

XXIX REUNIÓN DE ESTUDIOS REGIONALES

Santander, 27-28 de noviembre de 2003

COMUNICACIÓN: ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS HUB-AND-SPOKE MARÍTIMOS DESDE LOS MODELOS SVARs. APLICACIÓN PRÁCTICA AL SISTEMA PORTUARIO ESPAÑOL.

AUTORES:

CASTILLO MANZANO, JOSÉ IGNACIO (jignacio@us.es)

LÓPEZ VALPUESTA, LOURDES (lolopez@us.es)

Universidad de Sevilla y centra:

1. INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN DEL ANÁLISIS.

Los sistemas hub-and-spoke se encuentran frecuentemente en el transporte, ya sea en el transporte marítimo, en el aéreo o en el terrestre. En el transporte marítimo, el tráfico internacional de contenedores se rige por este modelo. Para que un puerto alcance un “*Hub Status*” en el tráfico marítimo de contenedores, su tráfico debe ser superior al 1.000.000 de TEUs/año y debe disponer de un equipamiento que le permita dedicar de forma simultánea tres grúas *post-panamax* a un buque de nueva generación. Sólo en los puertos hub atracan los grandes buques portacontenedores, y desde los mismos, las navieras internacionales transbordan sus contenedores entre sus líneas *round the world* y *feeder*¹.

Los sistemas aéreos nacionales también se organizan respecto al exterior como sistemas hub-and-spoke, de forma que un aeropuerto pequeño apenas posee conexiones con aeropuertos del extranjero o incluso con otros aeropuertos pequeños nacionales, de ahí que deban realizarse vuelos indirectos mediante los aeropuertos hub de la red para poder alcanzar esos otros aeropuertos. También podemos encontrar este tipo de organización en el transporte terrestre, tanto por carretera (con las ZAL actuando como hubs) como por ferrocarril, con estaciones que facilitan el trasbordo entre líneas.

¹ Como es sabido, los buques *feeder* se utilizan para transportar contenedores desde o hasta puertos menores no servidos por los grandes buques de las líneas *round the world*, que sólo hacen escala en las grandes terminales transoceánicas. Al trabajar en puertos pequeños de menor calado, los *feeder* suelen tener una capacidad menor, entre los 500 y 700 TEUs, aunque hay algunos que llegan hasta los 1.500 TEUs. A diferencia de los grandes buques portacontenedores, y en previsión de las limitaciones en equipos móviles que presentan los pequeños puertos en los que operan, estos buques sí poseen medios propios de carga y descarga; normalmente dos grúas dispuestas en crujía o en la banda de babor del buque.

Dado que estamos ante un sistema de organización, el hub-and-spoke, que se repite constantemente en Economía del Transporte, se hace necesario encontrar fórmulas metodológicas que nos permiten abordar su estudio de forma común con independencia del medio de transporte en el que surjan. En esta comunicación abordamos uno de esos posibles enfoques comunes desde el análisis econométrico de las series temporales con los modelos SVARs (Structural Vector Autorregresions) con restricciones a largo plazo (Long-run Restrictions). Otras alternativas a los mismos se pueden encontrar en los BVAR (Bayesian Vector Autorregresions) o en los VEC (Vector Error Corretion Models) con restricciones. Todas estas aproximaciones nos permiten introducir información a priori sobre el sistema hub-and-spoke² y compatibilizarla con la información estadística que se desprende de la evolución pasada de los tráficos.

2. APROXIMACIÓN METODOLÓGICA.

En los últimos 20 años hemos asistido a cambios importantes en la modelización econométrica de series temporales, fundamentalmente debido a las debilidades que ofrece la Teoría Económica a la hora de sustentar complejos modelos de ecuaciones simultaneas. Raros son los casos en que la teoría nos ofrece una especificación dinámica que explique claramente las relaciones entre las variables, con menor frecuencia aún en campos de más reciente desarrollo como la Economía del Transporte. Este hecho ha conducido al empleo de modelos no estructurales para explicar las relaciones entre diferentes variables económicas como los VAR y sus diferentes variantes (SVAR, VARMA, BVAR, VEC...).

Una de las utilidades fundamentales del VAR es el análisis de los mecanismos dinámicos de transmisión de los efectos de cambios en las variables mediante las conocidas funciones de impulso-respuesta. Para facilitar la interpretación de estas funciones, las innovaciones deben estar incorreladas tanto a lo largo del tiempo como contemporáneamente. La incorrelación se consigue aplicando una transformación sobre las innovaciones de la siguiente forma:

² Es fácil disponer de información a priori en un sistema hub-and-spoke, aunque sólo sea la estructura de líneas y su importancia comercial, medida en función de la cuantía de sus tráficos.

$$Bu_t = Ae_t \text{ siendo } u_t = B^{-1}Ae_t \sim (0, \Sigma u_t)$$

Siendo Σu_t una matriz de covarianza diagonal³. Para ortogonalizar los impulsos generalmente se ha utilizado la inversa de la factorización de Cholesky de la matriz de covarianza de los residuos. Este sistema presenta importantes limitaciones, ya que los resultados que se obtienen dependen de la ordenación que se haga de las variables, de forma que las respuestas a los impulsos se verán muy afectadas según como ordenemos las variables. La descomposición de Cholesky sólo se debe emplear cuando el orden de las variables propuesto está firmemente soportado en unas hipótesis teóricas. Este problema se ha solucionado tradicionalmente ordenando las variables de mayor a menor exogeneidad y para ello debemos aplicar los test de causalidad de Granger. Otra solución es acudir a los modelos SVARs, como se explica en el siguiente epígrafe.

3. FORMULACIÓN DE RESTRICCIONES A LARGO PLAZO EN UN MODELO SVAR APLICADO A UN SISTEMA HUB-AND-SPOKE.

Los modelos SVARs se han convertido en una herramienta muy popular de análisis económico en la última década, entre sus principales utilidades se encuentra el análisis de las fuentes del ciclo económico y también se emplean en el estudio de los mecanismos de transmisión de las políticas monetarias. En la literatura de los modelos SVARs se distingue entre restricciones a corto y a largo plazo. En este trabajo nos centramos en las restricciones a largo plazo. La principal razón es que trabajaremos con series anuales. Tal como se formulan las restricciones a corto plazo⁴, suelen implicar que una de las variables no es capaz de responder instantáneamente a los cambios o shocks que se producen en otras variables. Estos cambios o shocks son inesperados.

