



Banco Central de Nicaragua
Emitiendo confianza y estabilidad

Un VAR Bayesiano de mediana escala para la economía
nicaragüense

William Mendieta Alvarado

Noviembre 2015

Tabla de contenidos

I.	Introducción	0
II.	Análisis de mecanismos de transmisión en Nicaragua	1
III.	BVAR: especificación del modelo	2
	¿Por qué usar el enfoque bayesiano?	2
	Estimación bayesiana de un VAR	2
	Especificación de la distribución prior	3
	Datos	5
	Habilidad predictiva	5
	Resultados	6
IV.	Análisis estructural	7
	Shock de gasto de gobierno	8
	Shock de precios del petróleo	9
V.	Comentarios finales	11
VI.	Bibliografía	12
VII.	Anexos	14



Un VAR Bayesiano de mediana escala para la economía nicaragüense

William Mendieta Alvarado*

Noviembre 2015

Resumen: En esta investigación estimo un modelo de vectores autorregresivos bayesiano (BVAR) de mediana escala para la economía nicaragüense. El modelo BVAR es usado para analizar las ganancias de utilizar un gran conjunto de datos para pronosticar variables macroeconómicas importantes, como lo son el IMAE y el IPC. Adicionalmente, a través del análisis de las funciones impulso respuesta generadas por el modelo, estudio algunos mecanismos de transmisión presentes en la economía nicaragüense, concretamente para un incremento en el precio del petróleo y un incremento en el gasto del gobierno. Este análisis brinda argumentos para debatir acerca de la posición de corto y largo plazo de la política fiscal, la cual se podría dirigir hacia el suavizamiento de los ciclos económicos del país.

*El autor es economista de la Dirección de Análisis Macroeconómico del Banco Central de Nicaragua. Para comentarios comunicarse a través del correo del autor wmendieta@bcn.gob.ni. El contenido de este documento es de exclusiva responsabilidad de su autor y no representa la posición oficial del BCN.

I. Introducción

Para la formulación de políticas económicas es útil realizar una caracterización amplia de la economía nacional, para lo cual es necesario utilizar una diversa gama de indicadores y/o variables macroeconómicas que capturen información de todos los mercados que integran a esta economía. Más importante aún es comprender la dinámica y las interrelaciones que existen entre éstos sectores, lo cual aporta a la comprensión de las repercusiones de una política sectorial sobre otros sectores de la economía.

En este sentido, este documento de investigación tiene dos objetivos: 1) construir un modelo BVAR de mediana escala que contribuya a caracterizar a la economía nacional y, de este modo, facilitar el análisis de la evolución, dinámica e interrelación de las principales variables macroeconómicas, en presencia de perturbaciones internas y externas y 2) evaluar la habilidad predictiva del modelo BVAR para pronosticar variables macroeconómicas importantes como el IMAE y el IPC.

El motivo por el cual utilizo métodos bayesianos es para rehuir del problema de dimensionalidad inherente a los modelos VAR (estimados bajo el enfoque frecuentista). Los modelos VAR son muy utilizados para realizar análisis de los mecanismos de transmisión presentes en una economía y son conocidos por tener una buena habilidad predictiva. Sin embargo, cuando se utiliza una cantidad considerable de variables, los modelos VAR son susceptibles al problema de dimensionalidad, lo que conduce a una estimación inconsistente de parámetros y a un pobre desempeño en términos de calidad de pronóstico.

El modelo BVAR en cambio, mediante la selección de una distribución de probabilidad anterior (*prior*) sobre los parámetros, tiene un menor riesgo de sobreparametrización, permitiendo de esta forma la estimación de un modelo más general que capturaría una parte importante de las dinámicas e interrelaciones de los mercados que integran a la economía nicaragüense. Esto permitiría evaluar de forma amplia el impacto de la implementación de políticas macroeconómicas, la incidencia de shocks de oferta-demanda agregada y/o perturbaciones externas, sin tener que recurrir a la selección de un conjunto reducido de variables. Esto último a la larga puede ser costoso en términos de información, pues se podría dejar fuera del modelo información relevante para el análisis de política económica.

En este contexto, los resultados encontrados muestran una amplia ventaja en términos de habilidad predictiva del modelo BVAR sobre los modelos de comparación. En este sentido, el utilizar el modelo BVAR para pronosticar tanto al IMAE como al IPC, reduce considerablemente la varianza del error de predicción, generando de esta forma proyecciones más precisas de las variables de interés. Esto permite justificar el uso de un conjunto más amplio de indicadores a considerar para realizar un análisis estructural.

Así, a través de funciones impulso respuesta, realicé un análisis estructural de la economía nicaragüense, principalmente enfocado en estudiar la posición de corto y largo plazo que debería adoptar la política fiscal de Nicaragua. Los resultados sugieren que en el corto plazo los impulsos fiscales no son idóneos para incentivar a la economía, pues generan presiones inflacionarias y las ganancias en términos de dinamismo económico son relativamente bajas. No obstante, en el largo plazo la política fiscal podría fungir un rol estabilizador de los ciclos económicos, pues podrían reducir su amplitud y, de esta manera, mitigar tanto la probabilidad de ocurrencia de crisis económicas como los costos asociados a éstas.

El resto del documento se estructura de la siguiente manera: la sección II contextualiza al modelo BVAR en la literatura de mecanismos de transmisión en Nicaragua, destacando las

contribuciones de este modelo. La sección III describe la especificación del modelo BVAR, enfatizando en la selección de la distribución prior, paso que es fundamental en la estimación bajo un enfoque bayesiano. Luego, en la sección IV, realizo el análisis de la habilidad predictiva del modelo BVAR. En seguida, en la sección V describo el procedimiento para llevar a cabo el análisis estructural, y muestro el análisis de perturbaciones internas y externas, a saber: un impulso fiscal y un shock de precio de petróleo. Finalmente, la sección VI la dedico a un breve resumen de este documento y algunos comentarios finales.

II. Análisis de mecanismos de transmisión en Nicaragua

Desde el trabajo seminal de Sims (1980) los modelos VAR se han convertido en el caballo de batallas de los macroeconomistas. Stock y Watson (2001) argumentan que los modelos VAR son una herramienta muy poderosa para realizar descripciones y pronósticos de los datos y, combinados con supuestos de identificación razonables, contribuyen a caracterizar vínculos causales entre diversas variables macroeconómicas (mecanismos de transmisión), haciendo de esta una útil herramienta para la evaluación de políticas.

Por su parte, otra clase de modelos que exploran los mecanismos de transmisión son los modelos macroeconómicos, los cuales consisten un modelo de ecuaciones simultáneas utilizado para realizar simulaciones de políticas y/o shocks de oferta y demanda agregada (Sargent 1976. Carnot et al, 2011). En este sentido, con el objetivo de escapar de la Crítica de Lucas (1976), surgen los modelos microfundamentados de equilibrio general, dinámicos y estocásticos (DSGE, por sus siglas en inglés).

En este contexto, en la literatura de mecanismos de transmisión para el caso de Nicaragua destaca el trabajo de Gámez (2005) quien, mediante un modelo VAR estructural, realiza un análisis cuantitativo de la transmisión de shocks estructurales a diversas variables de la economía Nicaragüense. Por su parte, López, Sarria y Treminio (2013) estudian los mecanismos de transmisión de shocks externos usando un modelo macroeconómico y evalúan los efectos que éstos tienen sobre variables como el ciclo económico, el déficit comercial y la acumulación de reservas internacionales.

Otros estudios destacados de mecanismos de transmisión son los de Acevedo (2011) y Flores (2013). El primero construye un modelo DSGE para analizar los mecanismos de transmisión asociados a la política tributaria en Nicaragua, el análisis es realizado suponiendo que Nicaragua es una economía cerrada. El segundo, mediante un modelo DSGE de economía abierta y cuyo Banco Central tiene una política monetaria independiente, analiza los mecanismos de transmisión detrás de shocks de demanda, inflación, productividad, entre otros. La construcción de estos modelos supone un avance muy importante en la literatura empírica del país, y es necesario someterlos a pruebas de robustez. Adicionalmente, estos no consideran el canal financiero, el cual a raíz de la crisis financiera internacional ha probado ser un mecanismo de transmisión importante de las economías.

Dado el contexto anterior, este documento pretende extender el análisis de los mecanismos de transmisión de Nicaragua a través de una opción aún no explorada en la literatura empírica de Nicaragua: un modelo BVAR. Mediante este enfoque, el modelo BVAR permitiría realizar un análisis amplio y versátil de los mecanismos de transmisión asociados a diversos shocks sectoriales: evaluar políticas de gasto del gobierno, políticas para mejorar las condiciones de intermediación financiera e inclusive, en la medida que el modelo sea extendido, el estudio de la incidencia de fenómenos climáticos sobre las variables fundamentales de la economía (Bloor y Matheson, 2008).

