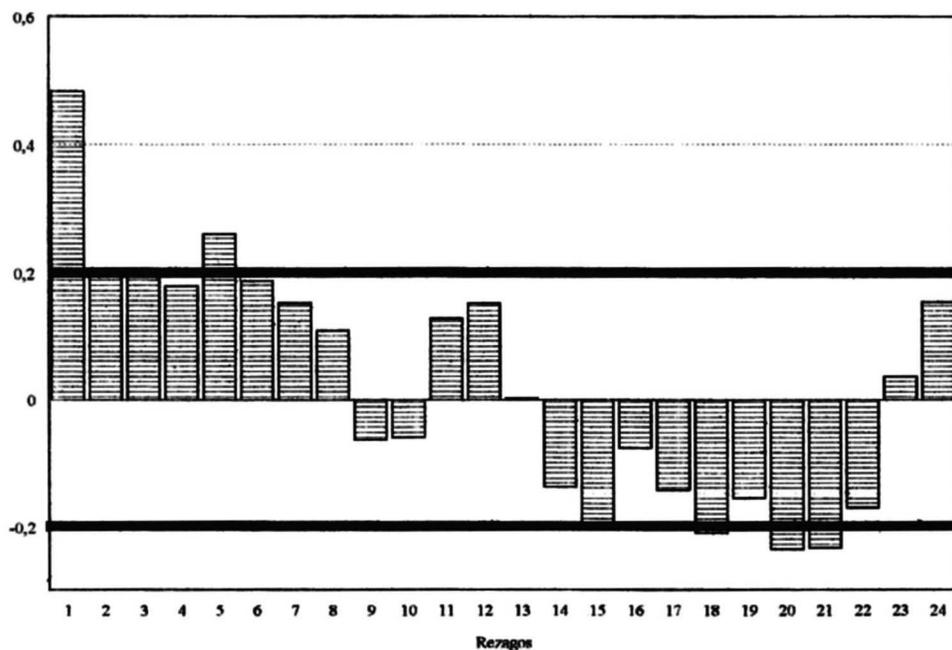
Elaborado con resultados del programa RATS

**FUNCION DE AUTOCORRELACION PARCIAL
LOGARITMO DEL PRECIO REAL DE LA GASOLINA**



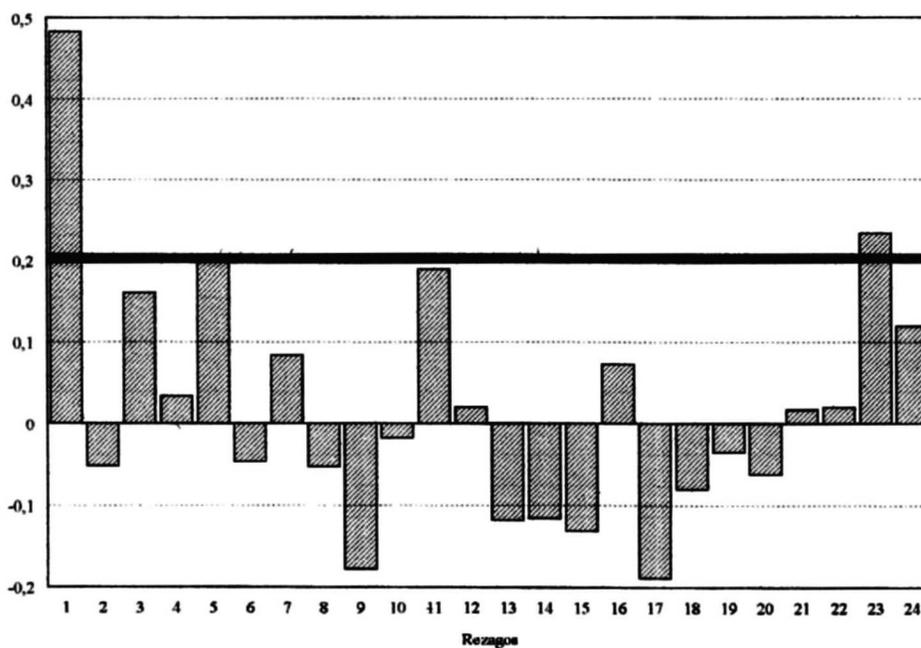
Elaborado con resultados del programa RATS

FUNCION DE AUTOCORRELACION TASA DE INTERES



Elaborado con resultados del programa RATS

FUNCION DE AUTOCORRELACION PARCIAL TASA DE INTERES



Elaborado con resultados del programa RATS

Apéndice D: Parámetros de los Modelos Estimados

Apéndice D1 Parámetros de los modelos ARIMA.