En los sistemas hub-and-spoke las restricciones a corto plazo equivalen a mantener que los gestores de una de las infraestructuras de transporte del sistema, llamémosla X, necesitan un tiempo para evaluar los cambios en las estadísticas de tráfico de la infraestructura que ha sufrido el shock, llamémosla Y. De esta forma la restricción a corto plazo implicaría que en el siguiente periodo la respuesta en los tráficos de la infraestructura X a un shock en la infraestructura Y del sistema sería 0.

³ Técnicamente hablando la matriz $P = B^{-1}A$ se normaliza para de forma que $P \Sigma e_t P' = \Sigma u_t = I$. Siendo I la matriz identidad.

Dado que las infraestructuras de transporte (puertos, aeropuertos, estaciones de trenes.....) operan con los más recientes sistemas de información, esta hipótesis sólo se podrían mantener cuando trabajamos con series de periodicidad muy inferior a la anual. Pero incluso disponiendo de estadísticas sobre tráfico con una periodicidad inferior al semestre, es difícil mantener la utilidad de las restricciones a corto plazo para el análisis de los sistemas de transporte hub-and-spoke. No se puede olvidar que un shock positivo (negativo) en una infraestructura spoke se manifiesta rápidamente en un aumento (disminución) en la infraestructura hub, dado que la infraestructura hub es la entrada y salida natural de los tráfico de la infraestructura spoke.

En cambio, si hay mucho campo a priori para el empleo de SVAR con restricciones a largo plazo. Restricciones que se pueden plantear bajo unos supuestos bastante realistas como veremos posteriormente. A continuación recogemos la formulación analítica de la inclusión de restricciones a largo plazo en un modelo SVAR⁵, siendo los componentes de la matriz C la respuesta acumulada a largo plazo a los shocks en las innovaciones estructurales⁶:

$$C = \hat{\Psi}_{\infty} A^{-1}B$$

Siendo $\hat{\Psi}_{\infty} = (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{A}}_1 - \dots - \hat{\mathbf{A}}_p)^{-1}$ la estimación de la respuesta acumulada ante los shocks de las innovaciones observadas.

Las funciones de impulso-respuesta para el caso de un sistema hub-and-spoke nos permitirán comprobar cómo afectara un shock, positivo o negativo, en una de las infraestructuras de transporte sobre las restantes, principalmente en el hub del sistema. Dentro de este planteamiento general, podemos distinguir dos objetivos fundamentales:

1. **Para planificación de infraestructuras de transporte.** El principal interés radica en el estudio de los efectos de una variación imprevista del tráfico de una infraestructura que juega un papel spoke sobre la infraestructura hub del sistema. Con ello

⁴ Para desarrollo analítico de las restricciones a corto plazo léase Amisano y Giannini (1997).

⁵ Para un análisis más profundo véase Blanchard y Quah (1989).

⁶ De esta forma $C_{12} = 0$ se interpreta como que el efecto a largo plazo sobre la variable 1 de un shock en la variable 2 es nulo. Es decir, la variable 2 sólo tendrá efectos transitorios sobre la variable 1.

podremos contribuir a una mejor planificación del exceso de capacidad que debe disponer la infraestructura hub evitando que puedan surgir cuellos de botella.

2. Para medir efectos de creación y desviación de comercio tanto nacionales como internacionales. En nuestro modelo SVAR, puede que las infraestructuras de transporte consideradas compartan su hinterland o zona de influencia⁷. En este caso, tendremos que considerar que un shock en una infraestructura estará compuesto de dos efectos con diferente signo, uno positivo de creación de comercio y otro negativo de desviación de comercio. Luego, si se comparte el hinterland, el efecto positivo que sobre el hub tendría un shock favorable de una de sus infraestructuras spokes se debe matizar con la pérdida de tráfico debido a la desviación de comercio. Incluso podemos encontrar que un shock positivo proveniente de una infraestructura spoke pueda tener una respuesta acumulada negativa sobre su infraestructura hub. Esto se dará siempre y cuando estemos ante un sistema con múltiples hubs. En este caso, la cuota de mercado de la infraestructura hub sobre la infraestructura spoke que sufre el shock, será bastante pequeña. Es decir:

$$Chs = k(CMhs * C_{ss} - DC). \quad \text{Fórmula 1}$$

Siendo:

Chs = Respuesta acumulada en la infraestructura hub ante un shock en la infraestructura spoke.

$CMhs$ = Cuota de mercado de la infraestructura hub sobre el conjunto de tráficos de la infraestructura spoke. Esta cuota se calcula como el porcentaje del tráfico de la infraestructura spoke que tiene su origen o destino en la infraestructura hub estudiada. Lógicamente ese porcentaje dependerá de múltiples factores. Entre estos factores destacan los siguientes: el número de hubs con los que opera la infraestructura spoke; la proximidad geográfica de cada uno de ellos o su importancia relativa en la categoría de transporte en la que se encuentre.

C_{ss} = Respuesta acumulada en la infraestructura spoke ante un shock en dicha infraestructura spoke.

⁷ El hinterland es el área en la que se generan los tráficos pues en ella están ubicadas las empresas que conforman la industria dependiente de la existencia de la infraestructura considerada.

DC_{hs} = En esta partida se incluye aquella parte de los tráficos de la C_{ss} que no son creación de comercio, sino que es fruto de la desviación de comercio desde la infraestructura hub hacia la spoke. Como se ha comentado anteriormente, este efecto sólo se podrá dar si las infraestructuras hub y spoke presentan un hinterland compartido.

k = Es una constante de proporcionalidad positiva.

Para implementar un modelo SVAR y poder medir los objetivos antes expuestos (*fórmula 1*) es necesario establecer un criterio para el establecimiento de restricciones a largo plazo fundamentado en el comportamiento económico de los sistemas hub-and-spoke. A priori es lógico suponer que en un modelo SVAR bivalente $C_{sh} = 0$, es decir, que el efecto a largo plazo sobre la infraestructura spoke de un shock en la variable hub es nulo. Estamos suponiendo que cuando cambian los tráficos en la infraestructura hub (un shock sobre el tráfico del hub) éste se ha debido a un aumento en la demanda del hinterland del hub⁸ o a un shock previo en otra infraestructura spoke con la que esté relacionado. Otra forma de verlo sería derivando la siguiente expresión analítica a partir de la fórmula 1:

$$C_{sh} = c(CM_{sh} * C_{hh} - DC_{sh}) = 0 \quad \text{Fórmula 2}$$

Esta restricción se basa en las siguientes hipótesis:

CM_{sh} = Cuota de mercado de la infraestructura spoke sobre el conjunto de tráficos de la infraestructura hub. De forma análoga a CM_{hs}, esta cuota se calcula como el porcentaje del tráfico de la infraestructura hub que tiene su origen o destino en la infraestructura spoke estudiada. También en este caso este porcentaje dependerá de múltiples factores como son el número de spokes con los que opera la infraestructura hub; la proximidad geográfica o la estructura de costes de ambas infraestructuras, entre otras. Lógicamente, cuanto más importante sea la infraestructura hub⁹ menor será este coeficiente y, por tanto, CM_{sh}*C_{hh} tenderá a 0 a medida el hub vaya definiendo su rol, y generalmente será levemente positivo.