En este sentido, los resultados del modelo BVAR estarán conformados por la interacción de dos elementos: la distribución prior del modelo y la función de verosimilitud de los datos que lo conforman. Finalmente, un aporte adicional es que el modelo BVAR provee un marco de proyecciones de corto plazo para una cantidad considerable de variables.

III. BVAR: especificación del modelo

¿Por qué usar el enfoque bayesiano?

Los modelos VAR son muy útiles para la modelización econométrica y un punto de comparación estándar para el análisis de problemas económicos dinámicos (Ciccharelli y Rebuci, 2003). Sin embargo, en la gran flexibilidad de los modelos VAR radica su principal debilidad. De Mol (2008), Koop y Korobilis (2009), Del negro y Schorfheide (2009), Banbura et al (2010) y Giannone et al (2012) alegan que éstos son muy propensos al problema de dimensionalidad, lo que en modelos de mediana y gran escala conlleva a una estimación inconsistente de los parámetros del modelo y, en última instancia, a un pobre desempeño en términos de calidad de pronóstico.

Esto tiene importantes implicancias pues limita el análisis a modelos que consideran un set reducido de variables. Por ejemplo, Litterman (1986) encuentra que el aplicar contracción bayesiana a un VAR de seis variables conduce a un mejor desempeño en cuanto a calidad de pronóstico, sugiriendo que la proliferación de parámetros es un tema importante aún en sistemas de moderado tamaño (Banbura et al, 2010).

En este sentido, el enfoque bayesiano ha permitido la construcción de modelos de mayor amplitud. Así, mediante la selección de una distribución prior sobre los parámetros del modelo, el enfoque bayesiano permite rehuir del problema de dimensionalidad inherente a los modelos VAR (Koop y Korobilis, 2009. Banbura et al, 2010. González, 2012). Esto permitiría analizar los mecanismos de transmisión presentes en la economía nacional, sin la necesidad de restringir el análisis a un conjunto acotado de variables.

Estimación bayesiana de un VAR

En esta subsección describo brevemente la idea detrás de la estimación Bayesiana de un modelo VAR, con base en los trabajos de Koop (2003), Ciccarelli y Rebuci (2003), Koop, Pourier y Tobias (2007), Koop y Korobilis (2009) y van de Schoot (2014). Así, un modelo VAR puede ser escrito en su forma reducida como:

$$Y_t = X_t\beta + \varepsilon_t, \quad t = 1, \dots, T \quad (1)$$

donde $X_t = (I_n \otimes W_{t-1})$ es una matriz de dimensión $n \times nk$, $W_{t-1} = (Y'_{t-1}, \dots, Y'_{p-1})$ es de dimensión $k \times 1$, y $\beta = \text{vec}(B_1, \dots, B_p)$ es un vector de coeficientes de dimensión $nk \times 1$. Los parámetros a estimar son β y Σ , la cual corresponde a la matriz de varianzas y covarianzas.

Ante esto, la estimación del modelo VAR tiene tres aspectos importantes: la distribución prior de los parámetros, es decir, todos los conocimientos previos de las variables antes de observar las realizaciones (datos), la función de verosimilitud de los datos observados y, finalmente, la distribución posterior de los parámetros, la cual es resultado de la combinación de los dos elementos anteriores mediante el teorema de Bayes.

Concretamente, sea $pdf(\beta, \Sigma)$ una función de densidad de probabilidad conjunta anterior (prior) para los parámetros del modelo descrito por (1). Adicionalmente, sea $L(Y|\beta, \Sigma)$ la función de densidad de probabilidad de los datos condicional a los parámetros, es decir, la

función de verosimilitud de toda la información contenida en los datos, la cual puede ser descrita por la ecuación (2)²

$$L(Y|\beta, \Sigma) \propto \frac{1}{|\Sigma|^{-T/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \sum_t (Y_t - X_t \beta)' \Sigma^{-1} (Y_t - X_t \beta) \right\} \quad (2)$$

La función de densidad de probabilidad conjunta posterior de los parámetros del modelo VAR puede ser obtenida a través del teorema de Bayes, esto es:

$$\begin{aligned} pdf(\beta, \Sigma|Y) &= \frac{pdf(\beta, \Sigma)L(Y|\beta, \Sigma)}{p(Y)} \\ &\propto pdf(\beta, \Sigma) L(Y|\beta, \Sigma) \end{aligned} \quad (3)$$

Es decir, la función de densidad de probabilidad conjunta posterior es proporcional a la función de densidad conjunta anterior por la función de verosimilitud de los datos condicional a los parámetros. Dado $pdf(\beta, \Sigma|Y)$, las distribuciones posteriores marginales condicionales en los datos, $pdf(\beta|Y)$ y $pdf(\Sigma|Y)$, pueden ser obtenidas al integrar completamente Σ y β , respectivamente de $pdf(\beta, \Sigma|Y)$. Finalmente, las medidas de tendencia central y dispersión de $pdf(\beta|Y)$ y $pdf(\Sigma|Y)$ pueden ser analizadas para obtener estimaciones punto de los parámetros de interés así como medidas de precisión, comparables a aquellas obtenidas bajo un enfoque frecuentista.

Especificación de la distribución prior

En esta subsección describo la especificación de la distribución prior para los parámetros del modelo descrito por la ecuación (1). El modelo VAR es estimado usando un enfoque bayesiano. Esto implica el fijar previamente creencias sobre los parámetros del modelo y con ello rehuir del problema de dimensionalidad.

Así, en este documento utilizo el prior propuesto por Litterman (1996), el cual consiste, *grosso modo*, en suponer que las m variables que conforman el modelo VAR son presentadas *a priori* como caminatas aleatorias. Un argumento a favor de seleccionar esta distribución prior es que las caminatas aleatorias típicamente tienen un buen poder predictivo sobre series de tiempo macroeconómicas (Canova, 2007).

Concretamente, sea $Y_t = (y_{1,t}, y_{2,t}, \dots, y_{m,t})'$ un vector relativamente grande de variables aleatorias. La ecuación (1) puede reescribirse como:

$$Y_t = c + B_1 Y_{t-1} + \dots + B_p Y_{t-p} + u_t \quad (4)$$

Donde u_t es un ruido blanco gaussiano n -dimensional, con matriz de varianzas y covarianzas $\mathbb{E}u_t u_t' = \Psi$, $c = (c_1, \dots, c_n)'$ es un vector n -dimensional de constantes y B_1, \dots, B_p son matrices $n \times n$ de coeficientes.

² Suponiendo que los factores inobservables provienen de una distribución normal.

Ante el modelo planteado, Litterman (1996) sugiere usar un prior tal que todas las ecuaciones que conforman (4) estén centradas alrededor de una caminata aleatoria con *drift*, es decir, la media asociada a la distribución prior puede ser descrita con la siguiente representación de Y_t :

$$Y_t = c + Y_{t-1} + u_t$$

Mediante esta especificación se contraen los elementos de la diagonal de B_1 hacia uno y los parámetros restantes en B_1, \dots, B_p hacia cero. Adicionalmente, el prior supone una mayor ponderación para los rezagos más recientes, pues se espera que éstos provean información más importante que la atribuida por aquellas más distantes. Asimismo, supone que los rezagos de una misma variable debiesen explicar una mayor proporción de su varianza en contraste con los rezagos de otras. Estas creencias son impuestas al fijar los siguientes momentos de la distribución prior para los coeficientes:

$$\mathbb{E}(B_k)_{ij} = \begin{cases} \delta_i, & j = i, k = 1 \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}, \quad \mathbb{V}[(A_k)_{ij}] = \begin{cases} \frac{\lambda^2}{k^2}, & j = i, k = 1 \\ \vartheta \frac{\lambda^2 \sigma_i^2}{k^2 \sigma_j^2}, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (5)$$

Donde $(B_k)_{ij}$ se refiere al elemento ij de la matriz B correspondiente al rezago k . Los coeficientes de las matrices B son asumidos como independientes y normalmente distribuidos. Además, se asume que la matriz de varianzas y covarianzas de los residuos es constante y conocida, es decir: $\Psi = \Sigma$, donde Σ es una matriz diagonal cuyos elementos corresponden a la varianza asociada a las n variables que conforman el sistema, esto es: $\Sigma = \text{diag}(\sigma_1^2, \dots, \sigma_n^2)$. Finalmente, se supone un prior difuso para los interceptos.

