



# *Mecanismos de Transmisión y Reglas de Política Monetaria: La posición de la política monetaria como variable de estado*

Por: *Carlos Barrera Chaupis*\*

## Introducción

Tras los episodios de elevada inflación en diferentes países, la estabilidad de precios llegó a ser mandato legal en las legislaciones de los bancos centrales. El mandato de estabilidad de precios es, por definición, explícito respecto a obtener menores valores de inflación en el futuro, lo que implicaría que el banco central está obligado a reaccionar no sólo ante mayores niveles de inflación presente sino también ante mayores niveles futuros de inflación es decir, ante toda información contenida en otras variables relacionadas que anticipe una mayor inflación en el futuro. Sin embargo, este mandato legal no hace automática la adopción de un esquema de política monetaria con *objetivos explícitos de inflación*<sup>1</sup>, para lo que se requiere reforzar su cumplimiento al especificar: (1) los valores objetivo de inflación futura por sobre los cuales debería reaccionar y (2) el esquema de incentivos que asegure la reacción adecuada en el presente ante mayores niveles de inflación en el futuro<sup>2</sup>.

El objetivo del presente trabajo es presentar los requerimientos prácticos para seguir un enfoque de política monetaria similar al de *objetivos explícitos de inflación*, en una situación donde, a pesar de no disponer de dicha **tecnología contractual** que favorezca la rendición de cuentas, el banco central tiene, *de facto* y no sólo *de jure*, la independencia operativa y los incentivos internos como para fijar e incluso anunciar estos valores objetivo ante el público y tomar las acciones necesarias para lograrlos bajo el esquema de política monetaria con *objetivos implícitos de inflación* que, por sus características, también denominaremos **discreción disciplinada**. Este último caso, más realista para economías en transición al desarrollo, se aplica a todo banco central cuya política monetaria busque influenciar los niveles de inflación hacia niveles objetivo predeterminados, situación luego de la cual puede pasar a (1) anunciar dichos objetivos y, posteriormente, cuando se desarrollen los mecanismos contractuales (2) definir el esquema de incentivos que aseguren **la reacción adecuada ante niveles de inflación mayores a dichos objetivos**.

En este contexto, una de las preguntas más importantes en términos de la política monetaria es cómo compatibilizar el mandato de mantener niveles de inflación cada vez menores en el largo plazo (estabilidad de precios) con el objetivo de corto plazo de maximizar el bienestar social atenuando parte de las fluctuaciones generadas por los choques a los que la economía está expuesta. En teoría, bajo el supuesto de expectativas racionales, existe un problema de inconsistencia temporal que elimina la posibilidad de que una política discrecional pueda cumplir ambos objetivos, debido no sólo a que la discreción no resulta creíble sino también a que no se puede construir reputación fácilmente. La naturaleza dinámica del problema se explica en términos de los incentivos para quien decide las acciones de política frente a la reacción automática e irreversible de este tipo de expectativas de los

\* El autor trabaja en la Subgerencia del Sector Monetario del Banco Central de Reserva del Perú. Las opiniones vertidas en este artículo no representan necesariamente la opinión del BCRP.

<sup>1</sup> En América Latina, Chile, Colombia, México, Perú y recientemente Brasil, han anunciado sus objetivos de inflación, aunque con diverso grado de avance en términos de los arreglos institucionales necesarios para un esquema de objetivos de inflación explícitos. Nueva Zelanda, Canadá y el Reino Unido adoptaron en forma innovadora el esquema de objetivo de inflación explícito (Freeman y Willis –1995-; Leiderman y Svensson –1995-) y continúan modificando los términos del contrato.

<sup>2</sup> En los casos ejemplares de política monetaria con objetivo explícito de inflación, como Nueva Zelanda y Reino Unido, existe una relación contractual entre el gobierno y la administración del Banco Central que define los objetivos de inflación para un horizonte anual así como los incentivos para lograrlos y la rendición de cuentas ante el público. Este tipo de relación contractual no ha sido adoptado por la mayoría de países con objetivos de inflación.



agentes sobre dichas acciones (ver Ireland -1999- y Kydland y Prescott -1977). En la práctica, si levantamos el supuesto de expectativas racionales, que depende del modelo utilizado, y consideramos la incertidumbre sobre la naturaleza transitoria o permanente de los choques que enfrentan todos los agentes ¿cómo se podría cumplir ambos objetivos de manera consistente en el tiempo? Una política monetaria con **discreción disciplinada** que busque ambos objetivos, tiene al menos tres requerimientos.

En primer lugar, las acciones de política monetaria deben mantener una armonía permanente con ambos objetivos sobre la base de la dinámica conjunta de ajuste de las variables objetivo (inflación, devaluación y crecimiento del producto) ante choques en un número de variables relevantes para caracterizar el estado de la economía, determinante fundamental de la dinámica de las variables objetivo<sup>3</sup>. En otros términos, el banco central debería reaccionar no sólo ante cambios inesperados en las variables objetivo sino también ante toda información anticipada de otras variables relacionadas con dichas variables. Ello hace necesario aproximar adecuadamente el mecanismo de transmisión de los diversos choques, es decir, las relaciones dinámicas con las principales variables informativas y de política de una manera conjunta (de ahí la importancia de la literatura sobre mecanismos de transmisión).

En segundo lugar, exige una mayor capacidad para procesar gran cantidad de información anticipada contenida en las variables económicas individuales disponibles para el banco central e incluso para la autoridad fiscal. En otros términos, se debe resumir la información anticipada de cada variable individual en forma de indicadores **condensados** de la posición de la política económica (estado de la economía). Este esfuerzo evita la aparente necesidad de cambios bruscos e inesperados en las políticas y justifica el conservadurismo y/o gradualismo que se observa en la práctica de la política monetaria luego de la lección de la crisis internacional de inicios de los años 80, ya que (i) los indicadores condensados del estado de la economía se afectan en un grado menor que variables individuales frente a cambios en éstas; y (ii) las decisiones de política pueden ser *oportunas* en el sentido de aprovechar el rezago entre la acción de política y sus efectos.

El último requerimiento para una política monetaria con **discreción disciplinada** se refiere a las acciones a favor de la transparencia de las acciones de política. La mayor disponibilidad de información económica no asegura las posibilidades de formación de expectativas racionales, por lo que el banco central puede mejorar la comprensión de sus acciones futuras por parte de los demás agentes, como efectivamente lo hace un grupo cada vez mayor de bancos centrales, mediante la publicación de informes periódicos que funcionan como **anuncios inteligibles** sobre los determinantes de las acciones de política futuras, facilitando un consenso en la formación de expectativas en armonía con los objetivos de política y eliminando las potenciales inestabilidades detrás de los equilibrios múltiples bajo expectativas racionales. Con estos ingredientes, una política monetaria con discreción disciplinada mantendría las relaciones dinámicas relativamente estables (si no pueden ser constantes) y relativamente invariantes respecto a los parámetros de la función de reacción, independientemente de la complejidad de esta función<sup>4</sup>.

Los dos primeros requerimientos pueden solucionarse separadamente mediante el desarrollo de modelos dinámicos, tanto estructurales como no estructurales, cuyas proyecciones permitan estimar los movimientos anticipados y no anticipados (choques) en las variables objetivo<sup>5</sup>. Por ende, estos dos requerimientos mencionados para una política monetaria con **discreción disciplinada** se resumen en disponer de un sistema de evaluación de política<sup>6</sup> que incluya la facilidad de interpretación teórica de los modelos estructurales así como la versatilidad de los modelos no

<sup>3</sup> En este contexto, el banco central tiene un **compromiso limitado** para tomar acciones de política *contingentes al estado de la economía un periodo adelante en el futuro* (ver Chari *et al.* -1996-), es decir, sigue “reglas” que son dependientes del *estado* de la economía. Debemos notar aquí que este **compromiso limitado** para seguir dicho comportamiento da lugar a una definición más sofisticada de reglas y discreción, la que elimina la sutil frontera previamente establecida entre ambos conceptos.

<sup>4</sup> El uso de **anuncios inteligibles** por un número cada vez mayor de bancos centrales requiere ampliar el concepto de independencia institucional presente en la literatura para incluir la transparencia de las acciones de política monetaria obtenida mediante una participación periódica en la opinión pública. Puede argumentarse que los bancos centrales que difunden informes sobre la evolución futura de la inflación y la producción (y no sólo interpretaciones de la evolución reciente) tienen un grado de independencia *de facto* mayor al salvaguardar su objetivo final de la influencia política o gubernamental ante el público.

<sup>5</sup> Debemos hacer notar que la literatura reciente ha empezado a enfatizar la capacidad de predicción de los diversos modelos, lo que mejorará los estimados tanto de los choques que causan la mayoría de las fluctuaciones económicas como del impacto de los mismos sobre la evolución futura de las variables objetivo. Para una revisión, ver Barrera (1997).

<sup>6</sup> Un sistema de evaluación de política consiste en un modelo de la economía que explica las interrelaciones entre un grupo de variables de política (monetaria y fiscal) y otro grupo de variables en el que se incluyen los objetivos de política (inflación y producto), permitiendo evaluar la importancia de los choques y los efectos de la política monetaria respecto a los choques en otras variables importantes (RBNZ *Economics Department* -1997-).



estructurales (indicadores anticipados) construidos considerando su capacidad para proyectar las variables objetivo, especialmente, la inflación.

Dado que los resultados obtenidos a partir de modelos VAR semi-estructurales no han sido satisfactorios y están limitados por la presencia de cambios estructurales (debido a reformas estructurales y/o cambios de régimen) y por una modelación simplificada de las funciones de reacción (modelados como el componente anticipado de los instrumentos de política, ver Rudebusch -1998-) así como por la falta de parsimonia, el presente trabajo propone el uso de **modelos parsimoniosos en el espacio de estados**, que son interpretables en forma estructural e inmunes a la crítica de Lucas (ver Aoki & Havenner -1991-). En estos modelos, las variables de estado son los estadísticos mínimos y suficientes para describir la dinámica del sistema, por lo que estas variables, como un todo, caracterizan la posición de la política monetaria y pueden ser individualmente interpretables como la inflación subyacente, las expectativas inflacionarias, entre otras, y susceptibles a evaluación estadística. Adicionalmente, la capacidad de predicción de estas representaciones parsimoniosas de espacio estado es mucho mayor para el mismo grupo de variables y por ende, constituyen una alternativa de utilidad para obtener un sistema de proyección y evaluación de la política monetaria<sup>7</sup> y para elaborar los informes sobre la evolución futura de la economía que, como mencionamos, funcionan como **anuncios inteligibles**, por lo que este uso de los *minimal state space models* (MSSM) coadyuvaría a lograr el tercer requerimiento mencionado.

En la primera parte se discute el reciente debate sobre las funciones y objetivos de la autoridad monetaria así como los requerimientos para lograrlos, a la luz de la taxonomía de los esquemas de política monetaria usados en la práctica. En la segunda parte, las conclusiones obtenidas a partir del uso generalizado de modelos VAR para medir el componente exógeno de la política monetaria sirven de motivación para el uso de modelos MSSM, cuyos resultados tentativos para el caso peruano también son presentados. En la tercera parte se discute la utilidad de las **reglas simples** y se utiliza el modelo estimado en el espacio de estados para calcular la secuencia óptima de la tasa de interés de CDBCRP compatible con la estabilidad de precios mediante técnicas de control óptimo, secuencia interpretable como una regla compleja. Las conclusiones y perspectivas van en la última parte.

## I. *Implicit inflation targeting*, discreción disciplinada o enfoque sistemático ¿el eslabón perdido para lograr estabilidad de precios en el largo plazo y menor recesión en el corto plazo ?

Recientemente, Brasil ha anunciado una evolución futura de la inflación como objetivo principal de política monetaria, añadiéndose al grupo de países que ha decidido mejorar la credibilidad de su política monetaria respecto al logro de su objetivo de estabilidad de precios, siendo el quinto país de la región (además de Chile, Colombia, México y Perú) en anunciarla. ¿Cuál es el significado efectivo de este anuncio o señal? Dado que el ingrediente más importante para aplicar un esquema de política monetaria con *objetivos de inflación explícitos* es una relación contractual entre la administración del gobierno y la del banco central que defina los incentivos y cláusulas de excepción para el comportamiento de ambas partes, y que la **tecnología de compromisos contractuales** no está desarrollada aún en algunos de los países de la región, la mayoría de estos anuncios debe interpretarse como señales iniciales de un potencial cambio de régimen para adoptar un esquema de política monetaria con *discreción disciplinada* para lograr los objetivos de inflación implícitos<sup>8</sup>.

Esta **primera parte** del trabajo describe estilizadamente esta gama de tonalidades conceptuales del esquema mencionado (objetivos explícitos, implícitos, etc.), así como los requerimientos mínimos para la aplicación exitosa de la versión *light* del esquema de objetivos de inflación, que resulta ser el **eslabón perdido** entre las literaturas sobre la teoría y la práctica de la política monetaria (Blinder -1997-).

<sup>7</sup> Bajo el esquema de objetivo de inflación implícito, la reciente literatura utiliza modelos dinámicos estructurales (cuya solución puede representarse en el espacio de estados) y cuyos parámetros toman valores "razonables" para realizar simulaciones (ver Rudebusch y Svensson -1998-). Esta literatura aún no realiza ningún esfuerzo empírico de estimación de dichos parámetros, por lo que la capacidad efectiva de predicción de dicha estructura no es evaluada.

<sup>8</sup> Brasil es la excepción, pues existe un compromiso contractual entre el gobierno, el banco central y el FMI bajo un nuevo tipo de programa con el FMI con metas de inflación que considera (1) el mantenimiento del criterio de RIN para reforzar la flexibilidad del sistema cambiario; (2) un esquema de evaluaciones periódicas de las variables determinantes de la inflación futura y de la posición de política monetaria; (3) el compromiso de emitir reportes mensuales sobre dichas variables y demás señales sobre las políticas llevadas a cabo para cumplir el objetivo de inflación; y (4) un acuerdo previo, a ser revisado trimestralmente, sobre las reacciones de política ante eventos potenciales y ante diversos desarrollos de las variables indicadoras. Ver FMI (1999A, 1999B).