Precio de los automóviles.

ARIMA (2,1,1)

$$PA_t = \frac{(1 + \theta_1 L)e_t}{1 - (1 + \phi_1)L - (\phi_2 - \phi_1)L^2 + \phi_2 L^3}$$

$$\phi_1 = -0.518515697 \quad \phi_2 = 0.450474525 \quad \theta_1 = 1.091287812$$

ARIMA (1,1,0)

$$PA_t = \frac{e_t}{1 - (1 + \phi_1)L + \phi_1 L^2}$$

$$\phi_1 = 0.4868375971$$

Consumo de gasolina

ARIMA (2,1,2)

$$CG_t = \frac{(1 + \theta_1 L + \theta_2 L^2)e_t}{1 - (1 + \phi_1)L - (\phi_2 - \phi_1)L^2 + \phi_2 L^3}$$

$$\phi_1 = -0.824557850 \quad \phi_2 = -0.649262099 \quad \theta_1 = 1.048010084 \quad \theta_2 = 1.172408449$$

ARIMA (1,1,2)

$$CG_t = \frac{(1 + \theta_1 L + \theta_2 L^2)e_t}{1 - (1 + \phi_1)L - \phi_1 L^2}$$

$$\phi_1 = -0.522404625 \quad \theta_1 = 0.802579882 \quad \theta_2 = -0.303049935$$

Apéndice D2

Parámetros del modelo VAR-1.

En el modelo:

$$y_t = v + A_1 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + A_3 y_{t-3} + A_4 y_{t-4} + A_5 y_{t-5} + A_6 y_{t-6} + A_7 y_{t-7} + A_8 y_{t-8} + A_{10} y_{t-10} + A_{11} y_{t-11} + A_{12} y_{t-12} + u_t$$

Las matrices y vectores tienen la forma:

$$A_i = \begin{bmatrix} \alpha_{1,i} & \beta_{1,i} \\ \alpha_{2,i} & \beta_{2,i} \end{bmatrix} \quad v = \begin{bmatrix} \kappa_1 \\ \kappa_2 \end{bmatrix} \quad y_t = \begin{bmatrix} DLPA_T \\ DLCA_T \end{bmatrix}$$

donde los coeficientes son:

$\alpha_{1,1} =$	0.521172394	$\alpha_{1,11} =$	0.193037228
$\beta_{1,12} =$	-0.256399125		
$\kappa_1 =$	0.002492498	$\alpha_{2,6} =$	-0.145119974
$\alpha_{2,10} =$	-0.143293440	$\beta_{2,2} =$	0.245062398
$\beta_{2,5} =$	0.129534009	$\beta_{2,6} =$	-0.796633908
$\beta_{2,8} =$	0.195533315	$\beta_{2,12} =$	-0.121952988

Los coeficientes que no se mencionan son iguales a cero.

La matriz de varianzas y covarianzas es:

$$\Sigma_u = \begin{bmatrix} 0.000185099602 & 0.1286239540 \\ 0.000010126405 & 0.000033485853 \end{bmatrix}$$

Apéndice D3

Parámetros del modelo VAR-2.

En el modelo:

$$y_t = \mathbf{A}_1 y_{t-1} + \mathbf{A}_2 y_{t-2} + \mathbf{A}_6 y_{t-6} + \mathbf{A}_9 y_{t-9} + \mathbf{A}_{10} y_{t-10} + \mathbf{A}_{11} y_{t-11} + \mathbf{B}_1 x_{t-1} + \mathbf{B}_2 x_{t-2} + \\ + \mathbf{B}_3 x_{t-3} + \mathbf{B}_5 x_{t-5} + \mathbf{B}_6 x_{t-6} + \mathbf{B}_7 x_{t-7} + \mathbf{B}_8 x_{t-8} + \mathbf{B}_9 x_{t-9} + \mathbf{C}w + u_t$$

$$\text{donde: } y_t = \begin{bmatrix} DLPA_t \\ DLCG_t \end{bmatrix} \quad x_{t-k} = \begin{bmatrix} DLIP_{t-k} \\ TIR_{t-k} \\ LPRG_{t-k} \end{bmatrix} \quad w = \begin{bmatrix} PACTOL \\ HNC \\ HNCT \end{bmatrix}$$