En esta investigación, tomando como base a Banbura, Giannone y Reichlin (2010) fijo $\delta_i = 1$ para aquellas variables que son no estacionarias, se considera el prior de caminata aleatoria. Para aquellas que son estacionarias, es decir, que presentan una fuerte reversión a la media, considero un prior de ruido blanco, es decir $\delta_i = 0$. Los demás parámetros de la ecuación 2 los explico en la tabla 1.

Finalmente, si bien para todas las variables que conforman el VAR *a priori* se asume el prior de Litterman (1996), *a posteriori* cada una de las series de tiempo puede seguir un proceso más complicado en dependencia de la información que provean los datos.

Tabla 1: Parámetros de la distribución prior de los coeficientes

Parámetro	Propósito
λ	Grado de contracción bayesiana. Si $\lambda \rightarrow 0$ los datos no influyen a la distribución posterior. Si $\lambda \rightarrow \infty$ el prior no influye a la distribución posterior.
$1/k^2$	Razón a la cual decrece la varianza de la distribución prior con el aumento del número de rezagos del modelo.

σ_i^2 / σ_j^2	Controla por la escala y variabilidad de los datos.
ϑ	Importancia de los rezagos de otras variables. $\vartheta \in (0,1)$.

Fuente: Elaboración propia con base en Litterman (1996) y Banbura, et al (2010).

Datos

El modelo BVAR de mediana escala es estimado usando 25 series de tiempo, con periodicidad mensual, entre enero 2003 y diciembre 2014. En términos generales, la base de datos consiste en seis categorías de variables: producción y actividad económica, empleo y salarios, precios, sector monetario y financiero, sector externo y gobierno. Éstas fueron elegidas con el objetivo de capturar los sectores más representativos de la economía nicaragüense. Las variables son detalladas en la tabla A1 del anexo. Todas las variables se expresan en variaciones interanuales, a excepción de aquellas que son tasas las cuales se mantienen en niveles.

Gracias a la amplitud de la base de datos, el modelo BVAR permitiría analizar los efectos sectoriales de una política fiscal expansiva (contractiva) mediante el aumento (disminución) del gasto público. En particular, en esta investigación estudio se realiza discute acerca de la posición de la política fiscal en el corto y el largo plazo. No obstante, el modelo BVAR goza de una alta flexibilidad, por lo que se puede utilizar para estudiar medidas que incentiven a cierto sector de la economía como al sector comercio o transporte, determinar los efectos sectoriales de una política dirigida a relajar las condiciones de intermediación financiera, entre otros.

Habilidad predictiva

En esta sección evalúo la habilidad predictiva del modelo BVAR para pronosticar el IMAE y el IPC, no obstante el modelo puede utilizarse para proyectar cualquiera de las variables que lo compone. El análisis lo llevo a cabo comparando diversas especificaciones del modelo BVAR con dos tipos modelos *benchmark*. En primer lugar, estimo las mismas especificaciones del modelo BVAR bajo el enfoque frecuentista. El motivo de utilizar otras especificaciones del modelo es con el propósito de evaluar si existen ganancias en términos de una mejor habilidad predictiva al ampliar el set de datos. En segundo lugar, las proyecciones se comparan con aquellas obtenidas a partir de una caminata aleatoria para el IMAE y el IPC. Las variables que componen cada una de las especificaciones del modelo VAR y BVAR se listan en la tabla A1 del anexo.

En particular, la estimación del modelo VAR *benchmark* (estimado bajo el enfoque frecuentista) puede explicarse desde el punto de vista bayesiano mediante el indicador de contracción bayesiana λ . En este caso, λ se fija con un valor igual a infinito, es decir, la distribución posterior es únicamente proporcional al comportamiento de los datos, y por lo tanto no incorpora la información proveniente de la distribución prior previamente impuesta, lo que, en esencia, constituye el enfoque econométrico frecuentista.

Concretamente, estimo modelos VAR y BVAR de tres diferentes escalas. La especificación de los modelos puede verse en la tabla A1 del anexo. Así, se estima un BVAR de pequeña escala que incluye las variables tradicionales para el análisis de política económica en una economía abierta. Otro de escala intermedia que extiende el set de datos para incorporar información relacionada tanto al sector monetario y financiero como al sector externo. Finalmente, se

evalúa la capacidad predictiva de un modelo BVAR de mediana escala, compuesto por los 25 indicadores listados en la tabla A1.

La evaluación de la capacidad predictiva es pseudo fuera de muestra, y la realizo utilizando el siguiente algoritmo:

1. Usando una submuestra $T' < T$ se estiman todos los modelos (BVAR, VAR y caminatas aleatorias³) utilizando una ventana móvil de 24 meses. Con estos modelos proyecto $T'' < T' < T$ períodos de las variables bajo evaluación (IMAE e IPC), continuando bajo el esquema de *rolling forecasts*.
2. Utilizo la raíz del error cuadrático medio (RECM) como principal criterio de evaluación (ver ecuación 9). Así, estudio la habilidad predictiva de los modelos previamente estimados en una submuestra de dimensión $T'' \ll T$, la cual contiene los valores observados de los indicadores que acaban de ser proyectados.

$$RECM_{x_i} = \sqrt{\frac{1}{T''} \sum_{i=t}^{T''} (x_{i+h} - \hat{x}_{i+h|t})^2} \quad (9)$$

Donde $x_i = \{IMAE, IPC\}$.

3. Finalmente, las proyecciones de los modelos BVAR se evalúan a 1, 3, 6 y 12 meses hacia adelante.

Resultados

En las tablas 2, 3 se resumen los principales resultados de la evaluación de la habilidad predictiva del modelo BVAR. En ambas tablas se muestra la RECM relativa entre el modelo BVAR (bajo sus tres especificaciones) y su modelo *benchmark* correspondiente⁴. Así, valores menores a uno indican una mejor habilidad predictiva del modelo BVAR en relación con el modelo *benchmark* en cuestión. En términos generales ambas tablas muestran una clara superioridad en términos de habilidad predictiva para el modelo BVAR, tanto al compararlo

³ Los modelos de caminatas aleatorias son estimados bajo una sola especificación, la cual se muestra a continuación:

$$x_{i,t} = \beta_{i,0} + \beta_{i,1}x_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}$$

Donde $|\beta_1| < 1$ y $\varepsilon_{i,t} \sim N(0, \sigma_{\varepsilon_i}^2)$

⁴ La RECM relativa es:

$$R_{x_i} = \frac{RECM_{x_i}}{RECM_{benchmark}}$$

Así, un $R_{x_i} < 1$ indica una mejor habilidad predictiva por parte del BVAR.

bajo las tres diversas especificaciones, como para cualquiera de los horizontes de proyección bajo estudio.

En primer lugar, al comparar las proyecciones de los modelos de vectores autorregresivos estimados bajo ambos enfoques (bayesiano y frecuentista), para ambas variables (IMAE e IPC) el modelo BVAR es superior en todos los horizontes de proyección. Este resultado se mantiene inclusive en la especificación del modelo de pequeña escala, en la cual se utilizan únicamente 5 indicadores para caracterizar a la economía nicaragüense.

Tabla 2: Raíz del Error Cuadrático Medio Relativa (BVAR-VAR)

Variable	Modelo 1				Modelo 2				Modelo 3			
	<i>b=1</i>	<i>b=3</i>	<i>b=6</i>	<i>b=12</i>	<i>b=1</i>	<i>b=3</i>	<i>b=6</i>	<i>b=12</i>	<i>b=1</i>	<i>b=3</i>	<i>b=6</i>	<i>b=12</i>
IMAE	0.35	0.63	0.65	0.66	0.46	0.81	0.77	0.61	0.47	0.80	0.82	0.63
IPC	0.17	0.29	0.37	0.59	0.16	0.21	0.20	0.29	0.53	0.65	0.66	0.83

Fuente: Elaboración propia.

Este resultado es un indicador de que la proliferación de parámetros, es decir, el problema de dimensionalidad en los modelos VAR, es importante aún en sistemas de pequeña escala. Así, el emplear un enfoque bayesiano contribuye a mejorar de manera significativa las proyecciones punto. Este resultado está en línea con aquellos obtenidos por Banbura, Giannone y Reichlin (2010), Bloor y Matheson (2011), Giannone, Lenza y Primiceri (2012) y González (2012).

En segundo lugar, al comparar los resultados de los modelos BVAR con la calidad de las proyecciones del modelo de caminata aleatoria, las conclusiones son muy similares al caso anterior. El modelo BVAR es ampliamente superior al modelo de caminata aleatoria para ambas variables y para la mayoría de los horizontes de proyección. En este sentido, únicamente para el caso del IMAE, y en particular cuando el horizonte de proyección es igual a tres, sucede que el modelo de caminata aleatoria supera a las proyecciones del modelo BVAR.