## I.1. ¿Objetivos de inflación en el largo plazo?

La mayoría de países que adoptaron el *inflation targeting* mediante el anuncio de los objetivos de inflación para uno o dos años en adelante lo hizo para reafirmar el objetivo final del banco central y reducir así el costo de la percepción de un exceso de discrecionalidad por parte de los agentes económicos ante la ausencia de objetivos intermedios (monetarios y/o cambiarios) o de reglas simples para fijar instrumentos monetarios. La renuencia de los bancos centrales para adoptar estas alternativas de política monetaria se generalizó frente al éxito modesto de anunciar metas para el crecimiento de agregados monetarios amplios o del tipo de cambio. En algunos países donde las utilizaron, no se logró cumplir con estos objetivos intermedios anunciados (por supuesto, tampoco los objetivos finales), lo que fue explicado en parte porque las reglas implícitas eran excesivamente simples para ser aplicadas en todos los contextos, lo que llevó al abandono de dichos regímenes que no significaron ganancia de credibilidad alguna.

Cabe preguntarse el porqué del fracaso de estas alternativas, a pesar de que los agentes podrían haberlas percibido con un menor componente de discrecionalidad luego de una historia de sorpresas respecto a la inflación. En primer lugar, se hizo un esfuerzo reducido en guiar las expectativas con información periódica respecto a los fundamentos del régimen monetario, de modo tal que el cambio de régimen fuera totalmente creíble. En segundo lugar, se hizo poco esfuerzo por considerar los determinantes dinámicos de la evolución de la inflación en el mediano y largo plazo, sin lograr cuantificar el mecanismo de transmisión de la política monetaria ni la posición de la política monetaria en el tiempo (el estado presente de la economía); de hecho, la literatura reciente enfatiza la incertidumbre existente respecto a ambos elementos (ver Taylor -1999-). Inevitablemente, ello conduciría al abandono de los esfuerzos para lograr los objetivos intermedios o para establecer reglas simples de comportamiento para los instrumentos del Banco Central, ya que éstos dejaban de ser aplicables al variar el estado de la política monetaria.

En este sentido, el nuevo consenso sobre la importancia de mantener objetivos de inflación decrecientes en el tiempo se refleja tanto en la reciente adopción del esquema de política monetaria con objetivos *explícitos* de inflación así como del esquema de *discreción disciplinada* seguido por países como Japón, Alemania y Estados Unidos de América desde inicios de los 80 (Clarida, Galí y Gertler -1997-), que nosotros identificamos como un esquema de objetivos implícitos de inflación<sup>9</sup>. Ambos esquemas requieren una mayor capacidad de predicción de la futura evolución de la inflación condicionada a la evolución de los instrumentos de política y a un conjunto de variables informativas. En otros términos, la secuencia de acciones de política se determina en forma *sistemática* según la representación de los mecanismos de transmisión condicionados al *estado* de la economía, tal como veremos en la discusión del método empírico de la parte II.

Bajo ambos esquemas se tiene en claro que el simple anuncio del objetivo del banco central no afecta su credibilidad cuando los agentes enfrentan la incertidumbre respecto a la consistencia de las acciones del banco central con su objetivo final ante los diversos choques y que la credibilidad se construye con el tiempo a medida de que la función objetivo del banco central se revela ante los agentes a través de su comportamiento disciplinado ante los choques (ver Ireland -1999-)<sup>10</sup>.

## I.2. ¿Menor recesión y menor variabilidad del tipo de cambio en el corto plazo?

En la práctica, es evidente de que existen relaciones de corto plazo entre inflación, crecimiento y, en una economía abierta, el tipo de cambio y la cuenta corriente de la balanza de pagos, que han justificado diferentes aproximaciones teóricas de los mecanismos de transmisión para permitir efectos reales resultado de cambios en variables nominales (rigideces de precios y salarios) y, por ende, la existencia de objetivos en el corto plazo, como la evolución suavemente creciente de los niveles de producto agregado, de la demanda y oferta de crédito, del tipo de cambio, etc.<sup>11</sup> La existencia de esta diversidad de objetivos es la principal razón por la que los bancos centrales han evitado comprometerse públicamente tanto a seguir un objetivo intermedio o una regla simple para sus instrumentos como un esquema de objetivos de inflación. Sin embargo, esta justificación práctica no elimina la

<sup>9</sup> El esquema de objetivos explícitos de inflación es denominado **discreción restringida** por Bernanke y Mishkin (1997).

<sup>10</sup> Sin embargo, la diferencia entre la experiencia en países como Alemania, Estados Unidos y Suiza y la reciente adopción en países de la región consiste en que el grado de credibilidad de la discrecionalidad disciplinada en los primeros contrasta con la escasa credibilidad disponible en los segundos. Los países de la región deben fortalecer la credibilidad con arreglos institucionales que favorezcan la transparencia de las acciones de política, además de anunciar los objetivos de inflación.

<sup>11</sup> La función de prestamista de última instancia, que obliga al banco central a evitar la ruptura del sistema de pagos resultado del impacto de un choque adverso suficientemente importante como para generar una crisis bancaria generalizada, puede explicar la presencia de mecanismos no lineales (efectos asimétricos) en la transmisión de, y respuesta ante, ciertos choques con efectos en el sistema de pagos.



necesidad de reducir la incertidumbre respecto al mecanismo de transmisión y al estado presente y futuro de la economía, condiciones necesarias para un análisis positivo de la capacidad para lograr los objetivos finales de política en términos de la teoría de control óptimo y de la controlabilidad de la representación empírica del mecanismo de transmisión (como se verá en la parte II y en el anexo).

En la historia de la política económica de los últimos 70 años, la admisión pública de la existencia de tan variados objetivos (presente incluso en la legislación orgánica de muchos bancos centrales de la región) limitó sobremedida la efectividad de las políticas ya que los agentes están en capacidad de percibir un exceso de discrecionalidad en la evolución de los agregados monetarios (incluso en ausencia de expectativas racionales, ver Ireland –1999-). Bajo el lente de un análisis normativo, uno de los principios económicos prevalecientes acepta que la política fiscal y monetaria no pueden generar crecimiento en el mediano plazo porque debilitan la iniciativa del sector privado, pero es un hecho que durante la transición desde un ritmo de crecimiento acelerado hacia uno más pausado (en el extremo, a una recesión), la política monetaria de los bancos centrales está sujeta a presiones que favorecen no sólo acciones **activistas** sino también **pasivamente activistas** (como ejemplo, ¿hasta qué punto la secuencia de elevaciones de la tasa de interés por fondos federales dictadas por la Reserva Federal consideró cambios demasiado pequeños y/o espaciados en el tiempo?). De manera similar, durante la transición de un ritmo de devaluación nominal a uno de revaluación real en una economía cada vez más abierta a la competencia interna y externa, subsisten presiones de sectores específicos para favorecer devaluaciones nominales. ¿Cuáles son las condiciones que permitirían evaluar la idoneidad de las acciones de política? ¿Bajo qué condiciones puede añadirse una variable como el crecimiento de la producción o de la demanda agregada en la función de utilidad del Banco Central?

La respuesta a estas preguntas proviene de un análisis positivo. Sólo una representación empírica adecuada de los mecanismos de transmisión justificaría la presencia de otras variables, además de la inflación, en la función de utilidad del banco central y, por ende, en las funciones de reacción o reglas de política monetaria, dependiendo del valor de la información anticipada contenida en dichas variables respecto a los objetivos más importantes. Simétricamente, aquellas variables que no mantienen relaciones dinámicas estrechas con el (los) objetivo(s) final(es) por un contenido de información anticipada de poco valor, deberán excluirse del diseño de una regla de retroalimentación. Tal es el caso de variables como el crecimiento del producto, la brecha entre producto y producto potencial (*output gap*) o la tasa natural de crecimiento (desempleo), variables cuyos problemas estadísticos tanto en su versión preliminar como en su versión final se agudizan especialmente en los extremos del ciclo económico, incluso en economías desarrolladas con elevados estándares de calidad estadística para estas variables (ver Orphanides (1998), Orphanides *et al.* -1999A,1999B-) con consecuencias adversas para medidas teóricas como la tasa de desempleo natural (Staiger, Stock y Watson -1997A,1997B-). El reducido valor de la información contenida de estas estadísticas preliminares de producción existente en otros países puede inhibir su uso para modelar los mecanismos de transmisión y, por ende, las reglas de retroalimentación, con el agravante de que incluirlas en la representación de los mecanismos de transmisión atenta contra su controlabilidad (como veremos en los resultados empíricos para Perú, sección III).

### 1.3. Enfoque sistemático de política monetaria: ¿oportunismo *versus* objetivos de inflación?

Desde que Kydland y Prescott propusieron su modelo en 1977, las posibilidades de política eran dos, aquella que definía una regla simple de comportamiento para el banco central y aquella que resultaba de sorpresas a discreción por parte de la autoridad monetaria, siendo este último el equilibrio menos deseable. Bajo la versión extrema de expectativas racionales de su modelo, es imposible construir reputación minimizando el valor de las futuras acciones de política (reflejadas en la evolución de los agregados monetarios) en la formación de expectativas mediante los anuncios públicos y las acciones presentes de política, por lo que cualquier desviación corriente de dicha regla de comportamiento del banco central (simple en su modelo) será interpretada como una sorpresa (Ireland –1999-). Si relajamos el supuesto de extrema racionalidad en la formación de las expectativas, existe un límite superior de discrecionalidad (reflejado en la evolución de los agregados monetarios) más allá del cual los agentes identificarán al banco central como **negativamente discrecional**, lo que limitará la efectividad de las políticas hasta que el banco central retome la disciplina por un tiempo suficiente (ver modelo de Ireland –1999-).

En la práctica, este límite superior de discrecionalidad está directamente asociado con la credibilidad que disponga el banco central e inversamente asociado con el nivel de inflación y la incertidumbre atribuible a la presencia de choques o información inadecuada. Ante la realización de choques importantes, los agentes pueden identificarlo como **negativamente discrecional** a pesar de ser **disciplinadamente discrecional** y **sistemático** en el sentido de



que utiliza reglas condicionadas al estado de la economía<sup>12</sup> para determinar sus acciones de política, error de información que genera un equilibrio ambiguo similar al de Kydland y Prescott.

Por ende, si los agentes no tienen información perfecta sobre el estado de la economía, no basta que el banco central tenga un comportamiento sistemático y oportuno ante la nueva información y la realización de choques de magnitud variable para reducir la inflación en el largo plazo. Bajo el supuesto de que el banco central tiene un conocimiento suficiente de cómo funciona la economía, aunque sea condicionado a la reacción de los mercados frente a la nueva información y a la realización de choques, la solución del problema mencionado resulta de: (i) usar reglas simples como **anuncios inteligibles** para explicar el escenario futuro más probable a los agentes y (ii) actuar disciplinadamente para vencer el límite superior de discrecionalidad y revelar su tipo<sup>13</sup>.

En primer lugar, la política monetaria con discreción disciplinada requiere de **anuncios inteligibles** para incrementar la **coordinación** entre las acciones y los objetivos del banco central y guiar las expectativas de los agentes, en los **que estas reglas simples sirven para explicar las acciones futuras** de política al público en forma inteligible. Los informes de inflación con predicciones de inflación y crecimiento emitidos por los bancos centrales de España, Canadá, Nueva Zelanda, Gran Bretaña (con periodicidad mensual en algunos casos) y los comunicados oficiales emitidos por un mayor número de bancos centrales sobre las políticas a aplicarse ante coyunturas difíciles forman parte de un diálogo continuo sobre el futuro de las acciones de política monetaria<sup>14</sup>. Mientras estas reglas simples guían a los agentes de manera inteligible o didáctica, no necesariamente sirven para determinar sistemática y oportunamente la secuencia de acciones de política según el *estado* de la economía y la representación de los mecanismos de transmisión. Se requiere de una representación adecuada a partir de la cual se deriven las reglas condicionales al estado de la economía, que aunque no serán fácilmente inteligibles para los agentes, determinarán las acciones requeridas para revelar su tipo con un adecuado margen de error, con la ventaja adicional de que pueden servir para obtener proyecciones comparables a las incluidas en los anuncios inteligibles o reglas simples. Ambos elementos solucionan el problema mencionado al reducir el grado de sorpresa de la nueva información a disposición del banco central, obteniéndose un equilibrio intermedio entre reglas simples y discreción: el eslabón perdido entre la teoría y la práctica de política monetaria.

Como mencionamos, la percepción de este comportamiento por parte de los agentes económicos depende del grado de credibilidad con el que cuente el banco central. Bajos niveles de inflación y la disponibilidad de una elevada credibilidad *ex-ante* en el Banco Central para algunos países les concede una mayor flexibilidad para enfrentar diversos choques, así como una mayor eficacia para lograr los objetivos de estabilidad de precios en el largo plazo (Freeman & Willis -1995-), no sólo con el menor costo posible en términos de crecimiento económico, sino también con la posibilidad de **aprovechar** choques favorables de oferta y/o demanda (denominado *opportunistic approach* en Orphanides *et al.* -1997-) en la medida que éstos puedan ser identificados. Un comportamiento **oportunista** desde el punto de vista del Banco Central puede confundirse con **discreción negativa** desde la perspectiva de los agentes privados si la credibilidad disponible es reducida, pero si su credibilidad es elevada (incluso si los niveles de inflación no fueran tan bajos para los estándares internacionales), el banco central puede beneficiarse de las ventajas de un comportamiento oportunista mediante acciones **pasivamente activistas** y anuncios con información sesgada (ver nota 13).