⁸ No se puede olvidar que la demanda de servicios de transporte es una demanda derivada, como toda demanda de factores productivos. Luego un aumento (disminución) en los tráficos de una infraestructura es consecuencia de una demanda previa de los mismos debida a un aumento (disminución) de la actividad económica de un hinterland.

⁹ Esta importancia se mide tanto en volumen de tráficos del hub como en el número de conexiones diferentes que dicho hub tiene establecidas con infraestructuras spokes y otros hubs.

C_{hh} = Respuesta acumulada en la infraestructura hub ante un shock en dicha infraestructura hub.

DC_{sh} = Desviación de comercio desde la infraestructura spoke hacia la hub. De nuevo, este efecto se contabilizará si la infraestructura hub y la spoke tiene una zona de hinterland compartido. Este efecto tendrá una importancia relativa menor a su análogo, DC_{hs} , ya que la mayor parte de la variación en los tráficos de una infraestructura hub se deberá a cambios en las demandas de los hinterlands de las infraestructuras hubs o spokes con las que esté relacionado. Generalmente este efecto será nulo, incluso cuando exista una pequeña zona de hinterland compartido, y como máximo será levemente negativo, y debería compensarse con el valor de $CM_{sh} * C_{hh}$. Con estos supuestos la diferencia $CM_{sh} * C_{hh} - DC_{sh}$ estará próxima a 0 y, por tanto, se podría mantener como restricción a largo plazo que $C_{sh} = 0$.

c = Es una constante de proporcionalidad positiva.

Obviamente para mantener este razonamiento se ha de suponer previamente que la infraestructura hub no está congestionada, o lo que es lo mismo, que la infraestructura spoke puede emplear al hub para sus transbordos tanto como desee. Además, para sustentar analíticamente esta hipótesis es muy recomendable constatar que el valor $C_{sh} = 0$ se encuentra dentro del intervalo de confianza estimado para C_{sh} , aplicando para ello algún método de ortogonalización recursiva¹⁰ y construyendo las bandas de confianza a partir de la estimación de los errores standard de las respuestas acumuladas¹¹.

Siguiendo el razonamiento anterior, si la infraestructura hub se encuentra congestionada no tendría mucho sentido el análisis de las funciones impulso respuesta y quedarían desvirtuadas todas las conclusiones. Sólo podría mantenerse este análisis como intento de simular lo que pasaría si la infraestructura hub ampliara sus instalaciones, lo que explicaría el shock positivo en sus tráficos. Aun así, cuando existen problemas de congestión en la infraestructura hub no se podrían utilizar las restricciones antes descritas, es decir, ya que no se podría mantener que $C_{sh} = 0$.

¹⁰ Para este trabajo hemos utilizado la factorización de Cholesky, ordenando las variables de mayor a menor exogeneidad tras aplicar el test de Granger y ajustando el número de grados de libertad de la matriz de covarianzas residuales. De esta forma, el elemento (i,j) de la matriz de covarianzas residuales quedaría como $\sum_t e_{i,t} e_{j,t} / (t-p)$, siendo p el número de parámetros por ecuación.

¹¹ Esto no implica dificultad alguna, ya que en los paquetes econométricos standards se recoge la posibilidad de calcular estos errores standards ya sea de forma analítica (asintóticamente) o mediante el método de Montecarlo. En las aplicaciones del epígrafe 4 se ha optado por su cálculo analítico.

Bajo este sencillo esquema teórico, suponiendo que no hay problemas de congestión en la infraestructura hub y aplicando una metodología de solvencia contrastada en el análisis dinámico de las series temporales, los modelos SVAR, se abren un conjunto de posibilidades muy interesante en la economía del transporte en todos sus campos. Para ilustrar la utilidad de esta metodología, en el epígrafe siguiente recogemos una aplicación práctica.

4. APLICACIÓN PRÁCTICA AL TRÁFICO DE CONTENEDORES ENTRE EL PUERTO BAHÍA DE ALGECIRAS Y OTROS PUERTOS DEL SISTEMA PORTUARIO ESPAÑOL¹².

Dentro del sistema portuario español, el puerto hub más importante en el tráfico de contenedores internacional es el puerto Bahía de Algeciras, y junto a él, los de Valencia y Barcelona. Aunque la diferencia entre el volumen de contenedores movidos por estos tres puertos no es tan grande como para justificar la elección del puerto Bahía de Algeciras como hub indiscutible¹³ del sistema portuario español, esta diferencia se debe ponderar por la amplitud de los hinterlands respectivos. El puerto Bahía de Algeciras es el que tiene un hinterland menor, lo que ocasiona que históricamente el 90 por ciento de media de su tráfico de contenedores no tiene origen o salida en su hinterland. Este 90 por ciento se dedica al transbordo internacional o nacional mediante sus líneas *round the world* y *feeder*, y, por tanto, es un tráfico casi exclusivamente debido a su función hub del sistema portuario español. Por todo ello, se ha escogido como referente de nuestra aplicación práctica.

Dado que las series temporales no son excesivamente grandes (1975-2001) y, además, son no estacionarias, hemos optado por trabajar con VAR bivariantes para evitar perder todos los grados de libertad, lo que ocurriría si trabajamos con un número amplio de variables. Nuestro objetivo es demostrar la idoneidad de los dos escenarios antes planteados, es decir, estudiar la interdependencia de las infraestructuras en el sistema, tanto si existe un hinterland compartido como si no lo hubiera. Hemos seleccionado dos aplicaciones en las que a priori podemos saber con gran certeza cuales son los resultados

¹² Todos los cálculos de este epígrafe han sido realizados con la el paquete estadístico Eviews 4.1.

esperados, de forma que cualquier desviación respecto de los mismos por nuestros modelos SVAR fuera difícilmente justificable y pusiera en tela de juicio su utilidad en el campo del análisis económico de los sistemas hub-and-spoke.