Tabla 3: Raíz del Error Cuadrático Medio Relativa (BVAR-Caminata Aleatoria)

Variable	Modelo 1				Modelo 2				Modelo 3			
	<i>b=1</i>	<i>b=3</i>	<i>b=6</i>	<i>b=12</i>	<i>b=1</i>	<i>b=3</i>	<i>b=6</i>	<i>b=12</i>	<i>b=1</i>	<i>b=3</i>	<i>b=6</i>	<i>b=12</i>
IMAE	0.60	1.08	0.87	0.69	0.71	1.20	0.90	0.63	0.71	1.17	0.87	0.59
IPC	0.97	0.68	0.51	0.45	0.67	0.52	0.34	0.36	0.90	0.66	0.48	0.44

Fuente: Elaboración propia.

IV. Análisis estructural

En esta sección realizo un análisis estructural de la economía nicaragüense empleando el modelo BVAR de mediana escala (ver tabla A1, modelo 3). Por medio de las funciones impulso respuesta caracterizo la dinámica y evolución de algunas variables macroeconómicas importantes.

Debido a la amplia gama de shocks que pueden ser estudiados mediante el modelo BVAR, con el objetivo de acotar las diversas opciones para el análisis estructural, me concentraré únicamente en el estudio de shocks transitorios y no anticipados. En este sentido simularé dos shocks, a saber: 1) un aumento del gasto (corriente) del gobierno, 2) un incremento del precio

del petróleo. En la literatura, el análisis estructural mediante modelos BVAR está concentrado en los efectos sectoriales de la política monetaria, a excepción de los casos de González (2012) quien simula shocks de premio por riesgo y shocks bursátiles y el de Bloor y Matheson (2008) quienes simulan shocks de tipo climático⁵.

El análisis estructural se realizará aplicando el esquema de identificación recursiva. Siguiendo a Banbura et al (2010), Bernanke et al (2005), Christiano et al (1999) y Stock y Watson (2005), divido el panel de variables en dos categorías: de movimiento lento y movimiento rápido. Básicamente esta división consiste en separar las variables reales de las financieras, y la variable que separa a ambas será el objetivo operativo del BCN, es decir, las reservas internacionales.

Para realizar análisis del tipo estructural es necesario imponer algunas restricciones sobre el sistema, de modo que éste esté exactamente identificado. Debido a la gran cantidad de variables que tiene el modelo, el realizar una descomposición de los shocks estructurales mediante el método de identificación de Sims (1980), como el utilizado por Gámez (2005), resulta muy complejo.

Como alternativa utilizo una descomposición de Cholesky para la identificación de los shocks estructurales de la economía nicaragüense. De esta forma, sea $\beta = CD^{1/2}$, $CDC' = \mathbb{E}[u_t u_t'] = \Psi$ corresponde a la matriz de varianzas y covarianzas del VAR descrito en (1) y $D = \text{diag}(\Psi)$. Sea $e_t = (e_{1t}, \dots, e_{mt})' = C^{-1}u_t$ la transformación lineal de los residuos de (1). El shock i es a la fila e_i correspondiente a la posición r_t , este es $e_{n_1+1,t}$. La ecuación (1) en su versión estructural puede escribirse como:

$$A_0 Y_t = v + A_1 Y_{t-1} + \dots + A_p Y_{t-p} + e_t, \quad e_t \sim N(0, D) \quad (8)$$

Donde $v = C^{-1}c$, $A_0 = C^{-1}$ y $A_j = C^{-1}B_j$, $j = 1, \dots, p$.

Finalmente, las funciones impulso respuesta serán evaluadas en un horizonte de veinticuatro meses.

Shock de gasto de gobierno

Las funciones impulso-respuesta generadas por este shock se pueden ver en la figura A1. Estas muestran que, bajo el modelo de mediana escala, un impulso fiscal vía aumento del gasto público corriente ralentiza la actividad económica medida a través del IMAE. Este resultado puede sugerir que los individuos se comportan como agentes ricardianos, es decir, que incorporan en sus decisiones de gasto la restricción presupuestaria intertemporal del gobierno. En otras palabras, esto significa que los agentes internalizan en sus decisiones de consumo e inversión la manera en que el impulso fiscal será financiado. Lo anterior sugiere, además, que los agentes se comportan como individuos *forward-looking*, es decir, que toman sus decisiones en base a la evolución esperada (futura) de la economía.

En este sentido, los individuos podrían ver que este impulso será financiado vía impuesto inflación, lo cual explica las presiones inflacionarias que muestran las funciones impulso-respuesta. Las alzas en la inflación son positivas y estadísticamente significativas en los primeros 6 meses después del choque. Cabe destacar que estas presiones inflacionarias se materializan

⁵ El modelo BVAR de mediana escala que se presenta en este documento puede ser fácilmente extendido para estudiar mecanismos de transmisión no tradicionales, como los relacionados a shocks climáticos.

en diversos ítems del IPC, principalmente en los precios de los alimentos. Además, el mercado laboral sigue una dinámica parecida al del IMAE.

Adicionalmente, el impulso fiscal propicia pérdidas en las reservas internacionales netas. Esta pérdida en reservas se podría explicar a través del incremento en la liquidez en moneda nacional del sistema financiero que ocurre debido al mayor gasto del gobierno. Dada la naturaleza del régimen cambiario en Nicaragua, los excedentes de liquidez pueden ser drenados a través de Operaciones de Mercado Abierto o bien a través de la venta de divisas por parte del BCN al Sistema Financiero por medio de la Mesa de Cambio.

La pérdida de reservas internacionales es acentuada debido al deterioro de la balanza comercial. En este sentido, las importaciones aumentan mientras que las exportaciones tienen un comportamiento neutro. El incremento en las importaciones es consistente con la apreciación del tipo de cambio real. Esto va en línea con las predicciones que realiza el modelo Neo Keynesiano, en el cual impulsos fiscales suscitan apreciaciones del tipo de cambio real. Esto a su vez genera un deterioro de los términos de intercambio, lo que en última instancia propicia un deterioro en la balanza comercial mediante el mayor valor de importaciones.

Shock de precios del petróleo

Las funciones impulso-respuestas generadas por este shock se pueden ver en la figura A2. Un shock de gasto de petróleo se traduce inmediatamente en presiones inflacionarias en todos los ítems de la inflación considerados. En este sentido, el modelo predice incrementos en la tasa de inflación los primeros 10 meses después del choque. Este comportamiento sugiere que la estructura de precios de la economía nicaragüense es muy susceptible al comportamiento del precio del petróleo. En este sentido, los esfuerzos por transformar la matriz energética son muy positivos pues mitigan las distorsiones de los precios relativos que se generan por la volatilidad del precio del petróleo.

Otro aspecto que cabe resaltar es que el shock genera presiones negativas en la riqueza de las familias nicaragüenses, lo que puede explicar las mayores necesidades de financiamiento por parte de éstas, lo cual se ve reflejado en el incremento en el crédito entre el tercer y onceavo mes después del choque. A pesar de esto y, posiblemente debido a las distorsiones en la estructura de precios relativos de la economía, un shock de precios de petróleo reduce el dinamismo económico en la mayoría de los sectores al cabo de 24 meses. Así, por ejemplo, el sector comercio y, naturalmente, el sector transporte sufren el impacto negativo de la subida en el precio del crudo, siendo más severo el impacto en el sector transporte.

Un hallazgo importante que se revela gracias a este shock es que el gobierno en materia de política fiscal se comporta de manera neutral ante shocks macroeconómicos externos como el simulado. En este sentido, si bien en el primer mes después del incremento en el precio del petróleo se observa un aumento tanto en el gasto corriente como en el gasto de capital, a partir del mes dos la respuesta de la política fiscal es estadísticamente no significativa y aproximadamente igual a cero.

Debido a que Nicaragua es una economía caracterizada por un esquema cambiario de mini-devaluaciones, la política fiscal es la herramienta principal para suavizar los ciclos económicos del país. No obstante, este resultado sugiere que si bien el gasto fiscal no amplifica los ciclos económicos, tampoco contribuye a suavizarlos. En este sentido, en tiempos de *boom* económico la posición de la política fiscal debiese ser contractiva, mientras que en tiempos de *bust* económico su posición debiese ser contractiva.