Este problema de comunicación ha sido poco considerado en la literatura sobre el enfoque de objetivos de inflación, que ha enfatizado la existencia de un arreglo institucional (en forma de contrato entre el gobierno y el banco central) y utiliza solo dos denominaciones (explícito o implícito). A partir de esta literatura, si existen los arreglos institucionales para disponer de un contrato explícito respecto a los objetivos de inflación, el enfoque sistemático resulta no oportunista (*explicit inflation targeting*). Si, por el contrario, dicho contrato no existe, el comportamiento puede ser oportunista (*implicit inflation targeting*).

Quizá por esta razón Blinder (1997) llega a afirmar que el problema de inconsistencia temporal es meramente teórico y que, en la práctica, basta designar al banquero central la responsabilidad de actuar como si el desempleo

<sup>12</sup> En términos más simples, el banco central es sistemático si reacciona ante choques en otras variables y pondera la información que recibe para determinar su impacto probable en la inflación futura. Por ahora definiremos estas reglas como **poco inteligibles** y que resultan de la construcción de modelos dinámicos parsimoniosos como veremos más adelante.

<sup>13</sup> Nótese que un choque de magnitud puede modificar su plan de acción de política monetaria en forma asimétrica, particularmente cuando deba evitar un ajuste pronunciado en el producto en el corto plazo o atenuar un crecimiento claramente insostenible en el largo plazo, e incentivarlo a manipulación de la información disponible en el mercado financiero, a pesar de buscar revelar su tipo.

<sup>14</sup> Para ver el efecto del valor de la información provista por los anuncios en general, ver Sobel(1983) y para una aplicación a la política monetaria, ver Jones y Manuelli (1999).



óptimo fuera su nivel natural (*ibid*, pg. 14). El excesivo optimismo de esta afirmación se explica porque sólo se aplica a aquellos países donde el desarrollo de todas las instituciones en general ha logrado un elevado nivel de transparencia en la **rendición de cuentas** (*accountability*) sobre las acciones de política monetaria, lo que puede eliminar la posibilidad de un problema de credibilidad de las mismas, mas no el sesgo en las estadísticas de producción y empleo en los extremos del ciclo económico ni la necesidad de una representación adecuada de los mecanismos de transmisión.

Por ende, debemos remarcar que nuestro énfasis es sobre esta representación y sobre el anuncio inteligible de los objetivos de inflación y las acciones de política, independientemente del desarrollo de arreglos institucionales alcanzado y abstrayéndonos de la posibilidad de un comportamiento oportunista. Al coordinar las expectativas de los agentes con las acciones futuras de política monetaria en presencia de choques exógenos, este tipo de anuncios en forma de informes periódicos con predicciones de inflación y crecimiento complementan la elección sistemática de la secuencia de acciones de política según el *estado* de la economía y la representación de los mecanismos de transmisión. Ambos requerimientos dan lugar a una versión *light* del esquema de objetivos de inflación y permiten obtener la transparencia y la credibilidad necesarias para su aplicación a pesar de no contar con los arreglos institucionales, versión que resulta el eslabón perdido entre la teoría y la práctica de política monetaria (Blinder -1997-), que en pocos países desarrollados se ha denominado *discreción disciplinada*.

INTELIGIBILIDAD DE ANUNCIOS Y RESTRICCIONES AL COMPORTAMIENTO DEL BANCO CENTRAL		
Restricción al comportamiento	Con anuncio inteligible	Sin anuncio inteligible
Reglas Simples (Inteligibles)	Regla Monetaria/Cambiaria (temporalmente creíble y sin control)	Regla Monetaria/Cambiaria (poco creíble y sin control)
Reglas Condicionales (No Inteligibles)	<b>Objetivo Implícito de Inflación o Enfoque Sistemático Oportunista (creíble)</b>	Sorpresas (poco creíble)
Discreción (sin restricción)	Sorpresas (no creíble)	Sorpresas (no creíble)

Así, en el cuadro presentado, la reducida inteligibilidad de las reglas condicionales en ausencia de **anuncios inteligentes** puede llevar a acciones de política equivalentes a las sorpresas desde el punto de vista de los agentes privados y, por ende, el uso de estas reglas simples en términos de anuncios periódicos es preferible por ser inteligibles en la percepción de los agentes, independientemente de su relevancia para la dinámica de la inflación, ya que no sirven para controlarla (notar el contraste en el sombreado). Una vez que se dispone de un grado de transparencia provista por **anuncios inteligentes**, el uso de reglas condicionales deja de ser equivalente a no usarlas del todo.

Es por ello que, al margen de las dificultades institucionales, las siguientes secciones del trabajo discutirán las dificultades técnicas de la generación de proyecciones macroeconómicas así como de la construcción de reglas condicionales para el comportamiento de los instrumentos del banco central a partir de modelos especialmente diseñados para representar, en forma parsimoniosa, el mecanismo de transmisión con un número adecuado de variables así como para aproximar el estado presente y futuro de la economía. La versión *light* del esquema de objetivos de inflación, en la que los objetivos de inflación son implícitos y el comportamiento del banco central busca ser sistemático y oportuno, resulta ser una versión realista en la medida que permite una función de utilidad del banco central con ponderaciones diferentes de cero respecto a objetivos de política monetaria además de la inflación<sup>15</sup>.

## II. Modelos en el espacio de estados mínimos como representaciones del mecanismo de transmisión de choques: ¿Cuántas variables de estado son suficientes?

<sup>15</sup> Como ejemplos se tienen los modelos recientemente propuestos por Svensson con una **dinámica realista** del proceso de transmisión (que proviene de fijar valores **razonables** a los parámetros sin necesidad de estimarlos), donde puede obtenerse dos tipos de reglas condicionales para dichos instrumentos: reglas derivadas con ponderaciones nulas para toda variable que no sea la *inflación* (*explicit inflation targeting*) y reglas derivadas con ponderaciones diferentes de cero (*implicit inflation targeting*).



En su testimonio de 1994, Alan Greenspan definió el reto de la política monetaria como “la interpretación de información presente sobre la economía y los mercados financieros para anticipar presiones inflacionarias futuras y contrarrestarlas tomando acciones de antemano”. Al respecto, los diversos instrumentos operativos a disposición del banco central tienen efectos que pueden diferir en intensidad y significancia estadística en alta frecuencia (operaciones diarias) pero cuyo objetivo es brindar la flexibilidad para lograr efectivamente las metas intermedias en una frecuencia menor. Si estos **instrumentos operativos** manejados por el banco central pueden lograr metas intermedias, cabe preguntarse sobre su relevancia como **instrumentos de control de los objetivos finales**. El presente trabajo pretende revelar los **instrumentos de control** que son influenciados por el banco central y difiere el análisis de la relevancia de los “instrumentos manejados por el banco central” para un análisis posterior de la información en alta frecuencia. En esta parte se reseñan las dificultades de la metodología VAR aplicada para representar los mecanismos de transmisión de la política monetaria (con un énfasis exagerado en los **instrumentos manejados por el banco central**) y se presenta la alternativa propuesta para identificar los **instrumentos de control**, con la posibilidad de que coincidan con los **instrumentos manejados por el banco central**.

## II.1. Los modelos VAR y la representación de la política monetaria

Un sistema de proyecciones y evaluación de política incluye, como mínimo, (1) una medida de la posición de la política monetaria que, de acuerdo con sus instrumentos operativos y con las demás condiciones macroeconómicas, pueda identificar la política monetaria actual como contractiva, expansiva o neutra respecto a diferentes combinaciones de instrumentos operativos y condiciones previas, (2) una aproximación estadísticamente robusta de los efectos temporales sobre diversas variables macroeconómicas de un cambio en dicha posición (en la combinación de sus instrumentos y/o en las condiciones macroeconómicas), comúnmente denominado **choque de política monetaria** y (3) un esquema idóneo para generar proyecciones macroeconómicas que sirvan tanto para fijar los valores objetivo de inflación como para anticipar la necesidad de un cambio en la combinación de los instrumentos.

Sin estos elementos, el banco central no puede ser oportuno porque no puede **mirar hacia delante** para decidir en el presente sus acciones de política reflejadas en sus instrumentos, sin beneficiarse del rezago existente entre estas acciones y los efectos sobre variables objetivo como la inflación (mecanismos de transmisión), es decir, no puede realizar predicciones de la inflación condicionadas a una evolución futura de sus instrumentos ni considerar los efectos de las desviaciones respecto a dicha evolución. Sin capacidad de predecir la inflación ni de explicar la dinámica de los efectos de sus acciones (mecanismos de transmisión), las decisiones del banco, en el peor de los casos, pueden amplificar la respuesta ante los choques, con efectos potencialmente desestabilizadores si las reacciones son demasiado rápidas<sup>16</sup> o, en el caso más optimista en el que el banco central logra aprender de sus errores, pueden dejar de aprovechar las oportunidades de reacción resultantes del rezago de política<sup>17</sup>.

Los modelos utilizados como sistemas de proyecciones y de evaluación de política monetaria varían en términos del número de variables y de la consideración de las expectativas. La principal metodología usada en términos de pocas variables (menos de 10) es la de vectores autoregresivos (VAR), que permiten descomponer cada variable, en particular las variables de política monetaria, en dos partes, una anticipada y otra no anticipada (o choque exógeno), así como realizar simulaciones respecto a los efectos de choques de variables monetarias sobre otras variables como la inflación y el producto. A pesar de existir una gama amplia de simulaciones posibles, las funciones de respuesta al impulso son, por lo general, las únicas que son presentadas y, por lo general, dependen de restricciones de identificación, ya sea respecto a la estructura contemporánea o a las relaciones de largo plazo entre las variables.

Sin embargo, el uso de modelos VAR en la medición del componente exógeno de la política monetaria y por lo tanto, de la transmisión dinámica de sus efectos sobre variables objetivo no está libre de problemas. Por un lado, la

<sup>16</sup> En un reciente documento similar al de Clarida, Galí y Gertler(1997), Corbo(1999) estima las reglas de Taylor para un grupo de países de América Latina concluyendo, a partir de los coeficientes estimados de la respuesta de la tasa de interés al diferencial de inflación, que la política monetaria en Chile fue activa y estabilizadora (en el sentido de que la tasa de interés respondió marcadamente cuando las expectativas de inflación fueron mayores al objetivo), a diferencia del resto de países, donde, según esta definición, fue acomodaticia. Además de que la simple comparación de estimados del mismo coeficiente no puede sustentar esta conclusión, la reciente literatura ha encontrado evidencia de que una política monetaria activa, para un gran número de modelos y especificaciones, implica equilibrios múltiples, indeterminación e inestabilidad (Benhabib, Schmitt-Grohe y Uribe -1998-; Taylor -1999B-).

<sup>17</sup> La ausencia de estos requerimientos puede justificar el conservadurismo en la toma de decisiones de política, aunque el costo de no aprovechar el rezago de política puede ser elevado. Entonces, ¿qué justifica la ausencia de estos requerimientos, en particular, de representaciones adecuadas de los mecanismos de transmisión? Sólo puede justificarse por no disponer de una muestra amplia como para estimarlas, como en el caso del Perú. Como veremos, también existen dificultades metodológicas cuando se tiene una muestra suficientemente amplia, pero éstas no son justificaciones.





transmisión de sus efectos sobre variables objetivo han mostrado su sensibilidad a la exclusión o inclusión de ciertas variables, dando lugar a respuestas al impulso monetario con formas poco consistentes con cierto consenso teóricamente definido sobre ellas (llamados *liquidity puzzle* y *price puzzle*), para cuya solución se ha intentado incluir tasas de interés de largo plazo así como índices de precios de *commodities* en el VAR, con éxito parcial. Por otro lado, la medición del componente exógeno de la política monetaria mediante modelos VAR también resulta sensible a las variables incluidas y ha presentado poca consistencia con medidas alternativas disponibles, aunque esta crítica parece de menor cuantía para Walsh (1998)<sup>18</sup>. Asimismo, se ha recomendado restringir los periodos de estimación a aquellos donde se tiene conocimiento sobre el mantenimiento de un esquema determinado de mecanismos operativos. Esta sensibilidad demuestra las limitaciones inherentes de los modelos VAR en términos de un espacio mínimo de variables y parámetros a utilizar.

Así, los resultados obtenidos a partir de modelos VAR semi-estructurales, limitados por cambios estructurales (presentes en el contexto de reformas) y de cambios en las funciones de reacción (modelados de manera simple como la parte estructural de los VAR semi-estructurales) no han sido totalmente satisfactorios considerando la significancia estadística de la transmisión de los efectos del choque monetario (Christiano, Eichenbaun & Evans -1998-, Hanson -1998- y Kilian & Chang -1998-). Más aún, han dependido de la manera de modelar la estructura de los mecanismos, es decir, del tipo de restricciones de identificación (sea a la estructura contemporánea o a las relaciones de largo plazo de las variables (ver Pagan & Robertson -1995- y Christiano, Eichenbaun & Evans -1998-)).

Debemos hacer notar la ausencia de dos elementos básicos para la construcción de estos modelos VAR en la literatura sobre la medición del componente exógeno de la política monetaria y la transmisión de sus efectos sobre variables objetivo: la necesidad de evaluación estadística de la medida de política monetaria exógena y de la capacidad de predicción de estos modelos VAR. En primer lugar, las medidas de política monetaria exógena en modelos VAR semi-estructurales son combinaciones lineales de los errores de predicción de un periodo adelante que son estimados en la forma reducida del VAR (el caso de identificación exacta es un ejemplo límite), por lo que pueden ser evaluados estadísticamente con métodos de *bootstrapping* de manera similar a las funciones de respuesta al impulso correspondientes. Ello ayudaría no sólo a explicar la poca consistencia con medidas alternativas disponibles de política monetaria y la sensibilidad de la medida de política monetaria exógena ante la presencia de diferentes variables informativas, sino también a resolver los *puzzles* mencionados, sirviendo de referencia para obtener medidas más robustas en sistemas VAR más idóneos<sup>19</sup>.