Las matrices \mathbf{A}_i , \mathbf{B}_j y \mathbf{C} tienen la forma:

$$\mathbf{A}_i = \begin{bmatrix} \alpha_{1,j} & \beta_{1,j} \\ \alpha_{2,j} & \beta_{2,j} \end{bmatrix} \quad \mathbf{B}_j = \begin{bmatrix} \gamma_{1,j} & \delta_{1,j} & \lambda_{1,j} \\ \gamma_{2,j} & \delta_{2,j} & \lambda_{2,j} \end{bmatrix} \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} \mu_1 & \nu_1 & \omega_1 \\ \mu_2 & \nu_2 & \omega_2 \end{bmatrix}$$

y donde los coeficientes son:

μ_1	=	-0.014988143	ν_1	=	0.010326488
ω_1	=	-0.021754191	$\alpha_{1,1}$	=	0.235693311
$\beta_{1,11}$	=	0.264022293	$\delta_{1,3}$	=	0.018487557
ω_2	=	-0.004605598	$\alpha_{2,6}$	=	-0.107608186
$\alpha_{2,9}$	=	-0.139055066	$\alpha_{2,10}$	=	-0.098963033
$\beta_{2,2}$	=	0.135540201	$\beta_{2,6}$	=	-0.551550671
$\gamma_{2,1}$	=	-0.049747374	$\gamma_{2,2}$	=	-0.056526285
$\gamma_{2,5}$	=	0.056842214	$\gamma_{2,7}$	=	0.061322189
$\gamma_{2,8}$	=	0.079260940	$\gamma_{2,9}$	=	0.091070572
$\lambda_{2,1}$	=	-0.012044330	$\lambda_{2,6}$	=	0.013317158

Los coeficientes que no se mencionan son iguales a cero.

La matriz de varianzas y covarianzas es:

$$\Sigma_u = \begin{bmatrix} 0.000150686056 & 0.0005446483 \\ 0.000000031832 & 0.000022668142 \end{bmatrix}$$

Apéndice D4

Parámetros del modelo VAR-3.

En el modelo:

$$y_t = \mathbf{A}_1 y_{t-1} + \mathbf{A}_2 y_{t-2} + \mathbf{A}_6 y_{t-6} + \mathbf{A}_9 y_{t-9} + \mathbf{A}_{10} y_{t-10} + \mathbf{A}_{12} y_{t-12} + \mathbf{B}_1 x_{t-1} + \mathbf{B}_2 x_{t-2} + \mathbf{B}_6 x_{t-6} + \mathbf{B}_7 x_{t-7} + \mathbf{B}_8 x_{t-8} + \mathbf{B}_9 x_{t-9} + \mathbf{C}w + u_t$$

$$\text{donde: } y_t = \begin{bmatrix} DLPA_t \\ DLGG_t \end{bmatrix} \quad x_{t-k} = \begin{bmatrix} DLIP_{t-k} \\ TIR_{t-k} \\ LPRG_{t-k} \end{bmatrix} \quad w = \begin{bmatrix} PACTOL \\ HNCT \\ VER \end{bmatrix}$$

Las matrices \mathbf{A}_i , \mathbf{B}_j y \mathbf{C} tienen la forma:

$$\mathbf{A}_i = \begin{bmatrix} \alpha_{1,i} & \beta_{1,i} \\ \alpha_{2,i} & \beta_{2,i} \end{bmatrix} \quad \mathbf{B}_j = \begin{bmatrix} \gamma_{1,j} & \delta_{1,j} & \lambda_{1,j} \\ \gamma_{2,j} & \delta_{2,j} & \lambda_{2,j} \end{bmatrix} \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} \mu_1 & \nu_1 & \omega_1 \\ \mu_2 & \nu_2 & \omega_2 \end{bmatrix}$$

y donde los coeficientes son:

$\mu_1 =$	-0.003635936	$\alpha_{1,1} =$	0.493446550
$\beta_{1,12} =$	-0.242796595	$\gamma_{1,1} =$	-0.093395179
$\omega_2 =$	-0.005864476	$\eta_2 =$	0.004850538
$\alpha_{2,6} =$	-0.086040117	$\alpha_{2,9} =$	-0.126722131
$\alpha_{2,10} =$	-0.107686115	$\beta_{2,2} =$	0.164948184
$\beta_{2,5} =$	0.178242693	$\beta_{2,6} =$	-0.529039337
$\gamma_{2,1} =$	-0.050588108	$\gamma_{2,2} =$	-0.069286001
$\gamma_{2,7} =$	0.080679117	$\gamma_{2,8} =$	0.086716094
$\gamma_{2,9} =$	0.059497123	$\lambda_{2,1} =$	-0.011663360
$\lambda_{2,6} =$	0.012212870		

Los coeficientes que no se mencionan son iguales a cero.