4.1. ESCENARIO 1: Existencia de un hinterland compartido entre las infraestructuras. Aplicación práctica: SVAR bivalente entre los puertos Bahía de Algeciras y Bahía de Cádiz.

Para ilustrar el primer caso hemos montado un SVAR bivalente entre los puertos de Bahía de Algeciras y Bahía de Cádiz. La distancia entre estos puertos es inferior a los 100 km.; o, en tiempo de carretera, un camión tardaría una hora entre los puertos de la Bahía de Algeciras y de Cádiz. Siguiendo nuestro esquema, el puerto de Bahía de Cádiz realizaría el papel de puerto spoke frente al de Bahía de Algeciras que sería el puerto hub.

Lo cierto es que el puerto Bahía de Cádiz no es un puerto spoke de Bahía de Algeciras, ya que no posee líneas feeder con Bahía de Algeciras. Este hecho no invalida la aplicación de la metodología antes planteada, es más, tiene efectos claramente favorables si queremos testar nuestra metodología sobre escenarios resueltos a priori. Por un lado refuerza la justificación teórica de la restricción a largo plazo ($Csh = 0$) por varias razones. En primer lugar, al no haber línea feeder entre los puertos Bahía de Algeciras y Bahía de Cádiz, el shock de la hub no tendrá ningún efecto favorable sobre el puerto spoke, es decir, $CMsh * Chh = 0$, ya que $CMsh = 0$ por definición. Además, es de suponer que los efectos desviación de comercio por compartir un hinterland común ($DCsh$) serán ínfimos en cuanto a la respuesta acumulada de la infraestructura spoke al impulso en el hub. Esto es fácil de mantener si tenemos en cuenta la escasa magnitud de los tráficos de los puertos spoke respecto de los del puerto hub ya que, por ejemplo, el puerto Bahía de Cádiz representaría menos del 3,5 por ciento de los tráficos de contenedores del puerto Bahía de Algeciras, medidos en toneladas.

Otra posibilidad de análisis para este caso concreto y excepcional, en el que no hay una relación hub-spoke entre las infraestructuras que incluimos en el análisis, es considerar que $DCsh$ es distinto de cero. De esta forma estaríamos suponiendo que un

¹³ En el año 2001 el puerto Bahía de Algeciras movió 1.414.390 TEUs frente a los 1.144.775 TEUs de Valencia y a los 947.767 TEUs de Barcelona.

shock de la infraestructura hub sobre la infraestructura spoke tiene un efecto ligeramente negativo.

Obviamente es mucho más difícil montar a priori, deductivamente, una restricción a largo plazo distinta de cero, ya sea positiva o negativa. En este trabajo, para elegir el valor a priori de esta nueva restricción negativa, hemos utilizado el mismo método analítico que para contrastar que $Csh = 0$. En primer lugar, construimos el intervalo de confianza para Csh utilizando para ortogonalizar los errores observados la inversa de la factorización de Cholesky, ajustando el número de grados de libertad y ordenando las variables de mayor a menor exogeneidad siguiendo el modelo de causalidad de Granger¹⁴. La mayor exogeneidad de la variable tal como la planteamos coincide con el concepto de prioridad causal en el sentido de Granger. Una vez construido el intervalo se debe escoger un valor ligeramente negativo que esté incluido dentro del mismo.

El primer paso a la hora de montar el modelo SVAR bivalente entre los tráficos de contenedores, expresados en toneladas, de los puertos Bahía de Algeciras y Bahía de Cádiz es la inspección de las series a tratar. Gráficamente se observa una relación positiva entre la media y la desviación típica de las variables expresadas en niveles, sobre todo para el caso del puerto Bahía de Algeciras (ver gráfico 1). Este indicio de heterocedasticidad evidente aconseja el empleo de la transformación logarítmica en ambas series. Además, sin tener que recurrir a ningún test de raíces unitarias se puede concluir la no estacionariedad en media de las series en niveles, como se desprende del gráfico 2. Para solventar estas deficiencias montaremos el modelo SVAR con las siguientes series $\nabla \log ALG$ y $\nabla \log CAD$, es decir, explicaremos la evolución de la tasa de crecimiento porcentual de cada una de las series en niveles en función de las tasas de crecimiento pasadas. En la tabla 1 se muestran los resultados de los test de raíces unitarias para dichas series, en los cuales se rechaza la hipótesis nula y por tanto las series originales ($\log ALG$ y $\log CAD$) son sólo $I(1)$.

¹⁴ Consideramos que una variable y_{2t} causa en el sentido de Granger a otra variable y_{1t} si la proyección en el futuro de y_{1t} con toda la información disponible ($Y_{1t} = y_{1t} + y_{2t}$) y la proyección sólo con la información de la variable y_{1t} son diferentes

Gráfico 1. Gráfico media-desviación típica de la serie del puerto Bahía de Algeciras

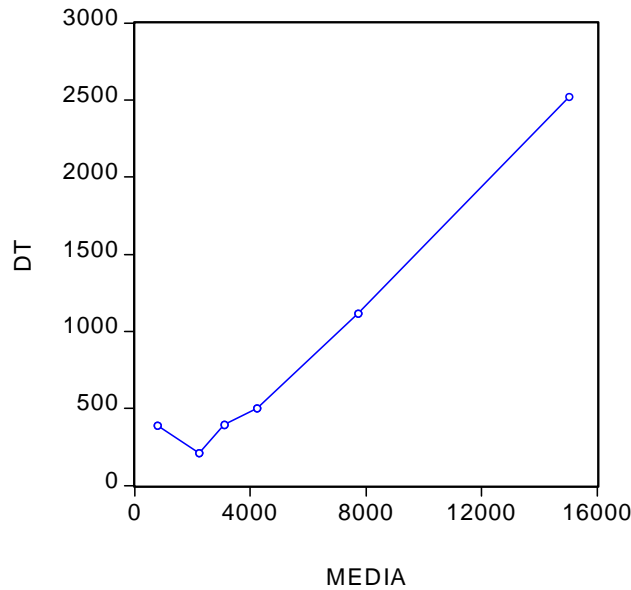


Gráfico 2. Series de los puertos de Bahía de Algeciras y Bahía de Cádiz (datos normalizados).