El segundo elemento poco mencionado en esta literatura es el papel de la evaluación de la capacidad de predicción de estos modelos VAR. Se conoce que no necesariamente la capacidad de predicción debe servir para elegir entre diferentes modelos semiestructurales, pero las necesidades de parsimonia no han sido debidamente señaladas para mejorar las predicciones de estos modelos, en particular, debido a que el énfasis ha sido la identificación de los componentes contemporáneos y de restricciones de largo plazo con interpretación estructural (Pagan & Robertson -1995-), sin considerar sus efectos en la parsimonia ni en la capacidad de predicción, especialmente debido a la sensibilidad del principio de verosimilitud ante tamaños de muestra reducidos.

## II.2. Identificación de la dimensión del espacio de estados

Un punto de vista más pragmático y real consideraría que el banco, para evitar cometer errores de política, actúa en forma conservadora y paulatina, pero que luego, ante la evidencia de la necesidad de un cambio, actúa de manera más directa sobre sus instrumentos, todo lo cual implica una alternancia de regímenes diversos. Este esquema de política monetaria se ha denominado **sistemático** para reflejar que el banco central reacciona ante choques en otras variables y pondera la información que recibe para determinar su impacto probable en la inflación futura. Esta simple definición del esquema de política monetaria explica porqué los modelos mencionados no pueden mantener su capacidad de predicción ante cambios estructurales determinísticos y/o aleatorios, por lo que han debido ser modificados. Las modificaciones van desde simples correcciones en las constantes como en Clements y Hendry (1998) hasta procesos VAR markovianos como en Krolzig (1998).

<sup>18</sup> Ver capítulos 1 y 6, donde se puede encontrar referencias respecto a los diferentes puzzles mencionados. El argumento para incluir variables informativas es su rápida respuesta ante choques de política.

<sup>19</sup> Por ello discrepamos con Walsh (1998) respecto a que la idoneidad de las medidas de política monetaria exógena no constituye una crítica importante de la metodología VAR.



Ambas alternativas tienen representaciones equivalentes en términos del espacio de estados, es decir, de un modelo en el que las  $k$  variables del sistema  $y_t$  [ $k, 1$ ] dependen de un grupo de  $s$  variables de estado  $x_t$  [ $s, 1$ ] comúnmente no observables pero estimables y de un grupo de  $n$  innovaciones estocásticas  $u_t$  [ $n, 1$ ]. En general, se tiene dos ecuaciones matriciales: la ecuación de observación

$$y(t)=f(x(t),u(t))=Cx(t)+u(t)$$

y la ecuación de transición de las variables de estado

$$x(t+1)=g(x(t),u(t))=Ax(t)+Bu(t)$$

Las alternativas mencionadas pueden ser no lineales, pero el presente trabajo considera los modelos lineales del espacio de estados como aproximaciones. Una ventaja de estos modelos es que las variables de estado  $x_t$  tienen una interpretación estructural directa<sup>20</sup>.

La principal tarea de especificación en este tipo de modelos es determinar el número de variables de estado (la dimensión del espacio de estados) en función de la dinámica conjunta de las variables observables  $y_t$ . De manera similar a la especificación de la dimensión de rezagos en un modelo VAR, la especificación de los MSSM puede realizarse con pruebas estadísticas o criterios de información, dependiendo del número de observaciones disponibles respecto al número de parámetros estimados. En nuestro caso particular, la disponibilidad de información es limitada y estos modelos se usarán como aproximaciones del proceso generador de datos, por lo que es totalmente factible que los propios datos determinen la dimensión del espacio estado,  $s$ , mediante el uso de técnicas de identificación de sistemas dinámicos complejos (ver Scherrer & Heij –1997- Heij, Scherrer & Deisler - 1997- y Heij & Scherrer –1996-).

En particular, el método de variaciones canónicas (CVA) consiste en la descomposición de valores singulares (SVD) de un arreglo particular de las matrices de autocorrelación o autocovarianza (matriz Haenkel) que permite seleccionar las relaciones dinámicas más importantes e identificarlas como variables de estado al determinar la dimensión óptima del espacio estado,  $s^*$  en función del valor de su información para predecir las variables  $y_t$ . En términos comparativos, en vez de descubrir cuáles coeficientes de una representación VARMA son aproximadamente cero y restringirlos, tarea que puede resultar extremadamente ardua, en el caso de los MSSM, son los valores singulares menos importantes los que se restringen a cero<sup>21</sup>, seleccionando las variables de estado más importantes así como la dimensión óptima del espacio estado,  $s^*$ .

Este método de especificación permite definir al vector  $x_t$  como el vector de medias condicionales de los estados, es decir, de los estadísticos mínimos y suficientes de la historia pasada de  $y_t$ , ya que cuando nueva información de las innovaciones  $u_t$  está disponible (provenientes de una distribución normal), los estados estimados pueden ser actualizados mediante la matriz  $B$  ( $s^*, n$ ) para permanecer como estadísticos mínimos y suficientes (ver Havenner & Aoki (1991) y Apéndice E).

Finalmente, para ilustrar la parsimonia intrínseca de este procedimiento, contemos el número de parámetros de un MSSM con  $k=6$  variables observadas y  $s^*=11$  variables de estado para compararlo con el de un VAR

$$y_t=M_{t-1}y_{t-1}+M_{t-2}y_{t-2}+\dots+M_{t-L}y_{t-L}+e_t$$

con  $k=6$  variables y  $L=11$  rezagos, ambos con medias normalizadas en cero:

$$\text{Npar}(\text{MSSM}(6,11))=\text{Npar}(A)+\text{Npar}(B)+\text{Npar}(C)=s^{*2}+2s^*k=121+2(66)=\mathbf{253} \text{ parámetros}$$

$$\text{Npar}(\text{VAR}(6,11))=L(\text{Npar}(M))=L*k^2=11x(6x6)=\mathbf{396} \text{ parámetros}$$

<sup>20</sup> Para fines de predicción, los modelos VAR no estructurales pueden servir como aproximaciones lineales del proceso generador de datos. Nótese que un modelo VAR tiene, aunque trivial, una representación en el espacio de estados. Ver Hamilton (1994).

<sup>21</sup> Para obtener modelos VAR parsimoniosos, Barrera (1997) utiliza un procedimiento similar restringiendo los parámetros de las variables menos importantes, pero mediante el uso de criterios de información. Descubrir coeficientes con valores aproximadamente cero mediante pruebas estadísticas no es un método robusto con pocas observaciones debido a la debilidad del principio de máxima verosimilitud.



por lo que para un número similar de estados (rezagos) y variables, ¡MSSM tiene 143 parámetros menos que VAR!. En general, la ventaja de la representación depende del número de rezagos (estados) y del número de variables presentes en el sistema dinámico. Para un número dado de rezagos, un sistema con un número elevado de variables será representado más parsimoniosamente con la representación de MSSM.

El presente trabajo presenta un modelo de predicción y evaluación de política monetaria para la economía peruana para satisfacer los requerimientos operativos de un esquema objetivo implícito de inflación. Para ello se utilizan modelos en el espacio de estados mínimos (MSSM), que no son susceptibles a la crítica de Lucas y que son interpretables en forma estructural. El vector de variables de estado puede ser identificado como la posición de la política monetaria en el sentido de que permite evaluar tanto la posición global de la economía como resumir las condiciones monetarias y, dependiendo de las variables presentes, cada uno de sus componentes individuales puede interpretarse como la inflación subyacente (expectativas inflacionarias), el producto potencial (la tasa natural de desempleo) y el tipo de cambio real de equilibrio<sup>22</sup>.

La capacidad predictiva de los MSSM es mucho mayor si se logra una dimensión y composición adecuadas del espacio estado en sistemas multivariados, cuya parsimonia es de utilidad para construir un sistema de proyección y evaluación de la política monetaria. Considerando que, en teoría, la operatividad bajo un esquema de política monetaria con objetivo de inflación (implícito o explícito) considera a las proyecciones de inflación como la variable intermedia, éste será el criterio principal para determinar el mejor conjunto de información para predecir la inflación, la devaluación y el producto real<sup>23</sup>.

### II.3. Búsqueda heurística del conjunto de información más relevante para Perú

En esta sección se estima un modelo en el espacio de estados para el caso peruano. El primer paso fue realizar una búsqueda heurística sobre un espacio amplio de variables (para el detalle de las variables utilizadas, ver el Cuadro 1) cuya información anticipada permita predecir la inflación<sup>24</sup>, la devaluación y el producto, es decir, minimizando las correspondientes varianzas de los errores de predicción *ex ante* (MSFE). Se partió de modelos con estas tres variables para diferentes índices de producción, para luego agregar variables una a la vez y modificar las combinaciones de las variables presentes a excepción de la inflación y devaluación. Cabe mencionar aquí que las variables asociadas al producto real no pudieron mantenerse debido tanto a un contenido reducido de información anticipada para predecir la inflación y la devaluación como a la falta de controlabilidad de los modelos que resultaron, por lo que se optó por no incluirlas en el conjunto de variables a modelar<sup>25</sup>.

Así, se probó con diferentes variables de política monetaria para encontrar una combinación que redujera el MSFE de la inflación y/o de la devaluación. Esta búsqueda de los mejores conjuntos de variables se resume parcialmente en el **Cuadro 1**, donde también se presentan los valores del MSFE para cada una de las variables presentes en el sistema así como la decisión final sobre la dimensión del espacio de estados (el tamaño del vector de variables de estado) a partir de las pruebas del tamaño óptimo: la Prueba M de Dorfman (1991) y la Prueba C de Aoki (1989). El modelo 1 en dicho cuadro permitió la mayor precisión con 11 variables de estado estimadas.

Los coeficientes estimados del mejor modelo se presentan en el **Cuadro 2**. Revisando los coeficientes, puede deducirse a partir de la matriz  $C(k, s^*)$  que un análisis individual de los impactos de cada variable de estado sobre las variables observables no es fácil: es todo el vector de variables de estado el que determina los observables. Sin

<sup>22</sup> A diferencia de la metodología de los índices de condiciones monetarias, cuya construcción es meramente referencial y didáctica (útil para los **anuncios inteligibles**), este vector sirve para diseñar una regla de política de retroalimentación en la siguiente sección.

<sup>23</sup> En una versión final del presente trabajo se pretende comparar la capacidad de MSSM para predecir la inflación con la de los modelos VAR semi-estructurales disponibles (en lo posible parsimoniosos), así como con la de otros modelos parsimoniosos de predicción no estructurales (por ejemplo, ver Barrera -1997-).

<sup>24</sup> Se utilizó la serie de inflación IPC como el mejor estimado de la inflación subyacente disponible en el sentido de ser más fácilmente predecible, un resultado obtenido en Barrera (1999) que se explica por una muestra limitada que empieza en enero 1995. Medidas alternativas de la inflación subyacente fueron comparadas en Barrera(1998), donde se propuso un índice de componentes dinámicos sin ponderar, para cuya construcción se requiere de una desagregación amplia del IPC.

<sup>25</sup> La explicación para esta decisión consiste en que ninguna de estas variables beneficiaba la capacidad predictiva conjunta, lo que resulta de un grado de predictibilidad relativa menor de las series de producto real que se utilizaron (además del agregado sectorial, el agregado primario y el no primario) respecto al de la inflación y devaluación, incluso incluyendo otras variables, tal como se documenta en una evaluación de la facilidad para predecir un conjunto de variables macroeconómicas con modelos VAR parsimoniosos (Barrera -1999-).



embargo, ordenando verticalmente los impactos de cada variable de estado sobre las 6 observables, se tiene que las variables TOSEM, TCIR, DEVA y TOSEME son determinadas por la mayoría de variables de estado (TOSEM y TCIR en un grado considerable), mientras que PII (variables objetivo) y TCBCRN (variable instrumental) lo son en un grado mucho menor. La clasificación de variable instrumental para TCBCRN está totalmente justificada porque su influencia sobre las variables de estado es determinante: ordenando horizontalmente los impactos de las innovaciones de cada variable observable sobre las variables de estado (en la escala de cada variable de estado), la innovación de TCBCRN tiene el impacto más importante sobre todas las variables de estado a excepción de X8. Llama la atención que la segunda innovación en importancia sobre la mayoría de variables de estado resulta ser la de la variable objetivo final del Banco Central (PII). En el otro extremo, la innovación menos determinante de las variables de estado resulta ser la de TCIR. Las relaciones contemporáneas entre las innovaciones avalan este resultado intuitivo, donde debemos recordar que el *set* de información como un todo permite predecir adecuadamente PII y DEVA.

En el Gráfico 1 se aprecia el ajuste de las variables (datos observados en líneas continuas y estimados en líneas punteadas): para cada variable se presentan 4 gráficos, la primera fila de gráficos muestran los datos en las unidades usadas en las estimaciones y la segunda fila, en términos de variaciones últimos 12 meses para los valores nominales. La primera columna presenta el ajuste para la muestra completa y la segunda, sólo los últimos 24 meses de la muestra. Estos gráficos reflejan un ajuste cercano a excepción de las variaciones en el circulante y de la primera diferencia en la tasa de CD's. Adicionalmente, la evolución de las principales variables de estado se muestra en el Gráfico 1 <sup>26</sup>.

---

<sup>26</sup> Aunque este análisis no permite determinar los ceros en las matrices del Cuadro 2, la versión final del presente trabajo presentará un análisis *bootstrap* para determinarlos, aunque la parsimonia asegura la significancia de los parámetros, respuestas transitorias y permanentes debido a que sólo la dinámica más importante ha sido considerada.