La matriz de varianzas y covarianzas es:

$$\Sigma_u = \begin{bmatrix} 0.000173959565 & 0.0770996266 \\ 0.000004720775 & 0.000021551311 \end{bmatrix}$$

Apéndice D5

Parámetros del modelo VAR-4.

En el modelo:

$$y_t = A_1 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + A_5 y_{t-5} + A_6 y_{t-6} + A_9 y_{t-9} + A_{10} y_{t-10} + A_{12} y_{t-12} + B_1 x_{t-1} + \\ + B_2 x_{t-2} + B_5 x_{t-5} + B_6 x_{t-6} + B_7 x_{t-7} + B_8 x_{t-8} + B_9 x_{t-9} + Cw + u_t$$

$$\text{donde: } y_t = \begin{bmatrix} DLPA_t \\ DLCC_t \end{bmatrix} \quad x_{t-k} = \begin{bmatrix} DLIP_{t-k} \\ TIR_{t-k} \\ LPRG_{t-k} \end{bmatrix} \quad w = \begin{bmatrix} PACTOC \\ HNCT \\ VER \end{bmatrix}$$

Las matrices A_i , B_j y C tienen la forma:

$$A_i = \begin{bmatrix} \alpha_{1,i} & \beta_{1,i} \\ \alpha_{2,i} & \beta_{2,i} \end{bmatrix} \quad B_j = \begin{bmatrix} \gamma_{1,j} & \delta_{1,j} & \lambda_{1,j} \\ \gamma_{2,j} & \delta_{2,j} & \lambda_{2,j} \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} \varphi_1 & \omega_1 & \eta_1 \\ \varphi_2 & \omega_2 & \eta_2 \end{bmatrix}$$

y donde los coeficientes son:

φ_1	=	-0.039097254	ω_1	=	-0.013026562
$\alpha_{1,1}$	=	0.465786072	$\beta_{1,12}$	=	-0.268647815
$\gamma_{1,1}$	=	-0.087590506	$\delta_{1,2}$	=	-0.016136492
φ_2	=	-0.008441855	ω_2	=	-0.005972042
η_2	=	0.004731469	$\alpha_{2,6}$	=	-0.084748943
$\alpha_{2,9}$	=	-0.117413246	$\alpha_{2,10}$	=	-0.091693377
$\beta_{2,2}$	=	0.153942266	$\beta_{2,5}$	=	0.185918383
$\beta_{2,6}$	=	-0.517190744	$\gamma_{2,1}$	=	-0.052005366
$\gamma_{2,2}$	=	-0.074381943	$\gamma_{2,7}$	=	0.080232781
$\gamma_{2,8}$	=	0.079344449	$\gamma_{2,9}$	=	0.053363543
$\lambda_{2,4}$	=	-0.013123369	$\lambda_{2,6}$	=	0.014004217

Los coeficientes que no se mencionan son iguales a cero.

La matriz de varianzas y covarianzas es:

$$\Sigma_u = \begin{bmatrix} 0.00012841584 & -0.0220419284 \\ -0.00000112083 & 0.00002013565 \end{bmatrix}$$

Apéndice D6

Parámetros del modelo VAR-5.

En el modelo:

$$y_t = \mathbf{A}_1 y_{t-1} + \mathbf{A}_2 y_{t-2} + \mathbf{A}_3 y_{t-3} + \mathbf{A}_4 y_{t-4} + \mathbf{A}_5 y_{t-5} + \mathbf{A}_6 y_{t-6} + \mathbf{A}_7 y_{t-7} + \mathbf{A}_8 y_{t-8} + \mathbf{A}_9 y_{t-9} + \mathbf{A}_{10} y_{t-10} + \mathbf{A}_{12} y_{t-12} + \mathbf{B}_1 x_{t-1} + \mathbf{B}_2 x_{t-2} + \mathbf{B}_4 x_{t-4} + \mathbf{B}_5 x_{t-5} + \mathbf{B}_6 x_{t-6} + \mathbf{B}_7 x_{t-7} + \mathbf{B}_8 x_{t-8} + \mathbf{B}_9 x_{t-9} + \mathbf{C}w + u_t$$

$$\text{donde: } y_t = \begin{bmatrix} DLPA_t \\ DLCG_t \end{bmatrix} \quad x_{t-k} = \begin{bmatrix} DLIP_{t-k} \\ TIR_{t-k} \\ LPRG_{t-k} \end{bmatrix} \quad w = \begin{bmatrix} PACTOL \\ PACTOC \\ HNCT \\ VER \end{bmatrix}$$