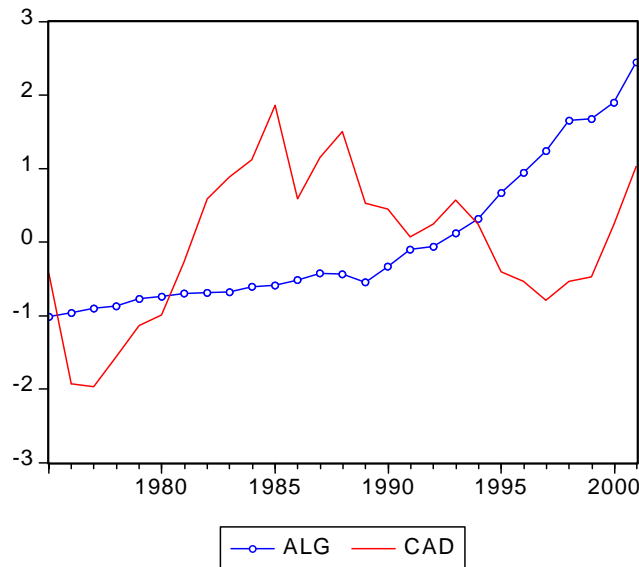


Tabla 1. Test de raíces unitarias para $\nabla \log ALG$ y $\nabla \log CAD$.

Test $\nabla \log ALG$	t-sta	Mackinnon p-values
Augmented Dickey-Fuller based SIC	-4.8840	0.0007
Phillips-Perron(Newey-West using Bartlett kernel)	-9.0163	0.0000
Test $\nabla \log CAD$	t-sta	Mackinnon p-values
Augmented Dickey-Fuller based SIC	-5.6475	0.0001
Phillips-Perron(Newey-West using Bartlett kernel)	-5.5837	0.0001

Una vez aplicados los tests de razón de verosimiludes para determinar el retardo óptimo del VAR (ver tabla 2), obtenemos la siguiente estructura:

$$\nabla \log \text{CAD} = 0.2176 * \nabla \log \text{CAD}(-1) + 0.1193 * \nabla \log \text{ALG}(-1) + 0.0162.$$

$$\nabla \log \text{ALG} = -0.3264 * \nabla \log \text{CAD}(-1) + 0.1522 * \nabla \log \text{ALG}(-1) + 0.1221$$

Tabla 2. Retardo óptimo en el VAR ($\nabla \log \text{ALG}$ y $\nabla \log \text{CAD}$).

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	27.71421	NA	0.000438	-2.057137	-1.959627*	-2.030092
1	33.32200	9.869710*	0.000386*	-2.185760*	-1.893230	-2.104624*

Un dato necesario a la hora de especificar el modelo SVAR son las bandas de confianza de la restricción a largo plazo que deseamos implantar ($C_{sh} = 0$). En este caso esas bandas para una respuesta acumulada de 10 periodos son (0.1311,-0.0464), luego recogerían tanto la posibilidad de $C_{sh} = 0$, como de que fuera ligeramente negativo teniendo en cuenta que sólo existen efectos de desviación comercio. Por ejemplo, una alternativa sería mantener que $C_{sh} = -0,010$. En la tabla 3 se recogen los resultados de la estructura VAR finalmente escogida.

Tabla 3. VAR Bahía de Algeciras y Bahía de Cádiz.

	∇LogALG	∇LogCAD
$\nabla \text{LogALG}(-1)$	0.152218 (0.14036) [1.08449]	0.119393 (0.14995) [0.79620]
$\nabla \text{LogCAD}(-1)$	-0.326435 (0.16384) [-1.99238]	0.217643 (0.17504) [1.24339]
C	0.122171 (0.03620) [3.37482]	0.016222 (0.03868) [0.41944]
Log likelihood	17.39166	15.73875
Akaike AIC	-1.151333	-1.019100
Schwarz SC	-1.005068	-0.872835
Mean dependent	0.146757	0.038944
S.D. dependent	0.147777	0.136257
Determinant Residual Covariance		0.000308
Log Likelihood (d.f. adjusted)		30.12616
Akaike Information Criteria		-1.930093
Schwarz Criteria		-1.637563

A continuación se muestran los gráficos de las funciones impulso respuesta bajo las dos alternativas $C_{sh} = 0$ y $C_{sh} = -0,010$. C_{sh} en este modelo sería $C_{cad/alg}$. Para que los resultados estuvieran en consonancia con el modelo planteado las gráficas deben

mostrar que $C_{cad/cad}$ y $Calg/alg$ serán claramente positivos mientras que $Calg/cad$ debe ser claramente negativo. En las gráficas siguientes se encuentran las estimaciones de las funciones acumuladas $C_{cad/cad}$ y $Calg/alg$ bajo los dos escenarios contemplados ($C_{sh} = 0$ y $C_{sh} = -0,010$), que como se puede observar cumplen los supuestos que sobre las mismas hemos planteado.

Gráfico 4. Funciones de impulso respuesta acumuladas bajo la restricción $C_{sh} = 0$.