Si bien en el corto plazo los efectos de la política fiscal pueden ser revertidos debido al comportamiento ricardiano de los agentes, en el largo plazo puede tener un rol de estabilización de los ciclos económicos. En este contexto, la mayor contribución de la política fiscal podría enfocarse hacia la suavización de los ciclos económicos del país, de modo que la senda de crecimiento de Nicaragua sea más estable. Así, a pesar que bajo este enfoque los períodos de auge económico son menos amplios, también se reduce la amplitud de los períodos en los cuales la economía se debilita, minimizando de esta manera tanto las probabilidades de crisis económicas como sus costos.

Adicionalmente, el choque de precios de petróleo genera un endurecimiento de las condiciones en las que se desarrolla el proceso de intermediación financiera, explicando así la caída tanto en los depósitos como en el crédito luego de veinticuatro meses. Por su parte, se observan presiones sobre las reservas internacionales, que propician una desacumulación a lo largo de los primeros veinte meses después de haberse observado el shock.

Esta desacumulación de reservas se puede explicar gracias al deterioro de los términos de intercambio, consistente con la apreciación del tipo de cambio real. En este sentido, el modelo sugiere que el choque de precios de petróleo activa el canal del *expenditure-switching*, es decir, la sustitución temporal de exportaciones por importaciones. Esto, además de propiciar pérdidas en la posición de activos externos netos, genera un deterioro en la cuenta corriente del país.

V. Comentarios finales

En este documento presento un modelo de vectores autorregresivos estimado bajo un enfoque bayesiano. La ventaja de utilizar este enfoque es que permite obtener una gran flexibilidad para el análisis de mecanismos de transmisión y proyecciones punto más precisas de diversas variables macroeconómicas. Esto se logra a través de la contracción bayesiana: mediante la imposición de creencias sobre el comportamiento de las variables, previo a la observación de los datos, se rehúye del problema de dimensionalidad inherente a los modelos VAR. En este sentido, opté por utilizar el prior de Litterman (1996), conocido también como el prior de Minnesota y el cual es ampliamente utilizado en la literatura. En seguida, mediante la combinación a través del teorema de Bayes de la función de verosimilitud de los datos y la distribución prior, obtuve la distribución posterior de las variables, y con ello estimaciones de los parámetros que caracterizan a todo el sistema de ecuaciones del modelo BVAR.

Así, por una parte, evalué la habilidad predictiva del modelo BVAR para pronosticar el IMAE y el IPC. Los pronósticos fueron evaluados pseudo-fuera de muestra, utilizando un esquema de proyecciones de ventanas móviles (*rolling forecasts*). Los resultados favorecen ampliamente el uso del modelo BVAR, pues la varianza del error de predicción, bajo las tres especificaciones consideradas, es menor que aquella registrada por los modelos *benchmark*. Éstos también sugieren que la proliferación de parámetros es un tema importante aún en modelos de pequeña escala (como lo es en el caso del modelo 1). En este contexto, el utilizar métodos bayesianos, en particular el modelo BVAR, es una alternativa viable para realizar pronósticos de las principales variables que caracterizan a la economía nicaragüense.

Por otro lado, gracias a la gran flexibilidad del modelo BVAR se puede realizar un análisis amplio de los mecanismos de transmisión presentes en la economía nicaragüense, sin incurrir en el problema de dimensionalidad. Así, mediante el análisis de las funciones impulso respuesta generadas estudié los mecanismos de transmisión asociados a perturbaciones internas y externas transitorias, a saber: un impulso fiscal y un incremento del precio del petróleo, respectivamente. Estas permiten realizar algunas recomendaciones relacionadas a la finalidad de la política fiscal, principalmente relacionadas a rol que ésta tiene en el corto y el largo plazo.

El análisis del primer shock sugiere que los agentes se comportan como individuos *forward-looking*, es decir, que toman sus decisiones en base a la evolución esperada de la economía. Por lo tanto, si bien los impulsos fiscales incentivan la actividad económica en los primeros meses, dado el carácter ricardiano de los agentes, éstos internalizan en sus decisiones de consumo y ahorro la restricción presupuestaria intertemporal del gobierno. Así, impulsos fiscales se materializan únicamente a través de presiones inflacionarias en diversos ítems del IPC.

No obstante lo anterior, al analizar el shock de precios de petróleo se puede argumentar que, debido a la política monetaria y cambiaria vigente en el país, la política fiscal puede jugar un rol determinante en el crecimiento de largo plazo del país. Así, si bien los impulsos fiscales en el corto plazo no contribuyen a incentivar la actividad económica, en el largo plazo podrían fungir como estabilizadores del ciclo económico de Nicaragua, lo cual permitiría al país estar en una senda de crecimiento económico más estable.

VI. Bibliografía

- Acevedo, I. (2011). Impacto de las Reformas Tributarias en Nicaragua. *Banco Central de Nicaragua, Documento de Trabajo N° 20*.
- Banbura, Giannone, & Reichlin. (2008). Large Bayesian VARs. *ECB Working Paper Series, N° 966*.
- Bernanke, B. (2005). Measuring monetary policy: a factor augmented autoregressive (FAVAR) approach. *Quarterly Journal of Economics, 387-422*.
- Bloor, C., & Matheson, T. (2008). Analysing shock transmission in a data-rich environment: A large BVAR for New Zealand. *Federal Reserve Bank of New Zealand, Discussion Paper Series*.
- Carnot, N., Koen, V., & Tissot, B. (2011). *Economic Forecasting and Policy*. Palgrave Macmillan.
- Christiano, L. (1999). Monetary policy shocks: what have we learned and to what end? En *Handbook of Macroeconomics* (págs. 65-148). vol. 1, ch 2, Taylor JB, Woodford M (eds): Elsevier: Amsterdam.
- Ciccarelli, M., & Rebucci, A. (2003). BVARs: A survey of the recent literature with an application to the European Monetary System. *Rivista di Politica Economica, 47-112*.
- De Mol, C., & Giannone, D. (2008). Forecasting using a large number of predictors: Is Bayesian shrinkage a valid alternative to principal components? *Journal of Econometrics, 318-328*.
- Del Negro, M., & Schorfheide, F. (2011). Bayesian Macroeconometrics. En *The Oxford Handbook of Bayesian Econometrics* (págs. 293-389). Oxford University Press.
- Flores, A. (2013). Perturbaciones Internas y Externas en Pequeñas Economías Abiertas: un Análisis de Equilibrio General para el Caso de Nicaragua (1994-2011). *Banco Central de Guatemala, Documento de Trabajo N° 127*.
- Gámez, O. (2005). Identificación y Medición de las Contribuciones Relativas de los Shocks Estructurales en la Economía Nicaragüense. *Banco Central de Nicaragua, Documento de Trabajo N° 7*.
- Giannone, D., Lenza, M., & Primiceri, G. (2012). Prior Selection for Vector Autoregressions. *ECB Working Paper Series N° 1494*.
- González, W. (2012). Un gran VAR bayesiano para la economía chilena. *Banco Central de Chile, Documentos de Trabajo N°653*.
- Kadiyala, K., & Karlsson, S. (1997). Numerical methods for estimation and inference in Bayesian VAR's. *Journal of Applied Econometrics, 99-132*.
- Koop, G., & Korobilis, D. (2010). Bayesian Multivariate Time Series Methods for Empirical Macroeconomics. *Foundations and Trends in Econometrics, 267-358*.
- Litterman, R. (1986). Forecasting with Bayesian Vector Autoregressions: Five Years of Experience. *Journal of Business and Economic Statistics, pp 25-38*.
- López, H., Treminio, J., & Sarria, F. (2013). Choques externos y ciclos económicos en Nicaragua. *Banco Central de Nicaragua, Documento de Trabajo N° 32*.

- Robertson , J., & Tallman , E. (1999). Vector Autoregressions: forecasting and reality. *Economic Review Q1*, 4-18.
- Rudebusch, G. (2005). Assessing the Lucas Critique in Monetary Policy Models. *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 73, pp 245-72.
- Sims, C. (1980). Macroeconomics and Reality. *Econometrica*, N° 1, pp 1-48.
- Stock, J., & Watson, M. (s.f.). An empirical comparison of methods for forecasting using many predictors. *Manuscript, Princeton University*.
- Watson, M., & Stock, J. (2001). Vector Autoregressions. *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 15, pp. 101-115.