Las matrices \mathbf{A}_i , \mathbf{B}_j y \mathbf{C} tienen la forma:

$$\mathbf{A}_i = \begin{bmatrix} \alpha_{1,j} & \beta_{1,j} \\ \alpha_{2,j} & \beta_{2,j} \end{bmatrix} \quad \mathbf{B}_j = \begin{bmatrix} \gamma_{1,j} & \delta_{1,j} & \lambda_{1,j} \\ \gamma_{2,j} & \delta_{2,j} & \lambda_{2,j} \end{bmatrix} \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} \mu_1 & \varphi_1 & \omega_1 & \eta_1 \\ \mu_2 & \varphi_2 & \omega_2 & \eta_2 \end{bmatrix}$$

y donde los coeficientes son:

μ_1	=	-0.003635936	$\alpha_{1,1}$	=	0.493446550
$\beta_{1,12}$	=	-0.242796595	$\gamma_{1,1}$	=	-0.093395179
φ_2	=	-0.008441855	ω_2	=	-0.005972042
η_2	=	0.004731469	$\alpha_{2,6}$	=	-0.084748943
$\alpha_{2,9}$	=	-0.117413246	$\alpha_{2,10}$	=	-0.091693377
$\beta_{2,2}$	=	0.153942266	$\beta_{2,5}$	=	0.185918383
$\beta_{2,6}$	=	-0.517190744	$\gamma_{2,1}$	=	-0.052005366
$\gamma_{2,2}$	=	-0.074381943	$\gamma_{2,7}$	=	0.080232781
$\gamma_{2,8}$	=	0.079344449	$\gamma_{2,9}$	=	0.053363543
$\lambda_{2,4}$	=	-0.013123369	$\lambda_{2,6}$	=	0.014004217

Los coeficientes que no se mencionan son iguales a cero.

La matriz de varianzas y covarianzas es:

$$\Sigma_u = \begin{bmatrix} 0.00017395957 & -0.0089676703 \\ -0.00000053075 & 0.00002013565 \end{bmatrix}$$

La matriz de Descomposición de CHOLESKI es:

$$\Sigma_{u(\text{Choleski})} = \begin{bmatrix} 0.0132 & 0.000 \\ -0.0000040240 & 0.00044871 \end{bmatrix}$$

La matriz de Factores de la descomposición de Sims-Bernanke es:

$$\Sigma_{u(\text{Sims-Bernanke})} = \begin{bmatrix} 0.0132 & 0.0000 \\ -0.000040252 & 0.0044871 \end{bmatrix}$$