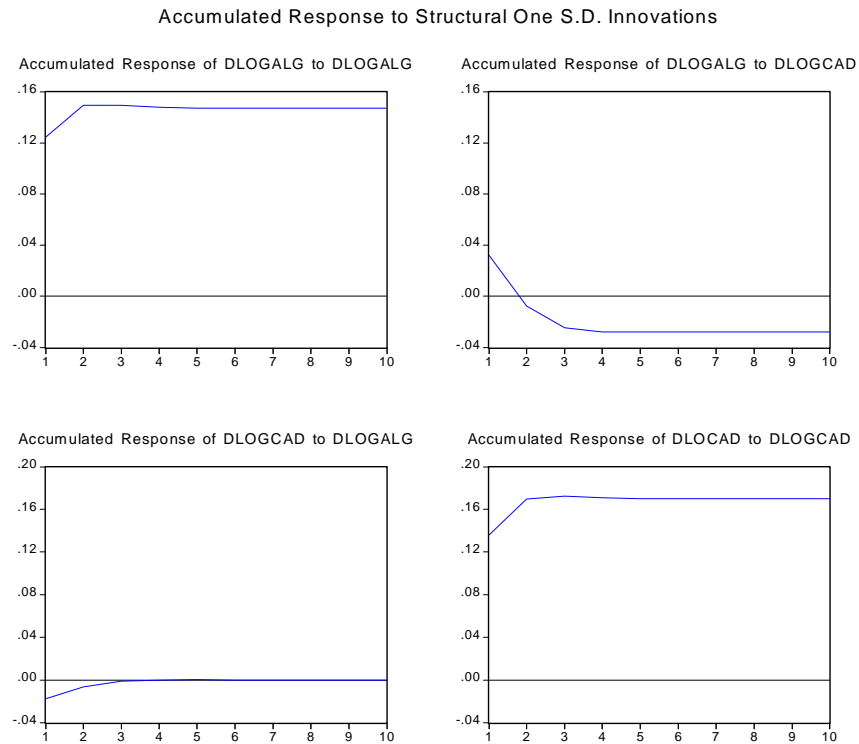
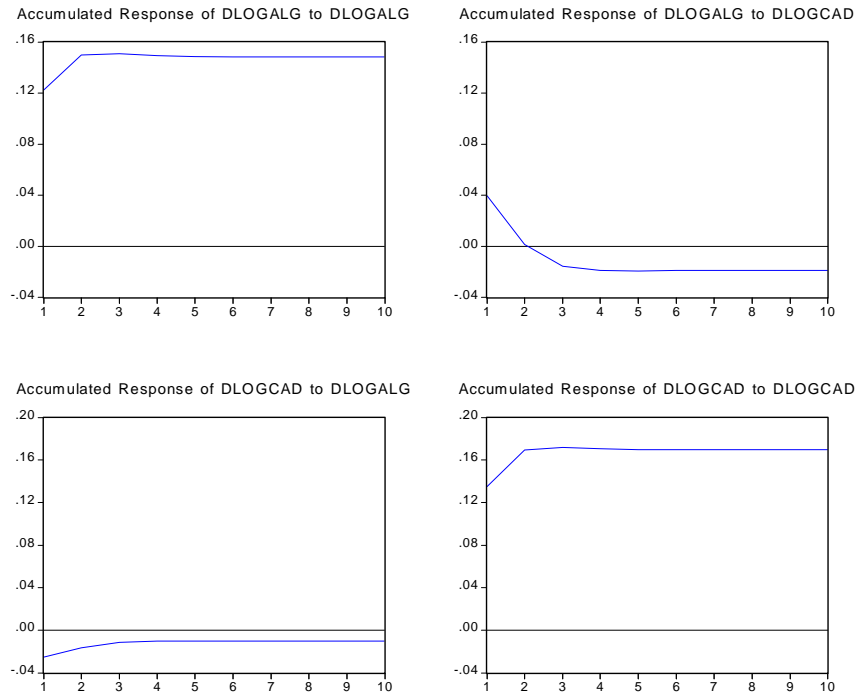


Gráfico 5. Funciones de impulso respuesta acumuladas bajo la restricción $C_{sh}=0,010$.

Accumulated Response to Structural One S.D. Innovations



Tras analizar los residuos del modelo, hemos aplicado el test de Jarque-Bera de normalidad para series multivariante. Con las restricciones de ortogonalización propuestas $Csh = 0$ y $Csh = -0,010$, hemos obtenido unos p-values de 0,5028 y 0,4905 respectivamente. Valores más que suficientes para mantener la hipótesis de ruido blanco de los residuos.

4.2. ESCENARIO 2: Inexistencia de un hinterland compartido entre las infraestructuras. Aplicación práctica: SVAR bivalente entre los puertos Bahía de Algeciras y Las Palmas.

En este escenario tenemos dos infraestructuras de transporte lo suficientemente alejadas para que no exista una región geográfica de hinterland compartido entre ellas. Esto facilita mucho el análisis ya que los efectos de desviación de comercio entre las infraestructuras serán nulos y, por tanto, tenemos que $DCsh = DChs = 0$. Bajo este escenario las ecuaciones de nuestro modelo quedarían de la siguiente forma:

$$Chs = kCMhs * Ccss.$$

$$Csh = cCMsh * Chh = 0$$

Actualmente los puertos españoles que cuentan con una línea *feeder* con el puerto Bahía de Algeciras son los siguientes: Alicante; Barcelona; Bilbao; Cartagena; Las Palmas

de Gran Canaria; Melilla; Santa Cruz de Tenerife; Tarragona; Valencia y Vigo. Pero no todos estos puertos sirven para nuestro análisis. Primero, deberemos descartar aquellos que a su vez desempeñen una función hub, ya que difícilmente podremos suponer que $Csh = 0$ cuando los dos son hub. Además, al competir estos puertos por las mismas líneas transoceánicas dentro de una mismo área geográfica, en este caso dentro del mediterráneo occidental, existirán fuertes efectos de desviación de comercio entre ellos, que necesitarán ser tenidos en cuenta, incluso aunque el hinterland compartido entre el puerto Bahía de Algeciras y los otros puertos hub sea nulo. Por estas razones debemos excluir del análisis los puertos de Valencia y Barcelona¹⁵. Finalmente para esta primera aproximación hemos escogido el puerto de Las Palmas ya que, al ser un puerto insular, no hay ninguna duda de que el hinterland compartido con el puerto Bahía de Algeciras es nulo.

Igual que antes, aplicamos la transformación logarítmica en ambas series, ya que gráficamente se observa una relación positiva entre la media y la desviación típica de las variables expresadas en niveles, sobre todo, en el de la Bahía de Algeciras¹⁶ (ver gráficos 1 y 6). Además, de nuevo, partiendo de la mera observación de las series, se puede concluir la no estacionariedad en media de las series en niveles, como se observa en el gráfico 7. Por todo ello se especificará el modelo SVAR con las siguientes series $\nabla \log ALG$ y $\nabla \log LasP$.

Gráfico 6. Gráfico media-desviación típica de la serie del puerto de Las Palmas.

¹⁵ En el caso de los puertos de Valencia, Barcelona y, en menor medida, en el de Bilbao hay que tener en cuenta que realmente sí tienen hinterland compartido con el puerto Bahía de Algeciras aunque de forma indirecta a través del Puerto Seco de Madrid. Dicho hinterland compartido es la zona centro de España.

¹⁶ Es lógico suponer que la heterocedasticidad será mayor en una infraestructura hub que en una spoke. Los tráficos de la primera fluctuarán en mayor medida según la fase del ciclo en la que nos encontremos, mientras que la segunda, la infraestructura spoke, será más estable al depender únicamente de su hinterland.