VII. Anexos

Tabla A1: Variables seleccionadas

No.	Categoría	Descripción	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
1		IPC	x	x	x
2	Precios	Índice de precios de alimentos			x
3		Índice de precios de transporte			x
4	Actividad económica	IMAE Comercio			x
5		IMAE Transporte			x
6		IMAE	x	x	x
7	Mercado Laboral	Trabajo Comercio			x
8		Trabajo	x	x	x
9		Salario Comercio			x
10		Salario		x	x
11	Monetario y Financiero	Reservas Internacionales Netas		x	x
12		Crédito total			x
13		Depósitos totales			x
14		Numerario			x
15		Índice de Condiciones Financieras			x
16	Sector Externo	Precio del petróleo		x	x
17		Fed's Funds Rate		x	x
18		Precio del café		x	x
19		Tipo de cambio real	x	x	x
20		Exportaciones		x	x
21		Importaciones			x
22	Gobierno	Ingresos			x
23		Gasto Corriente	x	x	x
24		Gasto de Capital			x
25		IVA			x

Nota: La "x" indica que la variable fue incluida en el modelo.

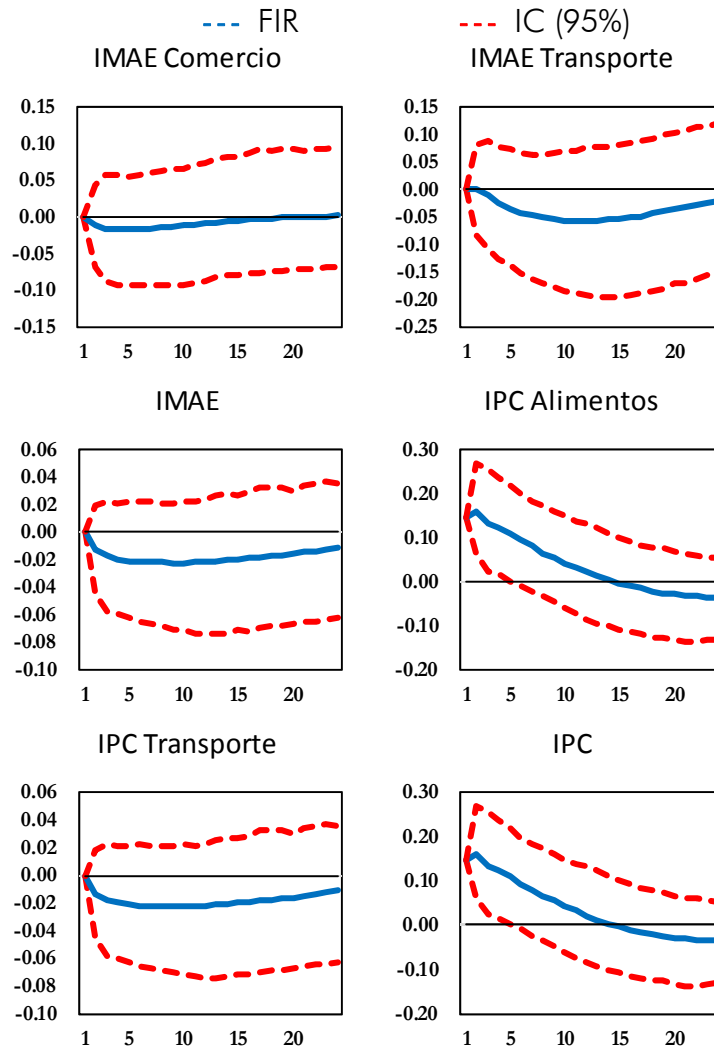
Fuente: Elaboración propia.

Tabla A2: Raíz del Error Cuadrático Medio

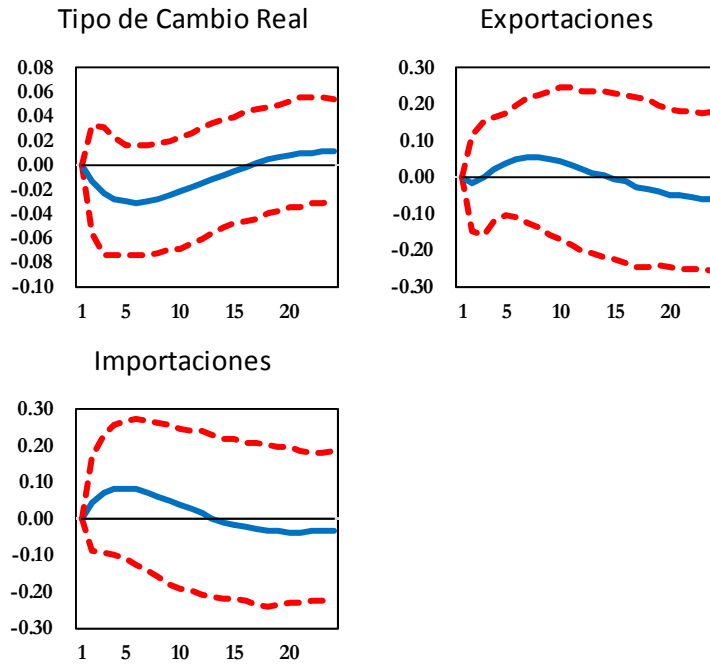
Variable	Modelo	Modelo 1				Modelo 2				Modelo 3			
		<i>b=1</i>	<i>b=3</i>	<i>b=6</i>	<i>b=12</i>	<i>b=1</i>	<i>b=3</i>	<i>b=6</i>	<i>b=12</i>	<i>b=1</i>	<i>b=3</i>	<i>b=6</i>	<i>b=12</i>
IMAE	BVAR	0.08	0.19	0.23	0.28	0.10	0.21	0.23	0.25	0.10	0.20	0.23	0.24
	VAR	0.23	0.29	0.35	0.42	0.21	0.26	0.30	0.42	0.21	0.25	0.28	0.37
	RW	0.14	0.17	0.26	0.40	-	-	-	-	-	-	-	-
IPC	BVAR	0.03	0.04	0.06	0.11	0.02	0.03	0.04	0.09	0.02	0.04	0.06	0.10
	VAR	0.15	0.15	0.17	0.18	0.11	0.16	0.22	0.29	0.04	0.06	0.09	0.13
	RW	0.03	0.06	0.12	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

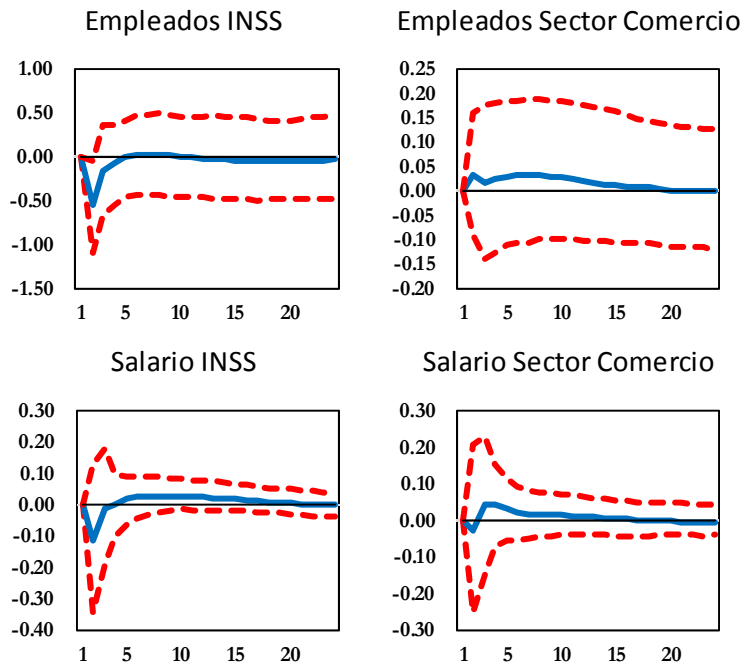
Figura A1: Choque de gasto corriente del gobierno
 a) Respuesta de variables de precios y de actividad económica