**CUADRO 1**  
**ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DEL CONJUNTO DE INFORMACIÓN**  
**PERFORMANCE DE PREDICCIÓN DE LOS MODELOS CON DIMENSIONES EN EL ESPACIO DE ESTADOS Y**  
**(Muestra: 1992.6 - 1998.6)**

#	E	Influencia		Crecimiento		Des. Ajustada		Variables Montañas		Variables Hielos		Variables Inhabitantes		Variables Comercio		Variables Turismo		Variables Tercer Sector		Variables Comercio Exterior		Variables Comercio Internacional		
		en	de	en	de	en	de	en	de	en	de	en	de	en	de	en	de	en	de	en	de	en	de	
1	17	11	8.51	28.63																				
2	17	11	8.71	41.01																				
3	17	11	8.66	36.07																				
4	17	11	8.85	36.71																				
5	17	11	9.12	36.74																				
6	17	12	9.25	34.23	156.68	262.31																		
7	17	12	10.44	41.07																				
8	17	12	11.27	33.26	146.46																			
9	17	12	11.54	37.34																				
10	17	12	12.36	39.02																				
11	17	12	12.39	36.35	123.11																			
12	17	12	12.39	42.79																				
13	17	12	12.43	63.89																				
14	17	12	12.44	39.96																				
15	17	12	12.46	42.01																				
16	17	12	12.46	39.66																				
17	17	12	12.46	39.9																				
18	17	12	12.46	39.89																				
19	17	12	12.49	38.92																				
20	17	12	12.50	42.81																				
21	17	12	12.52	38.19																				
22	17	12	12.54	42.81																				
23	17	12	12.56	37.89																				
24	17	12	12.59	39.49																				
25	17	12	12.60	36.76	111.67																			
26	17	12	12.71	40.64																				
27	17	12	12.75	41.96																				
28	17	12	12.86	33.27																				
29	17	12	13.06	62.77	184.4	9.33																		
30	17	12	13.06	62.86	123.94																			
31	17	12	13.16	33.06																				
32	17	12	13.28	37.14																				
33	17	12	13.40	32.76																				
34	17	12	13.52	31.99	164.4																			
35	17	12	13.70	X	173.56	160.99																		
36	17	12	13.74	32.89																				
37	17	12	13.75	36.37																				
38	17	12	13.80	34.17	164.83																			
39	17	12	13.82	X																				

Nota: Resultados obtenidos de las pruebas de predicción de los modelos de los estados de los variables se encuentran en el Anexo 1A.  
 \* Los valores están expresados en miles de dólares estadounidenses (millones de dólares).  
 X: Los modelos están expresados en miles de dólares estadounidenses (millones de dólares).  
 Fuente: Datos estadísticos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 1999. Estadísticas de las Américas, 1999. Estadísticas de las Américas, 1999. Estadísticas de las Américas, 1999.

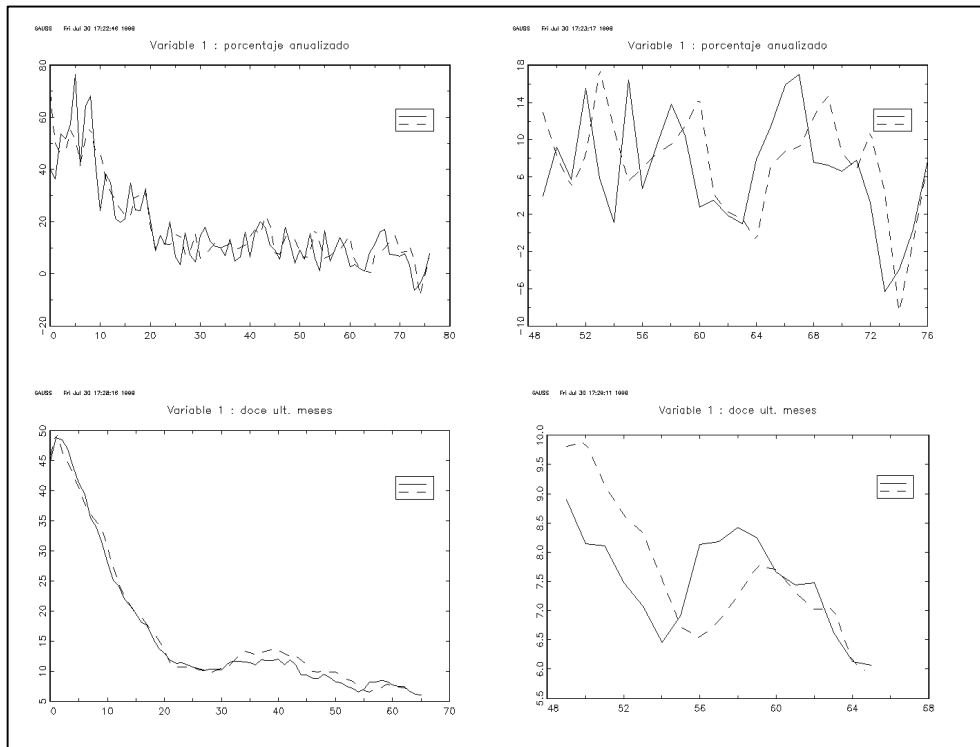


CUADRO 2  
COEFICIENTES ESTIMADOS: N=6 / S=11  
(Muestra: Agosto 1992 - Diciembre 1998 = 77 observaciones)

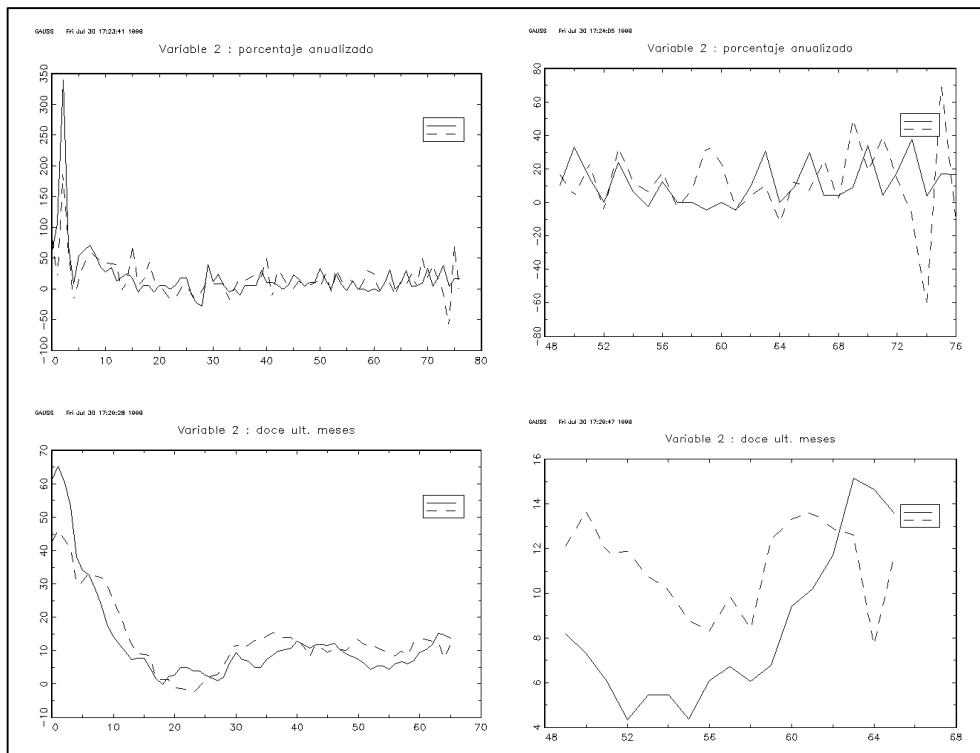
ECUACION DE ESTADOS											
A(11x11)	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
X1	0,9320	0,0033	-0,0112	0,0364	-0,0494	0,0687	-0,1055	0,1625	0,0965	-0,0781	0,0871
X2	-0,0970	0,8696	0,3094	0,0483	0,1935	-0,1920	-0,1136	-0,1442	-0,0448	0,0291	-0,4594
X3	0,0079	-0,0957	-0,3626	0,5469	0,4287	0,2903	-0,0964	-0,2104	-0,0884	-0,1314	-0,1557
X4	-0,0298	0,1782	-0,6842	0,2549	-0,0249	-0,3607	0,0636	0,0551	0,1104	0,0446	-0,0736
X5	-0,0143	-0,0987	0,0574	0,0144	0,4342	0,1966	-0,6677	0,1472	-0,3112	0,1366	0,0055
X6	0,0101	0,0091	0,0634	0,0690	0,3317	0,1184	0,5497	0,4268	-0,2708	0,0487	0,3057
X7	0,0230	-0,0538	-0,0506	-0,0648	0,2451	-0,2057	0,2612	0,1764	-0,1069	0,2737	-0,2048
X8	-0,0293	0,0033	0,0453	0,1186	-0,0164	-0,0005	-0,0741	-0,3432	0,1573	-0,0552	0,6288
X9	-0,0235	-0,0051	0,0371	0,0873	0,0828	-0,0910	-0,1511	-0,2056	-0,1580	-0,0509	0,0263
X10	-0,0209	-0,1577	0,0246	-0,0886	-0,0940	0,0054	-0,0721	0,1360	0,3422	-0,0829	-0,0957
X11	0,0069	-0,0393	0,0343	0,0276	0,0131	-0,0461	-0,0085	-0,2793	0,0747	0,1502	-0,2480
B(11x6)											
	uPII	uDEVA	uTCIR	uTOSEMNI	uTOSEMI	uTCBCRN					
X1	0,0017	-0,0043	-0,0007	-0,0028	-0,0063	0,0282					
X2	-0,0286	-0,0040	-0,0011	0,0050	-0,0079	0,0940					
X3	-0,0131	0,0085	0,0012	-0,0034	-0,0042	-0,0377					
X4	-0,0138	0,0005	0,0015	0,0078	0,0048	0,1273					
X5	-0,0318	0,0015	0,0006	-0,0104	0,0108	-0,0383					
X6	0,0134	-0,0003	-0,0002	-0,0032	0,0188	0,1012					
X7	0,0202	0,0072	-0,0006	-0,0013	-0,0021	0,0445					
X8	-0,0341	-0,0036	-0,0001	0,0037	0,0084	-0,0027					
X9	0,0071	0,0026	-0,0015	-0,0006	0,0014	0,1483					
X10	0,0026	-0,0121	0,0000	-0,0022	-0,0085	0,1028					
X11	-0,0027	-0,0063	-0,0004	-0,0006	0,0109	0,0440					
ECUACION DE OBSERVACIONES											
C(6x11)	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
-PII	-18,6703	-6,1701	-1,8633	-2,4738	-1,9618	-0,5837	-1,4471	2,7809	2,2372	6,1944	-4,4793
-DEVA	-11,8416	-25,2807	2,7585	-5,2816	-5,2156	-10,0733	2,0372	-1,2413	-12,1082	-16,7556	-10,1157
-TCIR	-41,7798	82,6969	-107,4087	-114,5760	-19,8121	45,3961	-5,5834	0,8253	-20,9727	-11,5982	-9,1312
-TOSEMNI	-49,5290	24,8986	0,0452	23,3494	-17,0752	-3,4332	-15,0259	20,9003	-4,4634	-6,6730	4,4982
-TOSEMI	-22,3146	0,6609	3,4179	-2,9130	11,9943	4,2144	-0,1976	3,0133	8,2082	-6,6949	-0,6734
-TCBCRN	0,6360	-0,0499	-0,5260	-1,5056	0,6321	-1,8971	-0,7726	0,4168	0,1343	0,1080	0,5262
MATRIZ VARIANZA COVARIANZA DE LAS INNOVACIONES: E[UU']											
	uPII	uDEVA	uTCIR	uTOSEMNI	uTOSEMI	uTCBCRN					
uPII	0,206	:	:	:	:	:					
uDEVA	0,102	0,466	:	:	:	:					
uTCIR	0,102	-0,042	0,595	:	:	:					
uTOSEMNI	-0,037	-0,129	-0,029	0,699	:	:					
uTOSEMI	0,136	0,016	0,010	-0,008	0,451	:					
uTCBCRN	-0,034	-0,099	0,154	-0,100	-0,051	0,736					
MEDIAS MUESTRALES Mu(6x1)											
	PII	DEVA	TCIR	TOSEMNI	TOSEMI	TCBCRN					
	17,345	19,562	65,402	54,047	26,862	-0,398					