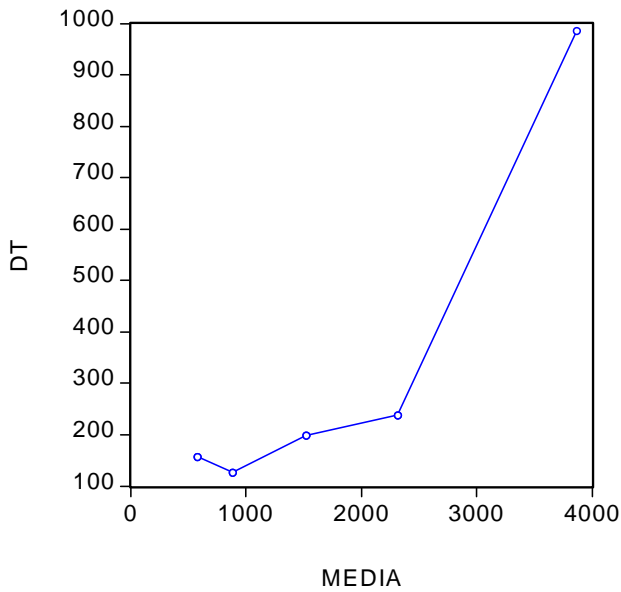
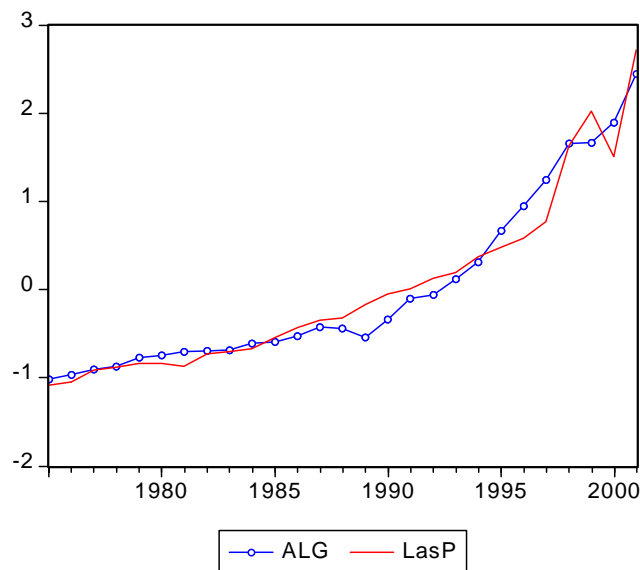


Gráfico 7. Series de los puertos de Bahía de Algeciras y Las Palmas (datos normalizados).



Respecto de las series $\nabla \log \text{ALG}$ y $\nabla \log \text{LasP}$, la mera observación de las series no es concluyente para determinar sus estacionalidad, por ello debemos aplicar los tests de raíces unitarias. En la tabla 4 se muestran los resultados de los tests de raíces unitarias para dichas series, en los cuales se rechaza otra vez la hipótesis nula y por tanto las series originales ($\log \text{ALG}$ y $\log \text{LasP}$) son sólo $I(1)$.

Tabla 4. Test de raíces unitarias para $\nabla \log \text{ALG}$ y $\nabla \log \text{LasP}$.

Test $\nabla\log\text{ALG}$	t-sta	MacKinnon p-values
Augmented Dickey-Fuller based SIC	-4.8840	0.0007
Phillips-Perron(Newey-West using Bartlett kernel)	-9.0163	0.0000
Test $\nabla\log\text{LasP}$	t-sta	MacKinnon p-values
Augmented Dickey-Fuller based SIC	-5.9147	0.0001
Phillips-Perron(Newey-West using Bartlett kernel)	-6.5017	0.0000

Una vez aplicados los tests de razón de verosimiludes para determinar el retardo óptimo del VAR (tabla 5) y los tests de exclusión de retardos hemos optado por la siguiente especificación:

$$\nabla\log\text{ALG} = -0.0060*\nabla\log\text{ALG}(-2) + 0.4472*\nabla\log\text{LasP}(-2) + 0.0819.$$

$$\nabla\log\text{LasP} = -0.0702*\nabla\log\text{ALG}(-2) - 0.3233*\nabla\log\text{LasP}(-2) + 0.1448.$$

Tabla 5. Retardo óptimo en el VAR ($\nabla\log\text{ALG}$ y $\nabla\log\text{LasP}$).

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	33.18294	NA	0.000201	-2.834813	-2.735627*	-2.811448
1	34.76988	2.741085	0.000252	-2.615444	-2.317887	-2.545349
2	42.51476	11.96935*	0.000181*	-2.955887*	-2.459958	-2.839061*

Como se puede observar, se ha eliminado el primer retardo, ya que el p-value asociado a la hipótesis nula de ausencia de significatividad de los coeficientes asociados al mismo (Test de exclusión de Wald) es de 0.6714. En la tabla 6, se recogen los resultados del modelo VAR especificado El paso siguiente es comprobar que $C_{sh} = 0$ se encuentra dentro de las bandas de confianza de nuestro modelo. En este caso esas bandas para una respuesta acumulada de 10 periodos son, (0.0135,-0.0261), con lo que podemos mantener esta hipótesis.

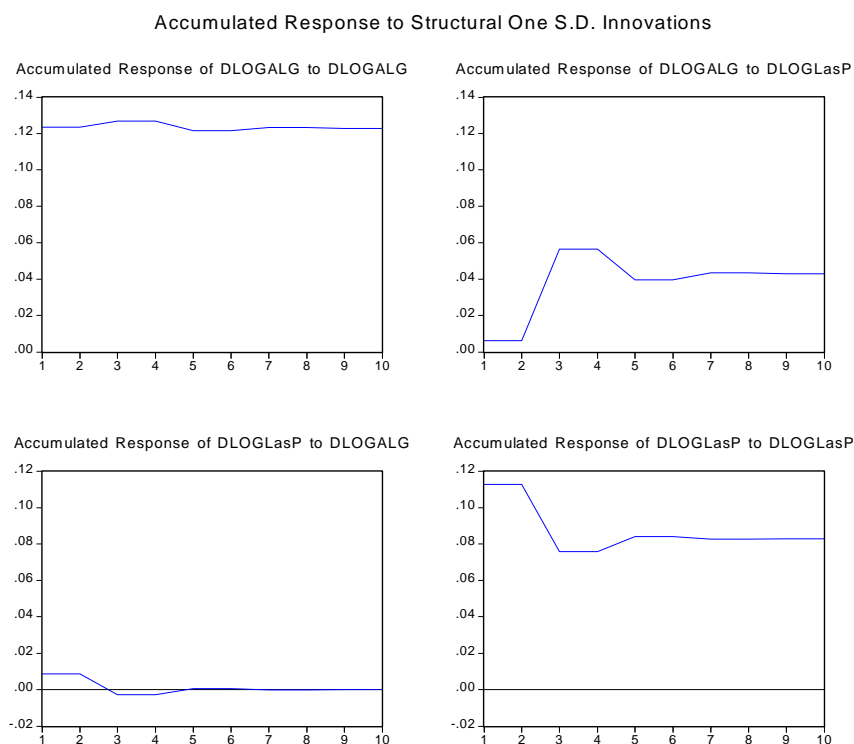
Tabla 6. VAR Bahía de Algeciras y Las Palmas.