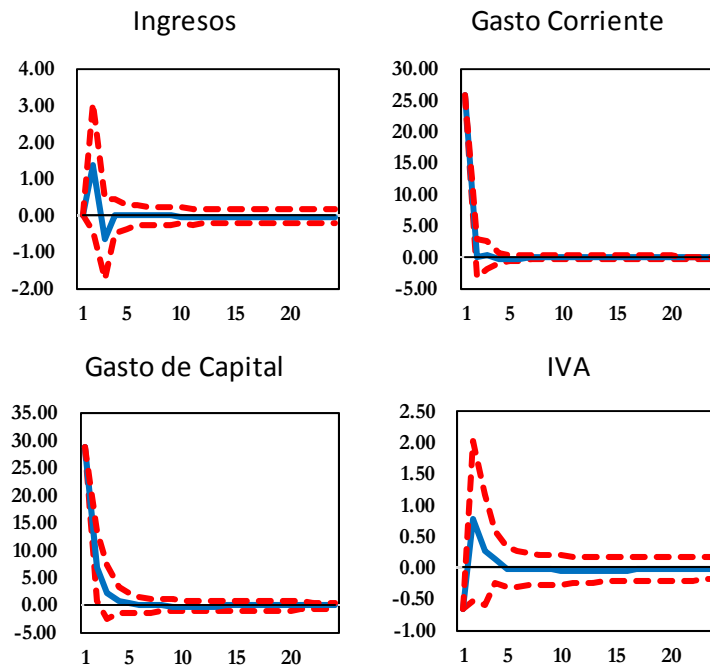
b) Respuesta de variables del sector externo



c) Respuesta de variables del mercado laboral



d) Respuesta de variables de gobierno



e) Respuesta de variables del sector monetario y financiero

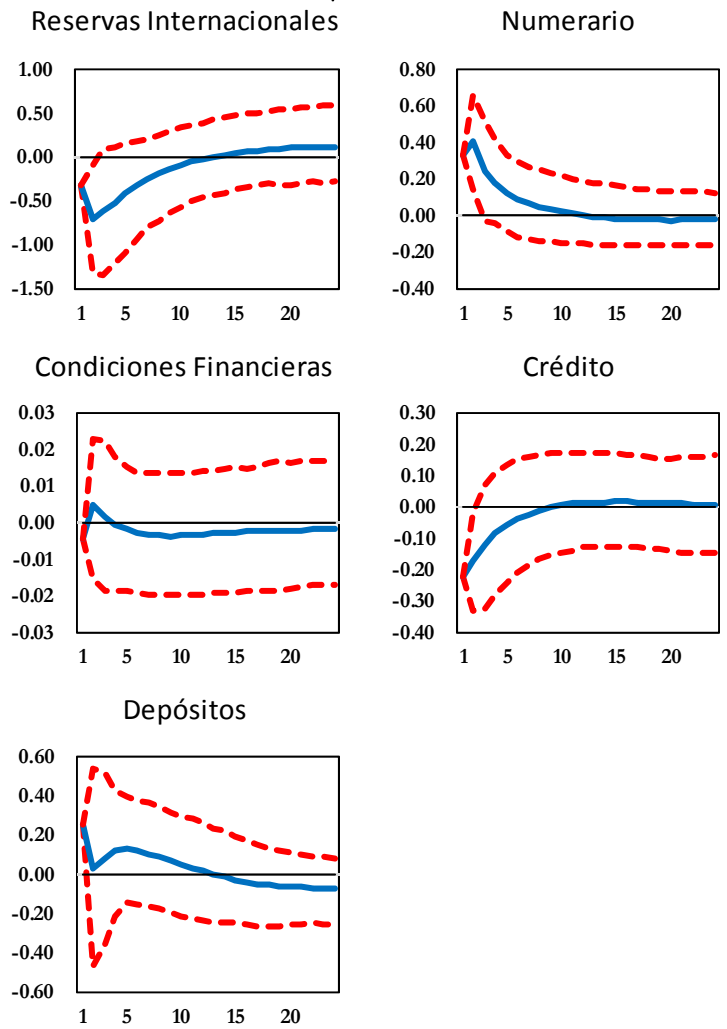
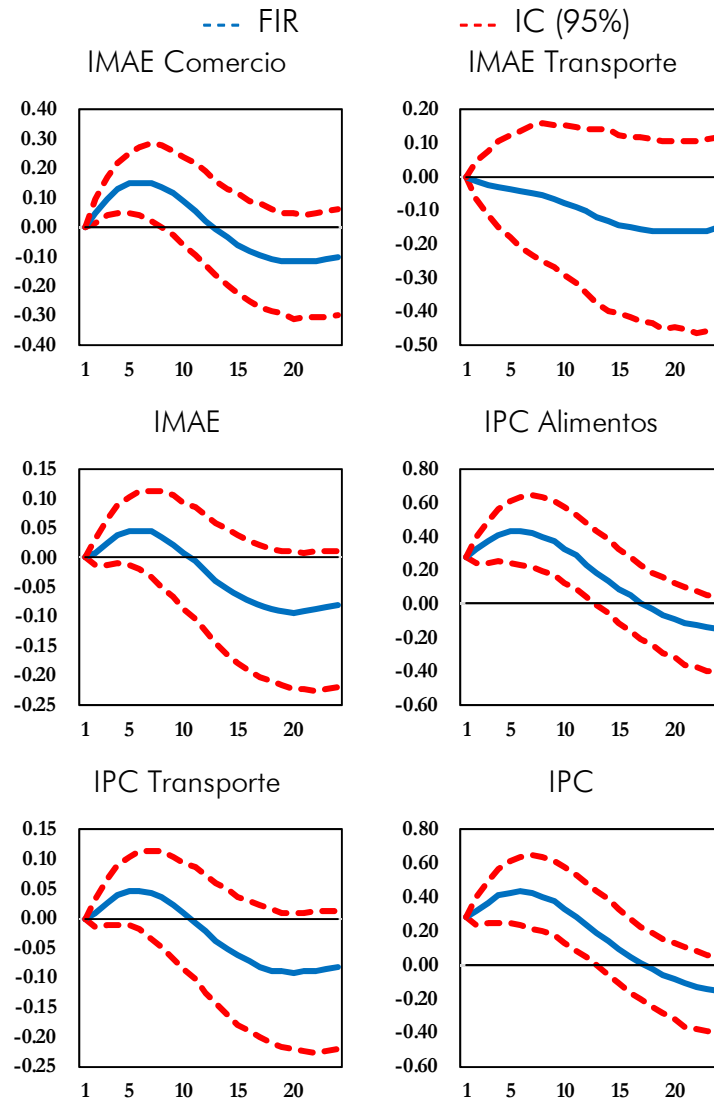
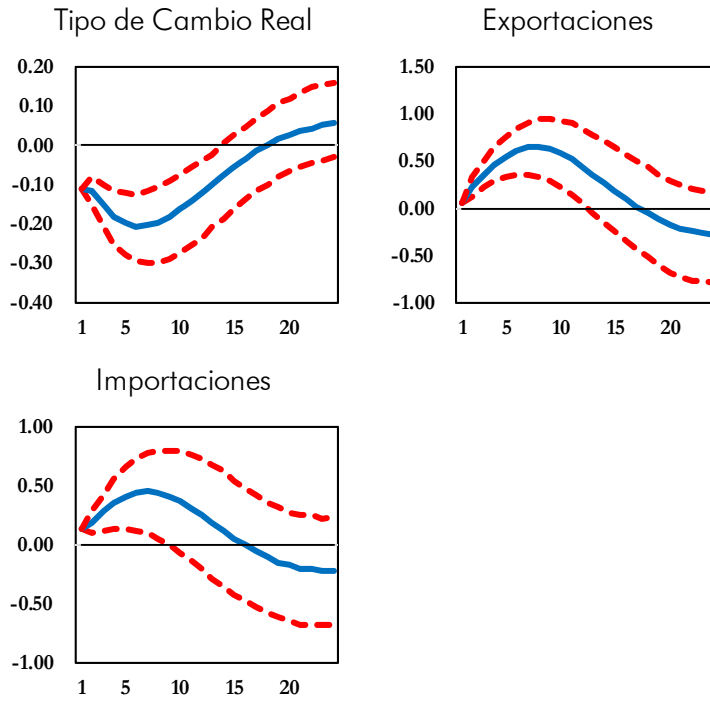


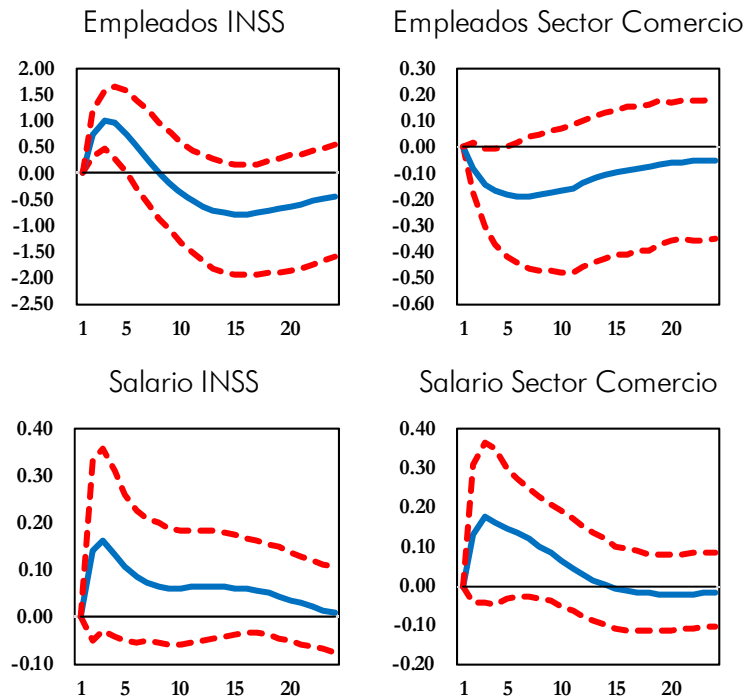
Figura A2: Choque de precio del petróleo
 a) Respuesta de variables de precios y de actividad económica