### Gráfico 1 INFLACIÓN

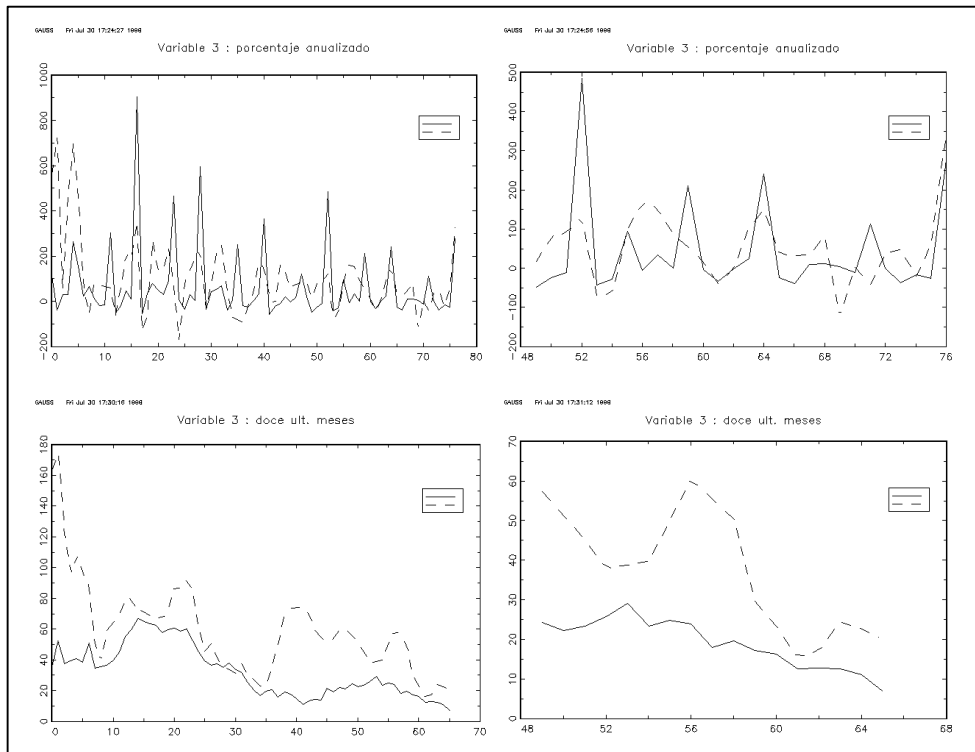


### DEVALUACIÓN

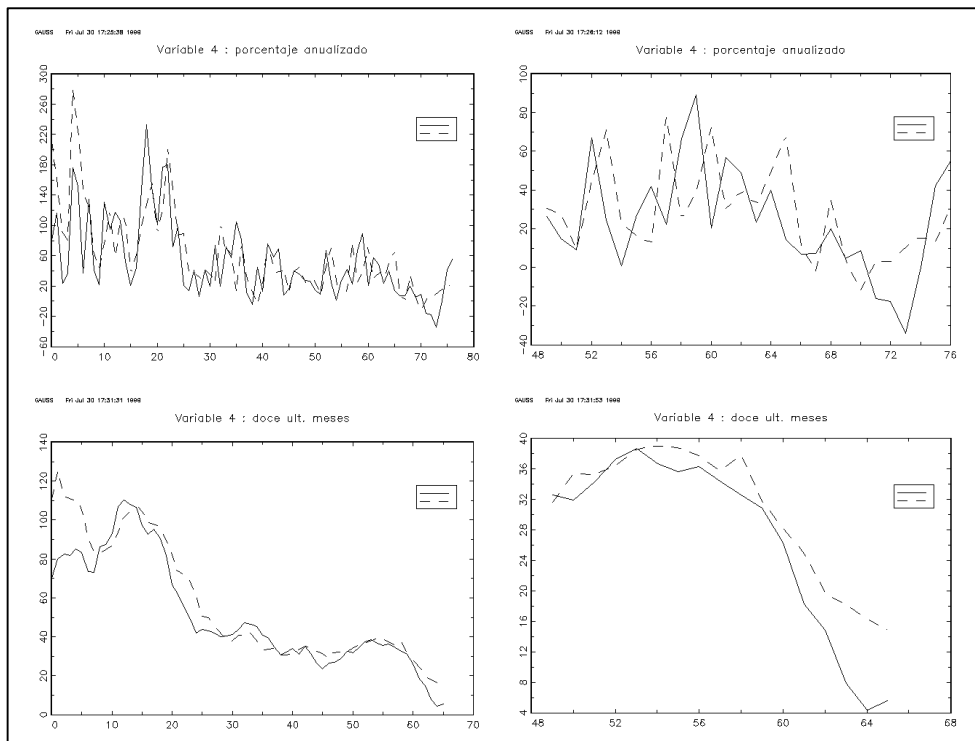




### TASA DE CRECIMIENTO DEL CIRCULANTE



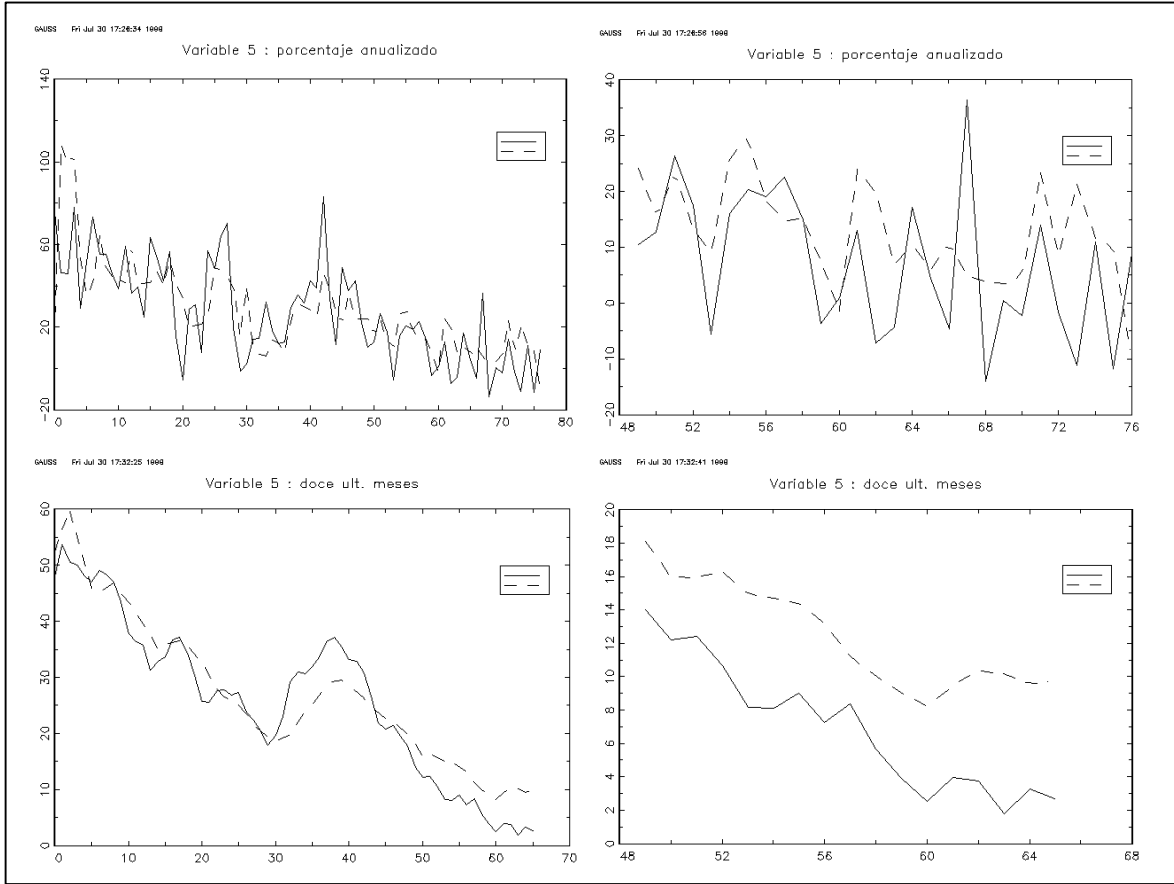
### TASA DE CRECIMIENTO DEL TOSE EN MN



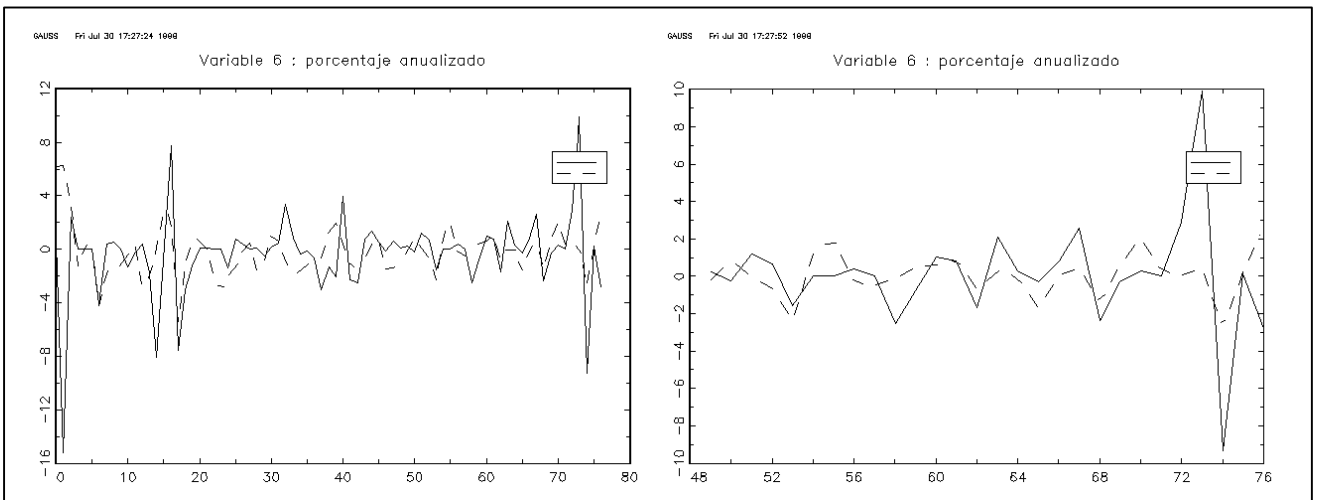




**TASA DE CRECIMIENTO DEL TOSE EN ME**



**PRIMERA DIFERENCIA TASA DE INTERÉS DE LOS CDBCRP**





Como parte de la evaluación estadística del sistema de variables obtenido, cuya especificación partió de maximizar la precisión de las proyecciones de inflación y tipo de cambio, las pruebas individuales de normalidad de los errores (sin considerar los errores del periodo agosto 92-febrero 93 debido al ruido presente en este periodo) permiten rechazar la hipótesis de normalidad sólo para las variables informativas (causales) circulante y tasa de interés de los Certificados del BCRP (exceso de curtosis para ambas y de sesgo para el tipo de cambio), lo que indica la necesidad de enfatizar conjuntos de información respecto a estas variables.

Cuadro 3

ESTADÍSTICAS GRUPALES Y PRUEBAS DE NORMALIDAD INDIVIDUAL						
(Muestra: Marzo 1993 - Diciembre 1998 = 70 observaciones)						
	uPII	uDEVA	uTCIR	uTOSEMNI	uTOSEME	u_TBCBRN
Media	-0,540	-1,887	-5,154	-1,189	-0,959	0,161
Mediana	-0,604	-1,377	-61,556	-3,917	-0,330	0,361
Maximo	13,138	65,298	554,037	107,773	3,995	9,524
Minimo	-22,228	-54,314	-193,922	-83,879	-39,810	-8,196
Desv.Estánd.	6,900	21,966	152,235	35,926	16,174	2,576
Sesgo	-0,242	-0,022	1,530	0,388	0,034	-0,076
Curtosis	3,253	3,589	5,327	3,769	3,002	6,016
<b>Jarque-Bera</b>	<b>0,871</b>	<b>1,019</b>	<b>43,103</b>	<b>3,481</b>	<b>0,013</b>	<b>26,592</b>
<b>Probabilidad</b>	<b>0,647</b>	<b>0,601</b>	<b>0,000</b>	<b>0,175</b>	<b>0,993</b>	<b>0,000</b>

Cabe mencionar que las diversas combinaciones de los instrumentos operativos a disposición del banco central tienen como objetivo brindar flexibilidad para lograr las metas intermedias en alta frecuencia (diariamente). Si estos **instrumentos operativos** pueden lograr metas intermedias, cabe preguntarse sobre la relevancia de estas metas intermedias como **instrumentos de control de los objetivos finales**. Los resultados obtenidos con datos en frecuencia mensual revelan que el cambio en la tasa de interés de CD's es el **instrumento de control** de la inflación y el tipo de cambio, por lo que el reemplazo de los **instrumentos operativos de control monetario directo** por **instrumentos operativos indirectos** ha logrado establecer relaciones con los objetivos finales de política monetaria en el Perú a través de la tasa de interés de CD's.

Según estos resultados, el circulante (que representa el 85 por ciento de la emisión) y el TOSE en moneda nacional y en moneda extranjera (directamente relacionados con otros agregados monetarios usualmente identificados como parte de los mecanismos de transmisión) contienen la mejor información anticipada para predecir la inflación y la devaluación. Las diversas variables de producción utilizadas, así como agregados monetarios amplios, no contienen información relevante para predecirlas, lo que no necesariamente significa que no formen parte del mecanismo de transmisión (Woodford, 1994). En todo caso, la representación de los mecanismos de transmisión obtenida considera el vector de variables más relevante del conjunto de vectores deseados (subconjunto de todos los posibles). Específicamente, las variables relevantes resultan ser aquellas estrechamente ligadas al mercado de fondos interbancarios, como el TOSE en ambas monedas, el circulante y la tasa de interés de los certificados del BCRP. El análisis de la relevancia de los **instrumentos operativos manejados por el banco central** para el control de los objetivos finales se deja para un análisis futuro usando los datos disponibles en frecuencia diaria.

#### II.4. Respuestas a choques transitorios y permanentes en el sistema de "lazo abierto"

A partir de los coeficientes estimados se calculó las respuestas de todas las variables observadas ante un impulso unitario (choque transitorio) en cada variable, así como aquellas correspondientes ante un escalón unitario (choque permanente) en cada variable (Gráficos 2A y 2B)<sup>27</sup>. En general, todas las respuestas transitorias muestran un comportamiento convergente (Gráfico 2A) y todas las respuestas permanentes convergen al nuevo estado

<sup>27</sup> Un impulso unitario significa un aumento de 1 por ciento anual en el mes 0 que se revierte totalmente en el mes 1, mientras que un escalón unitario significa un aumento de 1 por ciento anual en el mes 0 que se mantiene constante hasta el mes s, donde s tiende al infinito (en términos prácticos, hasta que se alcance el nuevo estado estacionario).



estacionario (Gráfico 2B), por lo que los resultados aquí obtenidos y los de trabajos previos sobre mecanismos de transmisión difieren drásticamente<sup>28</sup>.

El sentido y la magnitud de las **respuestas a un impulso** del Gráfico 2A son compatibles con lo esperado en términos teóricos y resulta interesante resaltar su persistencia relativa en el tiempo<sup>29</sup>:

- las respuestas de la inflación (PII) ante todos los choques son positivas (siendo marcadamente positiva y persistente durante los primeros 30 meses frente a un choque en sí misma) excepto ante los del TOSEM N denominado tmm en el gráfico (negativa) y de la TCDBCR denominado tcd en el gráfico (marcadamente negativa), y luego de 17 meses, son ligeramente negativas ante un choque en DEV y especialmente en TCIR;
- las respuestas de la devaluación (DEVA) son positivas durante los primeros 18 meses frente a un choque en PII (marcadamente positiva) y en TOSEME denominado tme en el gráfico, y negativas durante los primeros 26 meses frente a uno en TOSEM N, resultando muy transitorias frente a uno en sí misma (marcadamente positiva), en TCIR (positiva) y en TCDBCR (marcadamente negativa);
- las respuestas del crecimiento del circulante (TCIR) son en general, poco persistentes (exceptuando la resultante de un choque en TCDBCR), destacando las que resultan de un choque en TCDBCR y en PII como marcadamente negativas;
- las respuestas de la variación del TOSE en moneda nacional (TOSEM N) son negativas ante choques en TCDBCR, PII y TOSEME (en orden de magnitud), siendo persistentes hasta 30 meses en el caso del TCDBCR;
- las respuestas de la variación del TOSE en moneda extranjera son marcadamente negativas ante choques en TCDBCR y PII (en orden de magnitud), aunque en el primer caso son, persistentes hasta 20 meses y en el segundo pasan a ser positivas luego de 6 meses con una persistencia de más de 35 meses;
- finalmente, en el caso de las respuestas de la variable instrumento de política, la tasa de certificados de depósito del Banco Central (TCDBCR), a pesar de que las respuestas son de magnitud reducida porque la variable está expresada en términos anuales y en primeras diferencias, se aprecia un grado de baja permanencia y alta oscilación, y con magnitud importante sólo en el caso de un choque en sí misma y en PII.