	∇LogALG	$\nabla\text{LogLasP}$
$\nabla\text{LogALG}(-2)$	-0.006029 (0.12120) [-0.04974]	-0.070259 (0.11066) [-0.63490]
$\nabla\text{LogLasP}(-2)$	0.447254 (0.24665) [1.81331]	-0.323318 (0.22520) [-1.43569]
C	0.081991 (0.03998) [2.05073]	0.144847 (0.03650) [3.96795]
Log likelihood	17.68515	19.86865

Akaike AIC	-1.223762	-1.405721
Schwarz SC	-1.076506	-1.258464
Mean dependent	0.130969	0.095923
S.D. dependent	0.127615	0.115616
Determinant Residual Covariance		0.000193
Log Likelihood (d.f. adjusted)		34.54087
Akaike Information Criteria		-2.378406
Schwarz Criteria		-2.083893

A continuación se muestran los gráficos de las funciones impulso respuesta con la restricción a largo plazo de que $Csh = 0$, siendo Csh en este modelo $Clasp/alg$. Los gráficos responden a los supuestos del modelo planteado, ya que como se puede observar $Clasp/lasp$, $Calg/lasp$ y $Calg/alg$ son claramente positivos.

Gráfico 8. Funciones de impulso respuesta acumuladas bajo la restricción $Csh = 0$.



Finalmente, en este caso, el análisis de los residuos nos permite sustentar de nuevo el supuesto de ruido blanco. Hemos obtenido un p-value de 0,7961 con la restricción de ortogonalización propuesta.

5. CONCLUSIONES.

Las aplicaciones que figuran en esta comunicación nos hacen ser muy optimistas en cuanto al empleo de la metodología SVAR en Economía del Transporte. Todo parece indicar que esta categoría de modelos pueden ser un instrumento útil no sólo para la previsión de tráficos sino para la planificación de infraestructuras, así como para disminuir los costes de congestión asociadas a las mismas. No debemos olvidar que estamos ante un sector económico, el del transporte, en el que la demanda de infraestructuras está creciendo a una tasa anual superior a la oferta de las mismas, tanto pública como privada. Este hecho plantea la necesidad de contar con el máximo número de instrumentos matemáticos complementarios que faciliten la planificación del sector.

Entre los aspectos positivos de esta metodología destacamos su compatibilidad con otras a la hora de sustentar la toma de decisiones económicas, como son el análisis coste-beneficio social o las metodologías de impacto económico. Entre sus aspectos negativos encontramos que se encuentra inicialmente limitada a las estructuras de transporte hub-and-spoke, ya que para otras formas de transporte en las que no exista una infraestructura central que distribuya el tráfico, difícilmente podremos montar restricciones a corto o a largo plazo con las que construir el SVAR. Para este tipo de infraestructuras de transporte, que sin disponer de un hub operen con un tráfico común, existen otras alternativas como los análisis de cointegración.

De todas formas, lo limitado de las contrastaciones expuestas en este trabajo nos obliga a ser prudentes a la espera de un mayor número de trabajos. Estos trabajos deberían orientarse no sólo a la actividad portuaria sino también a otros ámbitos como el aeroportuario o el ferroviario.

6. BIBLIOGRAFÍA

Amisano, G. And C. Giannini (1997): *Topics in Structural VAR Econometrics*, Springer,.

Blanchard, O.J. and D.T. Quah (1989): "The Dynamics Effects of Aggregate of Demand and Supply Disturbances". *The American Economic Review* 79(4): 655-673.

Breitung, J. (2001): "A convenient representation for structural vector autoregressions". *Empirical Economics* 26:447-459

Cochrane, J.H. (1998): "What do the VARs Mean? Measuring the Output Effects of Monetary Policy". *Journal of Monetary Economics* 41 (2): 277–300.

Eviews 4 User's Guide (2002), Quantitative Micro Software, U.S.A.

DeSerres, A. and A. Guay (1995): "Estimating and Projecting Potential Output Using Structural Var Methodology". Working Paper 95-2, Bank of Canada.

Dwyer, M. (1999): "Impulse Response Priors for Discriminating Structural Vector Autoregressions". Working Paper, UCLA.

Faust, J. (1998): "The Robustness of Identified VAR Conclusions About Money". Carnegie-Rochester Conference on Public Policy 49: 207–244.

Faust, J., and E.M. Leeper (1997): "When Do Long-Run Identifying Restrictions Give Reliable Results?". *Journal of Business and Economic Statistics* 15 (3): 345–353.

Gottshalk, J. (2001): "An Introduction into the SVAR Methodology: Identification, Interpretation and Limitations of SVAR models", Kiel Working Paper n° 1072, Germany.

Hamilton, J.D. (1994): *Time Series Analysis*. Princeton University Press.

Jang, K. (2001): "Impulse Response Analysis with Long Run Restrictions on Error Models". Working Paper 01-04, Ohio University

Phillips, P.C.B. and P. Perron (1988). "Testing for a Unit Root in Time Series Regression," *Biometrika*, 75, 335–346.

Rudebusch, G.D. (1998): Do Measures of Policy in a VAR Make Sense? *International Economic Review* 39 (4): 907–931.

Sims, C.A. (1998): Comment on Glen Rudebusch's "Do Measures of Monetary Policy in a VAR Make Sense?". *International Economic Review* 39 (4): 933–941.

Urzua, Carlos M. (1997). "Omnibus Tests for Multivariate Normality Based on a Class of Maximum Entropy Distributions," in *Advances in Econometrics*, Volume 12, JAI Press, 341-358.