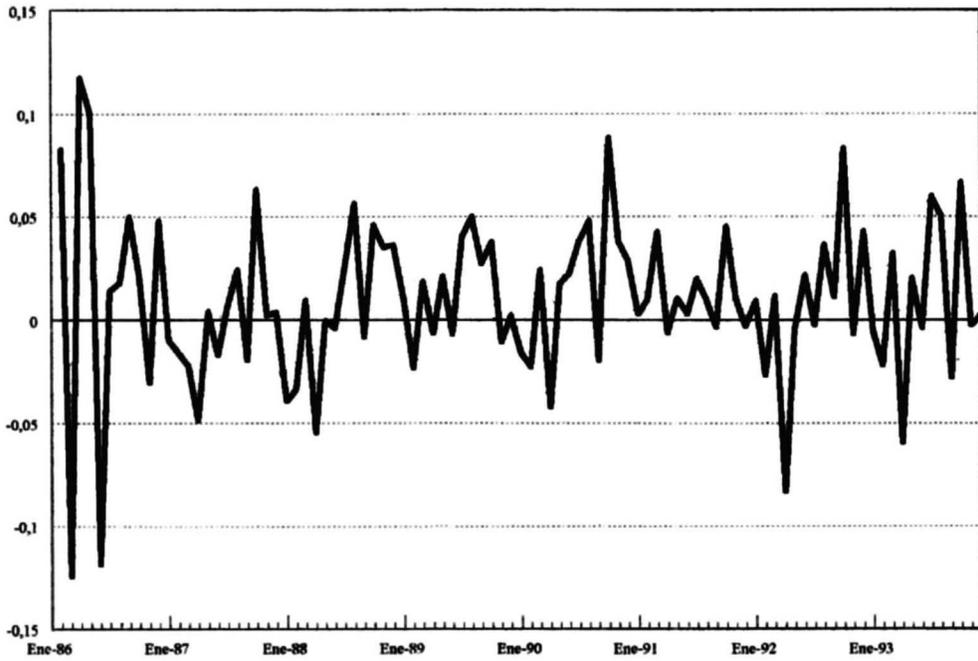
Apéndice E: Transformaciones

El análisis de las series indicó que la serie del logaritmo del consumo de gasolina tiene una raíz unitaria, por lo que el proceso es estacionario si se observan las primeras diferencias de la serie. El mismo resultado es arrojado para el logaritmo del precio real del automóvil y para el logaritmo del índice del volumen de la producción industrial.

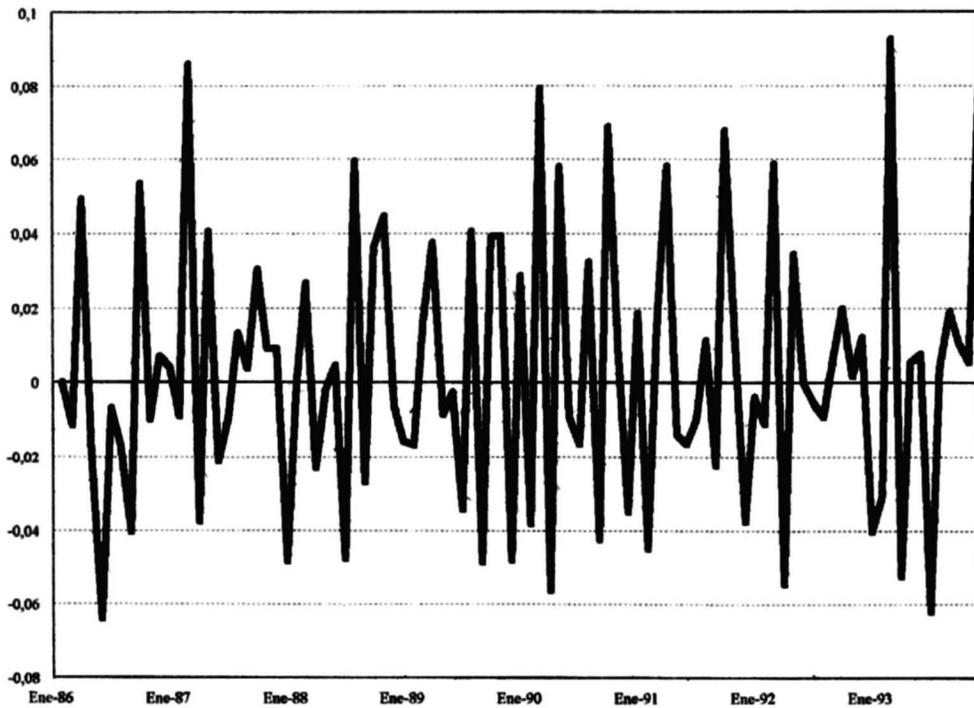
El análisis también indicó que el logaritmo del precio real de la gasolina y la tasa real de interés ya son procesos estacionarios por lo que no necesitan diferenciarse.

A continuación se muestran las series diferenciadas de aquellas variables que lo requirieron:

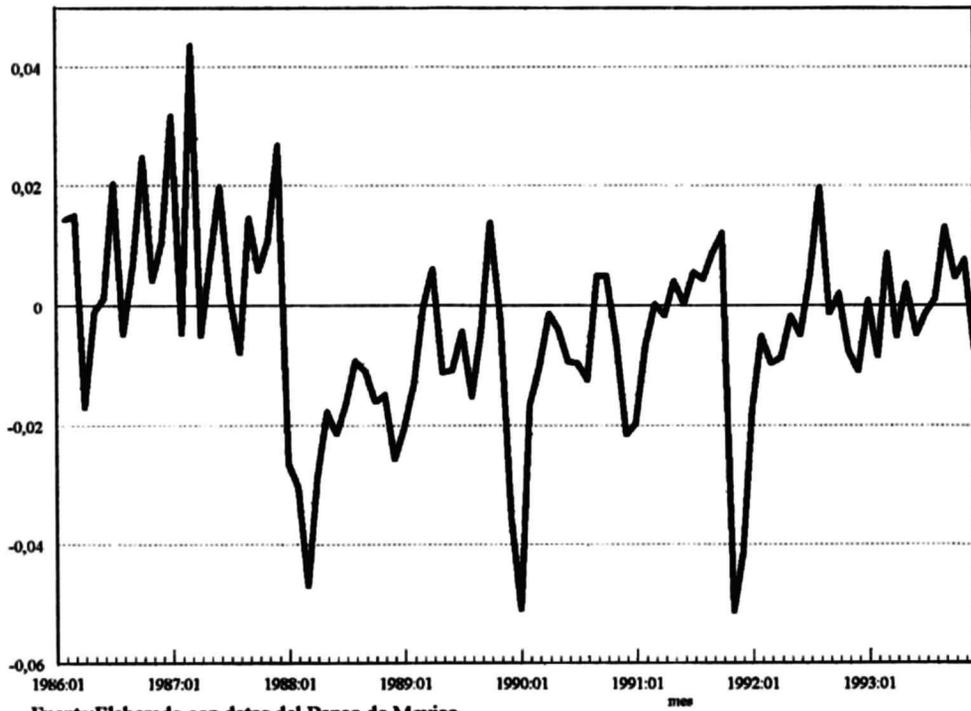
**CONSUMO DE GASOLINA
PRIMERAS DIFERENCIAS DEL LOGARITMO**



**INDICE DEL VOLUMEN DE LA PRODUCCION INDUSTRIAL
PRIMERAS DIFERENCIAS DEL LOGARITMO**



PRECIO RELATIVO DEL AUTOMOVIL
DIFERENCIAS DE LOGARITMOS



Fuente:Elaborado con datos del Banco de Mexico

8. BIBLIOGRAFÍA:

Akaike, H., (1973), "Information Theory and the Extension of the Maximum Likelihood Principles", en *Second International Symposium on Information Theory*, Budapest, B.N. Petrov, F. Csáki.

Akaike, H., (1974), "A New Look at Statistical Model Identification", *IEEE Transactions on Automatic Control*, AC-19,71

Aoki, M., (1990), *State Space Modeling of Time Series*, Berlin, Springer-Verlag

Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, A. C. *Boletín Informativo*, varios números desde 1984 a 1994

Banco de México, *Indicadores Económicos*, varios números, 1983-1994.

Bernanke, B., (1986), "Alternative Explanations of the Money Income Correlation", *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, Vol., 25 pp 49-100.

Beveridge, S. y Nelson, C. H.,(1981), "A New Approach to Decomposition of Economic Time Series into Permanent and Transitory Components with Particular Attention to Measurement of the Business Cycle", *Journal of Monetary Economics*, Vol. 7, No. 2, pp. 151-174.

Box, G. E. P. and Jenkins, G. M.(1976), *Time Series Analysis Forecasting and Control*, N. J., Prentice Hall.

Box, G. E. P. y Tiao, G. C., (1975), "Intervention Analysis with Applications to Economic and Environmental Problems", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 70, pp. 70-79

- Campbell, J. Y., y Perron, P., (1991), "Pitfalls and Opportunities: What Macroeconomists Should Know about Unit Roots", Princeton University. en *NBER Macroeconomics Conference*, Cambridge, MIT Press.
- Chatfield, C., (1985), "The Initial Examination of Data", *Journal of Royal Statistics Society*, pp. 214-253
- Departamento del Distrito Federal, (1990), "Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México", México
- Dickey, D., y Fuller, W.A., (1979), "Distributions of the Stimators for Time Series Regression with a Unit Root", *Journal of American Statistical Association*, Vol. 74, pp. 427-431.
- Dickey, D., Bell, W.A., y Miller, R.B., (1986), "Unit Roots in Time Series Models: Tesets and Implications", *American Statiscian*, 40, 12-26.
- Doan , T. A., (1992), *RATS User's Manual, Version 4*, U.S.A. Estima
- Doan , T. A., Litterman, R.B. y Sims, C.A., (1984), "Forecasting and Conditional Projection using Realistic Prior Distributions", *Econometric Reviews*, 3, 1-100.
- El Colegio de México, Programa de Estudios Avanzados en Desarrollo Sustentable y Medio Ambiente, (1993), *La Iniciativa Privada y el Medio Ambiente*, Cámara Nacional de la Industria de la Transformación.
- Engler, B., Lox, E., Leyrer, J., Ostgathe, K., Muller, W., (-), *Catalizadores Automotrices Para Control de Emisiones*, Alemania, DEGUSSA AG.
- Engler, B., Lox, E., Leyrer, J., Ostgathe, K., Muller, W., (-), *Catalizadores Automotrices Para Control de Emisiones, Sistemas y Funciones* , Alemania, DEGUSSA AG.