El sentido de las **respuestas a un cambio unitario permanente** pueden resumirse en el **Cuadro 4**, construido a partir del Gráfico 2B, donde las variaciones se expresan en términos anuales y la tasa anualizada de los CDs, en primeras diferencias. Dado que todas las variables han sido normalizadas, las respuestas permanentes se interpretan como cambios respecto al promedio de las variaciones mensuales anualizadas.

**Cuadro 4**

Respuesta de la variable:	Ante un cambio permanente de 1 por ciento anual					
	PII	DEVA	TCIR	TOSEM N	TOSEME	dTCDBCR
Inflación IPC (PII)	7,30	0,46	0,04	-0,50	1,50	-0,50
Devaluación TC prom. (DEVA)	10,00	0,85	-0,15	-0,90	1,10	-4,00
Var.% Circulante prom.	-10,00	3,20	1,60	-0,40	4,00	-48,00
Var. TOSE en m/n	-2,60	3,90	0,70	2,80	1,60	-40,00
Var. TOSE en m/e	2,40	1,00	0,19	-0,50	3,40	-14,50
1º Dif. T. Interés CDs	-0,06	-0,04	-0,01	-0,01	-0,05	1,00

<sup>28</sup> Como se mencionó en la parte II, el uso de los criterios de selección de variables relevantes para los mecanismos de transmisión en la metodología VAR brinda resultados poco confiables.

<sup>29</sup> Debemos notar que, por construcción, todas las variables se representan en términos de desviaciones respecto a su media muestral, por lo que el estado estacionario de las respuestas ante impulsos es siempre cero.



Estos cambios en el equilibrio estacionario, independientemente del proceso de ajuste, dependen de los cambios simultáneos en las variables de estado mínimas y suficientes. A partir del Cuadro 2 puede obtenerse una interpretación de la primera **variable de estado X1 como el grado de iliquidez del mercado de fondos interbancarios**, la que resulta tanto de los efectos sobre X1 de las innovaciones de las variables observadas (primera fila de la matriz B) como de los impactos iniciales sobre éstas de un aumento de X1 (primera columna de la matriz C). Esta interpretación explica porqué un cambio permanente de 1 por ciento en la inflación, que genera una sustitución de activos en moneda nacional (circulante y depósitos) hacia depósitos en moneda extranjera, con efectos adicionales sobre el equilibrio estacionario de la inflación y devaluación, produce una contracción de la liquidez de los bancos que ha sido parcialmente atenuada con una ligera reducción de la tasa de certificados de depósito del Banco Central en el nuevo equilibrio. Considerando que la evolución reciente de X1 ha reflejado un creciente grado de iliquidez (Gráfico 1– primer recuadro), se entiende porqué el nuevo equilibrio ha requerido esta ligera disminución.

Por otra parte, aunque el proceso y periodo de ajuste al nuevo equilibrio estacionario de cada variable frente a los diversos choques tiene particular importancia para la autoridad monetaria (*undershooting*, *overshooting*, convergencia monótonicamente (de)creciente, etc.), especialmente respecto a las variables asociadas al mercado de fondos de corto plazo en ambas monedas, lo más destacable es:

- que el comportamiento dinámico conjunto de dichas variables es fácilmente explicable usando las relaciones teóricas de sustitución entre ambas monedas.
- que el sistema tiende al nuevo estado estacionario, por lo que es estable, a diferencia del común de sistemas dinámicos estimados, lo que se explica porque ya existe una acción de control relativamente benéfica de la meta operativa (cuenta corriente de los bancos) por parte de la autoridad monetaria, que ha favorecido una evolución de los CDs compatible con el objetivo anti-inflacionario.
- Que el sistema es *dinámicamente controlable* (ver Aoki y Havenner –1991- y Norman y Jung –1980-), tal como aparece en el **Gráfico 3** donde la respuesta en frecuencia de los valores singulares muestra un elevado margen de ganancia a baja frecuencia (frecuencias menores a una periodicidad mensual, como semestral o anual). Ello significa que, dada una frecuencia mensual como base, el sistema permite llevar a la inflación y a la devaluación hacia los valores elegidos como objetivos de política monetaria.

En este sentido, el diseño de la regla de control con retroalimentación de este sistema, a realizarse en la siguiente sección, deberá interpretarse como un refinamiento a la acción de control ya existente, específicamente aplicada en el mercado de fondos interbancarios.

### III. Reglas de control óptimo: complejidad *versus* simplicidad

#### III.1. ¿Reglas de Política Simples bajo No linealidad y Aprendizaje?

En las secciones anteriores se presentó argumentos sobre el uso de reglas simples en términos de su utilidad como referencia de política, especialmente en ausencia de una aproximación adecuada del mecanismo de transmisión de los diversos choques. Clarida, Galí y Gertler (1997) estimaron especificaciones **mirando hacia adelante** de la regla de Taylor para las tasas de interés manejadas por los bancos centrales de Alemania, Japón y Estados Unidos de América, encontrando coeficientes similares y evidencia sobre la presencia de una política monetaria **activa** con un **claro énfasis en el control de la inflación**, lo que es consistente con el éxito logrado bajar la inflación desde inicios de los 80. Corbo (1999) realiza un ejercicio similar para un grupo de países de América Latina que lograron estabilizar el crecimiento de los precios durante la década de los 90, aunque sus conclusiones no resultan adecuadas (ver sección II.1).

Sin embargo, estas estimaciones sólo pueden servir de base para describir estilizadamente la reacción de la autoridad monetaria en el pasado. El uso de los coeficientes estimados de reglas de Taylor como reglas de comportamiento que la autoridad debe seguir resulta tan inapropiado como utilizar la regla de Friedman, especialmente cuando no se derivan a partir de representaciones adecuadas de los mecanismos de transmisión. En todo caso, los supuestos implícitos son: (i) que las pocas variables usualmente incluidas en las diversas especificaciones de la regla de Taylor son los estadísticos mínimos y suficientes para la inflación y cualquier otra



variable que pueda considerarse como objetivo por la autoridad monetaria (ver Clarida, Galí y Gertler, 1997, pág. 6), y (ii) que no existe dinámica alguna, directa o indirecta, entre estas variables.

Como las relaciones dinámicas entre éstas y otras variables informativas existen, son complejas y pueden cambiar en el tiempo resultado del aprendizaje de los agentes y de la propia autoridad monetaria, parte de la literatura ha recomendado el uso de reglas simples como un atajo para obtener una regla de comportamiento a ser utilizada por la autoridad monetaria, enfatizado la importancia de la **robustez** de las reglas simples ante diferentes modelos y especificaciones de dicha transmisión (Taylor, 1999B), pero en general, las conclusiones apuntan a reducir la utilidad de estas reglas simples debido a que su uso ha significado inestabilidad, indeterminación y equilibrios múltiples (Benhabib, Schmitt-Grohe y Uribe, 1998)<sup>30</sup>.

Por otro lado, las simulaciones realizadas sobre la base de modelos **con relaciones dinámicas razonables** (por ejemplo, ver Rudebusch y Svensson, 1998) han reafirmado que en la **optimalidad** de las reglas complejas basadas en la teoría de control óptimo frente a las reglas con predicción de objetivos y a las reglas simples de la literatura (reglas de Taylor y de McCallum)<sup>31</sup>, con el atenuante de que estos en modelos todas las variables son observables, no se discute el tamaño adecuado del *set* de información ni la dimensión apropiada del vector de variables de estado y, finalmente, nada asegura que las **relaciones dinámicas razonables** sirvan para obtener proyecciones condicionales de las variables objetivo ni para lograr **optimalidad** en la práctica de una política monetaria sistemática y oportuna.

La incertumbre sobre el estado de la economía, donde éste no es observable, así como la limitada capacidad de procesar la información disponible para estimar una representación de los mecanismos de transmisión en cada momento a partir de la información observable disponible en cada periodo *t* favorecen el uso de los MSSM, ya discutidos. La aproximación lineal, basada en los datos que se ha estimado en la sección II, permite una representación balanceada y parsimoniosa en el espacio de estados (Ver Aoki & Havenner, 1991), por lo que en esta sección se obtiene la regla de retroalimentación en función de las variables de estado de dicha representación estimada y no a partir de los datos observados.

Como mencionamos en la sección I, estas reglas condicionales al estado de la economía pueden implicar acciones difíciles de explicar al agente económico. Su utilidad puede ser limitada en ausencia de **anuncios inteligibles**, debido a que los agentes pueden percibir incertidumbre respecto a los objetivos del banco central para un nivel de credibilidad aún reducido.

### III.2. La tasa de interés de los CDs del BCRP como instrumento de política monetaria

Utilizando los coeficientes estimados en la sección II puede determinarse la regla óptima de control que resulta compleja para llevar la inflación *y*/*u* otro objetivo a los valores deseados. Aquí se calculará la evolución de la tasa de interés de los certificados del Banco Central que se requieren para llevar la inflación a un nivel cero. En primer lugar, debemos excluir el componente redundante de *y*(*t*) asociado a la señal de control, la tasa de interés de los CDs del BCRP, mediante una reparametrización del sistema dinámico estimado, el cual puede expresarse como

$$x_{t+1} = Ax_t + Bu_t = Ax_t + \begin{bmatrix} B_1 & B_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \end{bmatrix}$$

$$y_t = Cx_t + Du_t = \begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} x_t + \begin{bmatrix} D_1 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \end{bmatrix}$$

<sup>30</sup> Asimismo, puede notarse un exceso de optimismo al argumentar que los valores de los coeficientes de las reglas de Taylor para diversos modelos son similares (ver Taylor -1999B-, pag.27). Definitivamente, incluso al encontrar una solución de control óptimo no estocástico, los parámetros de la regla óptima en función de las variables de estado dependen de los parámetros de los mecanismos de transmisión y de preferencia de la autoridad monetaria. La utilidad real de las "reglas simples" es la didáctica en la comunicación con el público.

<sup>31</sup> Estos modelos "idealmente razonables" son lineales (Rudebusch y Svensson -1998-). Sin embargo, una vez que los modelos utilizados tienen componentes no lineales, las reglas con predicción de objetivos pueden ser tan complejas como las de que se basan en el control óptimo no lineal, lo que va en contra de su utilidad para la autoridad monetaria. Ver comentario de L.E.O. Svensson a Isard et al (1999).



Donde simplemente hemos aislado el error y los coeficientes de la ecuación estimada de la tasa de interés de los CDs,  $y_{2t} = C_2x_t + u_t$ , para sustituirla en el sistema anterior y obtener

$$y_{1t} = C_1x_t + D_1^1u_{1t} = C_1x_t + \begin{bmatrix} D_1^1 & \Phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{1t} \\ y_{2t} \end{bmatrix}$$

$$x_{t+1} = (A - B_2C_2)x_t + B_2y_{2t} + B_1u_{1t} = (A - B_2C_2)x_t + \begin{bmatrix} B_1 & B_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{1t} \\ y_{2t} \end{bmatrix}$$

donde  $D_1^1$  es una matriz idéntica de  $5 \times 5$ . La maximización de la función objetivo del Banco Central como la función de pérdida determinística (en ausencia de choques en  $u_{1t}$ )

$$L = \sum_{j=0}^h d^j [y_{1t}^T Q y_{1y} + y_{2t}^T R y_{2t}]$$

sujeta a las restricciones del sistema reparametrizado

$$\begin{aligned} x(t+1) &= (A - B_2C_2)x(t) + B_2y_2(t) \\ y_1(t) &= C_1x(t) \end{aligned}$$

donde  $Q = \text{diag}(0,9, 0,5, 0,1, 0,2, 0,2)$ ,  $R = 0,1$  y  $d = 0,99$  es el factor de descuento, obteniendo iterativamente la regla determinística de retroalimentación  $y_{2t} = -\eta x_t$  (acciones de política requeridos para lograr el objetivo final dependen del estado de la economía en cada periodo) donde  $\eta$  es un vector de  $1 \times 11$  y  $h = 24$  meses adelante (ver Ogata, 1987). Con fines comparativos, la estimación de la ecuación para la tasa de interés de los CDs del BCRP como función de las variables de estado mínimas y suficientes así como la regla de retroalimentación determinística calculada como un refinamiento a la acción de control existente (reflejada indirectamente por los estimados) se presentan en el **Cuadro 5**. De esta comparación resulta claro que, para lograr un desempeño de control óptimo, la regla de retroalimentación básicamente es más sensible a la información dinámica contenida en las variables de estado  $X_1, X_2$  y  $X_3$ , y reacciona inversamente a las variables de estado  $X_4, X_5, X_6$  y  $X_7$

**Cuadro 5**

dTCBCR = f (X(t))		
	Estimada (C1')	Feedback
x1	0,64	3,46
x2	-0,05	-0,53
x3	-0,53	-2,14
x4	-1,51	1,54
x5	0,63	-1,57
x6	-1,90	0,41
x7	-0,77	0,38
x8	0,42	1,63
x9	0,13	0,15
x10	0,11	0,19
x11	0,53	0,15



El Gráfico 4 muestra los eigen-valores del sistema de lazo cerrado, los cuales se encuentran dentro del círculo unitario, por lo que la estabilidad está asegurada. En realidad, muchos resultados adversos obtenidos en la literatura, mencionados anteriormente (ver parte II.1) puede explicarse por una falta de preocupación en la estabilidad del sistema, para no mencionar su desinterés por las características de controlabilidad del mismo. Asimismo, los Gráficos 5A y 5B presentan las respuestas transitorias y permanentes del sistema de **lazo cerrado** ante cambios en la acción de control, las cuales pueden compararse con las respuestas correspondientes a innovaciones en el cambio de la tasa de interés de CD's ( $u_{tcd}$ ) para comprobar el efecto de esta **acción refinada** de control. Mientras que las respuestas transitorias convergen más rápidamente al estado estacionario con este refinamiento, las respuestas permanentes convergen más rápidamente a un estado estacionario más cercano al inicial, como también se puede apreciar en el **Cuadro 6**. En este cuadro se compara los estados estacionarios a los que tiende el sistema sin *feedback* (últimos 6 recuadros del Gráfico 2B) con los que tiende el sistema con *feedback* (Gráfico 5B). De hecho, todos los cambios en el estado estacionario son menores (en valor absoluto) incluyendo el *feedback*.