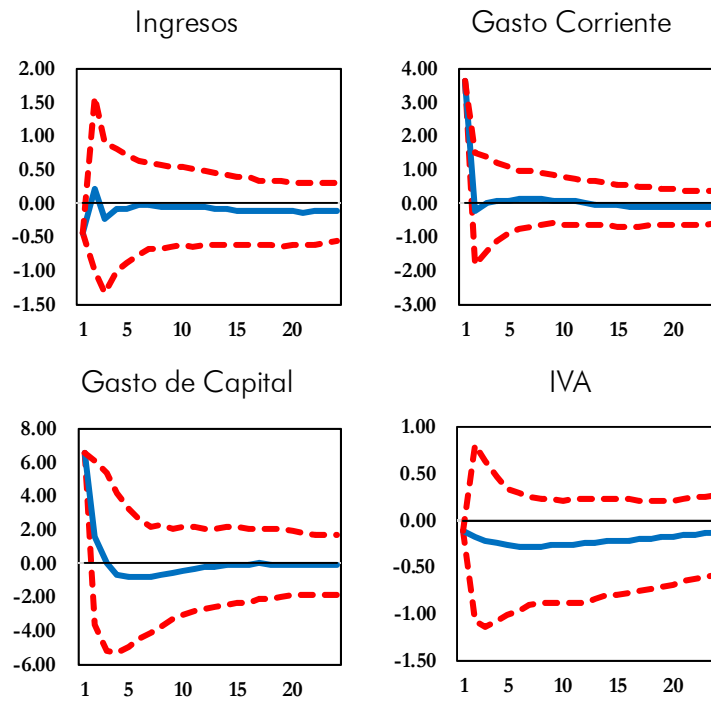
b) Respuesta de variables del sector externo



c) Respuesta de variables del mercado laboral



d) Respuesta de variables de gobierno



e) Respuesta de variables del sector monetario y financiero

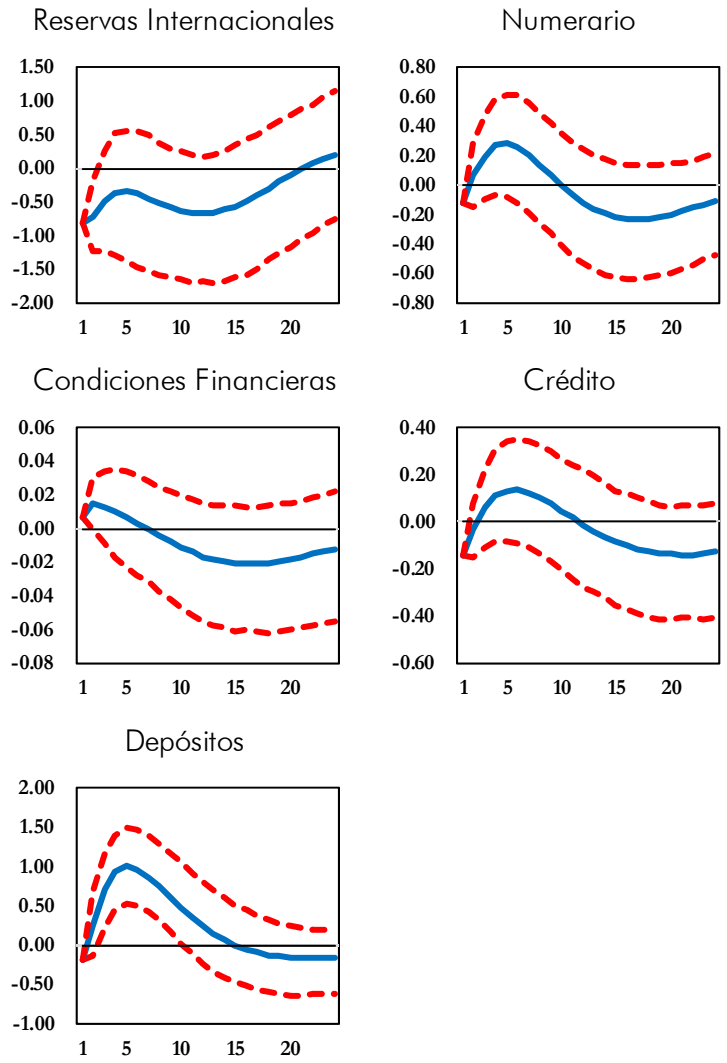
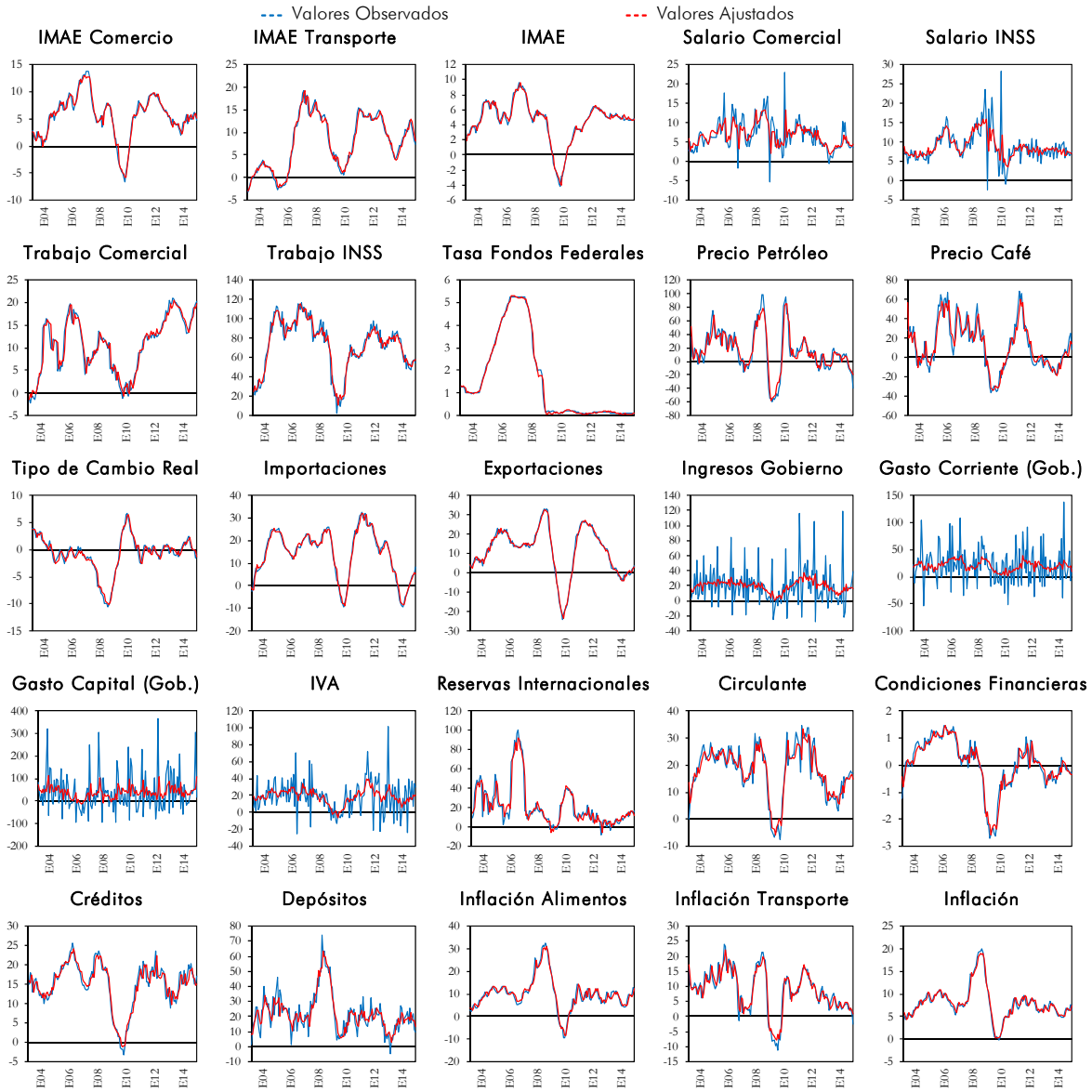


Figura A3: Ajuste dentro de muestra para las variables que componen el modelo 3



Fuente: Elaboración propia.