- Fuller, W.A., (1976), *Introduction to Statistical Time Series*, New York, John Wiley.
- García Alba, I. P., (1993), *Testimonios de Política Económica, 1982-1988*, México, Universidad Autónoma Metropolitana.
- González, E. J. M., (1989), *La Contaminación Del Aire y su Control Ocasionada Por Fuentes Vehiculares en Monterrey*, Monterrey, Programa Ambiental contra la Contaminación.
- Granger, C.W.J., (1969), "Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross Spectral Models", *Econometrica* Vol. 37, pp. 424-438.
- Hannan, E.J. and Quinn, B.G., (1979), "The Determination of the Order of an Autoregression", *Journal of the Royal Statistical Society*", B41, pp. 190-195.
- Hannan, E.J., (1980), "The Estimation of the Order of an ARMA Process", *Annals of Statistics*, 8, 1071-81.
- Harvey, A. C. y Durbin, J.,(1986) "The Effects of Seat Belt Legislation on British Road Casualties: A Case Study in Structural Time Series Modeling", *Journal of Royal Statistics Society*, part 3, pp. 187-227
- INEGI, (1994), *Gaceta Informativa INEGI*, Vol. 4, oct.-dic. 1993, México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
- Judge, G., Hill, R. C., Griffiths, W. E., Lütkephol H. Lee, T. (1988), *Introduction to the Theory and Practice of Econometrics*, Singapore, John Wiley.
- Lütkephol, H.,(1991) *Introduction to Multiple Time Series Analysis*, Berlín, Springer-Verlag.

- MacKenzie, J., y Walsh, M. P.,(1990), *Driving Forces: Motor Vehicle Trends and Their Implications for Global Warming, Energy Strategies, and Transportation Planning*, Washington D.C., World Resource Institute.
- Mills, T. C., (1990), *Time Series Techniques For Economists*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Quadri de la Torre, G. y Sánchez, C. L.,(1992), *La Ciudad de Mexico y la Contaminación Atmosférica*, México, Limusa-Noriega.
- Quadri de la Torre, G., (1993), “Consideraciones Sobre Medio Ambiente y Actores Sociales en México”, *Contribuciones* 1,93
- Quinn, B.G., (1980), “Order Determination for Multivariate Autorregression”, *Journal of the Royal Statistic Society*, B42, 182-185.
- Rissanen, J., (1978), “Modelling by Shortest Data Description”, *Automatica*, 14, 465-71.
- Rosales, P. P. V., (1992), *El Efecto del Programa "Hoy No Circula" En la Demanda por Gasolinas y Contaminantes*, Tesis de licenciatura, México, Instituto Tecnológico Autónomo de México.
- Schwarz, G., (1978), “Stimating the Dimension of a Model”, *Analysis of Statistics*, Vol. 6, pp. 461-464.
- Sims, C.A., (1980), “Macroeconomics and Reality”, *Econometrica*, Vol. 48, pp. 1-48.
- Sims, C.A., Stack, J.K. and Watson, M.W., (1990), “Inference in Linear Time Series Models with Some Unit Roots”, *Econometrica*, Vol. 58, pp 113-144.

Tiao, G.C. y Box, G.E.P., (1981), "Modelling Multiple Time Series with Applications", *Journal of the American Statistical Society*, 76, 802-16.

Toda, H. Y., y Phillips, P. C. B., (1993) "Vector Autoregressions and Causality", *Econometrica*, Vol. 61 pp. , No. 6, November

Willars A. J. M., (1984), *El Petróleo en México: Efectos Macroeconómicos, Elementos de Política y Perspectivas*. México, El Colegio de México.