RESPUESTAS ANTE UN ESCALÓN UNITARIO EN dTCDBCR		
Respuesta de la variable:	dTCDBCR	
	Estimada	Feedback
Inflación IPC (PII)	-7,50	-2,00
Devaluación TC prom. (DEVA)	-4,00	-1,00
Var.% Circulante prom. (TCIR)	-48,00	-14,00
Var. TOSE en m/n (TOSEMN)	-40,00	-10,00
Var. TOSE en m/e (TOSEME)	-14,50	-4,00
1º Dif. T. Interés CDs (dTCDBCR)	1,00	n.a.

**Cuadro 6**

Como las variables de estado no son observables, además de esta acción de control determinística es necesario diseñar un filtro estacionario de Kalman discreto para las variables de estado de modo que la ecuación de observación y la de estados se actualicen a partir de los errores estimados en el periodo previo, es decir, a partir de la información de las variables a medida de que éstas son observadas. Para ello se asume constantes los parámetros estimados y se utiliza la matriz de covarianzas estimada de las innovaciones (ver Apéndice B). Este estimador se incluye en el sistema de **lazo cerrado** con la regla de retroalimentación determinística anterior.

El Gráfico 6 muestra los eigen-valores de este nuevo sistema completo de **lazo cerrado** incluyendo el filtro para las variables de estado, los cuales se encuentran dentro del círculo unitario, asegurando la estabilidad de esta acción de control más refinada. Finalmente, el Gráfico 7 presenta las respuestas permanentes simultáneas de las variables incluidas en este nuevo sistema de **lazo cerrado** ante cambios permanentes en cada una de las perturbaciones del sistema con esta acción de control que considera la estimación de las variables de estado. En los recuadros superiores se muestran las mismas respuestas simultáneas en un solo eje de ordenadas. Un choque permanente de 1 por ciento en la inflación es compensado casi totalmente en menos de 20 meses tanto para la inflación como para la devaluación, aunque con un efecto ínfimo en el circulante y las obligaciones en moneda nacional (cuyo nuevo estado estacionario es de una reducción en 0,07 por ciento y 0,05 por ciento, respectivamente). Un choque permanente de 1 por ciento en la devaluación demora poco más de 20 meses en ser compensado sólo parcialmente en el caso de la inflación (cuyo estado estacionario sería crecer 0,2 por ciento más en un horizonte de 40 meses) mientras que la elevación implícita inducida en las tasas de interés elevaría las obligaciones sujetas a encaje y el circulante en alrededor de 1 por ciento.

Aunque estas simulaciones sobre este nuevo sistema permiten evaluar las respuestas ante choques supuestamente permanentes (de 1 por ciento para cada variable), son indicativas de la estabilidad y controlabilidad del mismo. Respuestas a choques transitorios son muy similares a las del Gráfico 5A en el sentido de ser compensadas totalmente en menos de 10 meses. Sin embargo, esta regla es menos **inteligible** aún que la regla determinística  $y_{2t} = -\eta x_t$ , que no considera la estimación de las variables de estado (ver Apéndice B).



#### IV. Conclusiones

El presente trabajo ha esbozado los requerimientos para una política monetaria sistemática en la que debe estar presente una serie de **anuncios inteligibles** de política para complementar el uso de reglas óptimas (complejas) para el control de la inflación así como de otras variables como la devaluación y el producto. Estos anuncios inteligibles forman parte de una estrategia de comunicación con el sector privado que brinda estabilidad a sus expectativas y permite que el sistema dinámico sea **causal**, es decir, que el futuro no afecte el presente, y por ende, sea un sistema controlable.

Asimismo, el trabajo usa modelos en el espacio de estados mínimos y suficientes (MSSM) en la evaluación de política monetaria y en la aproximación de los mecanismos de transmisión sobre la base de su facilidad de interpretación teórica (estructural) y de su versatilidad como modelos no estructurales (indicadores anticipados). Estos modelos dinámicos son parsimoniosos y permiten usar vectores  $y_t$  con más de 5 variables para muestras tan pequeñas como 80 observaciones mensuales, lo cual sería prohibitivo en el caso de usar modelos VAR, cuya parsimonia puede ser adecuadamente determinada para muestras con más de 150 datos en el caso de vectores  $y_t$  con sólo 3 variables! Los MSSM son estimados para Perú eligiendo el conjunto de variables que tenga la mejor capacidad para **predecir y controlar** la inflación y la devaluación, con el resultado general de que las variables directamente asociadas al manejo monetario de corto plazo resultan las más relevantes. Este resultado, ausente en la literatura sobre mecanismos de transmisión, brinda evidencia importante a favor de la intuición de Bernanke y Mihov (1995).

Debe mencionarse que, contrariamente a la intuición, las variables que miden el producto real no contienen información relevante para predecir la inflación ni la devaluación, ni agregados monetarios para la muestra usada, por lo que fueron excluidas de la representación de los mecanismos de transmisión para el caso peruano. Más allá de la presencia de ruido en los datos en los extremos del **ciclo** en el producto, para evaluar la relevancia de la presencia de variables de demanda agregada y/o precios externos se requiere una muestra más informativa sobre las relaciones entre producto (o la brecha respecto al producto potencial) y la inflación más allá de que separe los movimientos en la capacidad productiva resultado del fuerte aumento en la inversión privada en la presente década.

En este sentido, la representación dinámica obtenida está exclusivamente relacionada con el mercado de fondos interbancarios y fue utilizada para calcular la regla de retroalimentación para instrumento de control con mayor influencia en todas las variables de estado y por ende de las variables observadas en el conjunto de información elegido, el más eficiente para predecir y controlar la inflación y, potencialmente, la devaluación. La **optimalidad** práctica de esta regla de retroalimentación está estrechamente ligada a los mecanismos de transmisión de la economía peruana, y es **robusta** para los choques de las variables incluidas en la medida que considere un estimador de las variables de estado con la información disponible en cada momento.

En el caso peruano, el *instrumento de control de los objetivos finales* (inflación y devaluación) resulta ser la tasa de interés pagada por los Certificados de Depósito del Banco Central. Los resultados obtenidos con datos en frecuencia mensual revelan que el cambio en la tasa de interés de CD's es el instrumento de control de la inflación y el tipo de cambio, por lo que el reemplazo de los instrumentos operativos de control monetario directo por los instrumentos operativos indirectos ha logrado establecer relaciones con los objetivos finales de política monetaria en el Perú a través de la tasa de interés de CD's.

Ello implica que el énfasis en el control de los agregados monetarios como metas intermedias tiene influencia efectiva pero indirecta, ya que la transmisión hacia los objetivos finales (inflación y la devaluación) se da vía la tasa de interés de los certificados de depósito del BCRP, aunque con efectos atenuados o amplificados en función de su influencia sobre otros agregados como las obligaciones sujetas a encaje y de su dependencia de agregados monetarios más autónomos como el circulante. La tasa de interés de los certificados es, por ende, la variable más al alcance de la autoridad para afectar el grado de liquidez existente en el mercado de fondos interbancarios y controlar la inflación y devaluación. El uso de una regla de retroalimentación para la tasa de interés de CD's promedio mensual como referencia de su meta intermedia es la principal recomendación de política del presente trabajo, aunque para evaluar su aplicación efectiva se requiere el uso de datos en frecuencia diaria sobre el mercado de fondos interbancarios, lo que se deja para una investigación posterior.

Adicionalmente, debe mencionarse que el uso de la tasa de interés como instrumento de control de los objetivos finales (meta intermedia) es totalmente compatible con un control monetario adecuado, dada la equivalencia de la





---

regla monetaria y la de tasa de interés definida teóricamente en Vegh (1998) y avalada indirectamente por los resultados empíricos de Clarida, Galí y Gertler (1997) para países que utilizan agregados monetarios para controlar la inflación, como Alemania.

En la medida de que el modelo estimado permita predecir la inflación adecuadamente y el *set* de información sea suficientemente amplio, el ejercicio de control óptimo puede repetirse para diferentes conjuntos de información. Implícito en este ejercicio, las expectativas racionales de los agentes son consideradas como estables mediante una comunicación fluida entre el banco central y los agentes económicos, lo que brinda flexibilidad para atenuar choques en otras variables importantes, como la devaluación, en una economía parcialmente dolarizada.



## Bibliografía

**Aoki, Masanao** (1989), “Singular values, canonical correlation coefficients and the dimension of state space models of times series”. Documento presentado en la 1989 NSF/NBER Times Series Workshop, Madrid, España.

**Aoki, Masanao y Havenner, Arthur** (1991), “State space modelling of multivariate time series”, *Econometric Reviews*, Vol. 10, 1-59.

**Barrera, Carlos** (1997), “Indicadores anticipados de la inflación”. Mimeo. Trabajo presentado en el XIV Encuentro de Economistas de la Gerencia de Estudios Económicos del BCRP

**Barrera, Carlos** (1998), “Factores monetarios y no monetarios en la variación del IPC: ¿las medias acotadas sirven para medir la inflación objetivo de todo banco central?” Mimeo. Trabajo presentado en el XV Encuentro de Economistas de la Gerencia de Estudios Económicos del BCRP.

**Barrera, Carlos** (1999), “Un sistema de proyección de corto plazo de variables macroeconómicas en el Perú: combinación de proyecciones con ponderaciones variables”, Mimeo. Trabajo presentado en el XVI Encuentro de Economistas de la Gerencia de Estudios Económicos del BCRP.

**Benhabib, Jess; Schmitt-Grohe, Stephanie y Uribe, Martín** (1998), “The perils of Taylor rules”, C.V. Starr Center for Applied Economics, New York University.

**Bernanke, Ben y Mishkin, F.** (1997), “Inflation targeting: a new rule for monetary policy”, *Journal of Economic Perspectives*, vol. 11, págs. 97-116.

**Bernanke, Ben y Blinder, Alan** (1992), “The Federal Funds Rate and the Channels of Monetary Transmission”. *American Economic Review*, vol. 82, págs. 901-21.

**Bernanke, Ben y Mihov, Ilian** (1995), “Measuring Monetary Policy”. *NBER WP* No. 5145.

**Blinder, Alan** (1997), “What Central Bankers could learn from Academics —and vice versa”. Distinguished Lecture on Economics in Government, *Journal of Economic Perspectives*, vol. 11, No. 2.

**Bringas, Paul y Tuesta, Vicente** (1998), “El superávit de encaje y los mecanismos de transmisión de la política monetaria: una aproximación”. *Revista de Estudios Económicos* No. 3, BCRP.

**Bryant, Ralph C.** (1996), “Alternative rules for monetary policy and fiscal policy in New Zealand: A preliminary assesment of stabilization properties”. *RBNZ Discussion Paper* G96-3.

**Burmeister, Olivier; Wall, Kent y Hamilton, James** (1986), “Estimation of unobserved expected monthly inflation using Kalman filtering”. *Journal of Business and Economics Statistics*, vol. 4, págs. 147-160.

**Chari, V.V., Christiano, Lawrence J. y Eichenbaum, Martin** (1996), “Expectation Traps and Discretion”, Department of Economics, Northwestern University.

**Christiano, Lawrence; Eichenbaum, Martin y Evans, Charles** (1998), “Monetary Policy Shocks: What have we learned and to what end?”. Por aparecer en el *Handbook of Macroeconomics*.

**Clarida, Richard; Galí, Jordi y Gertler, Mark** (1997), “Monetary policy rules in practice: some international evidence”, NBER Working Paper N° 6254.

**Clements, Michael y Hendry, David** (1998) “Forecasting Economic Time Series”, Cambridge University Press.

**Corbo, Vittorio** (1999) “Monetary policy in Latin America in the 90s”. Mimeo. Universidad Católica de Chile.

**Dorfman, J.H.** (1991), “Comment: A model specification test for state space models”. *Econometric Review*, vol. 10, págs. 67-73.



**Eichenbaum, Martín** (1997), "Some Thoughts on Practical Stabilization Policy". AEA Papers & Proceedings, American Economic Review, mayo de 1997.

**Fondo Monetario Internacional** (1999A), "IMF Conditionality in the context of inflation targeting: The case of Brazil". Monetary and Exchange Affairs Department and Western Hemisphere Department.

**Fondo Monetario Internacional** (1999B), "Inflation Targeting: Implications for IMF Conditionality". Policy Development and Review Department.

**Freeman, Richard y Willis, Jonathan** (1995), "Targeting inflation in the 1990s: Recent challenges", International Finance Discussion Papers No. 525, Board of Governors of the Federal Reserve System.

**Gordon, Robert** (1997), "The time-varying NAIRU and its implications for Economic Policy", *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 11, págs. 11-32.

**Hamilton, James** (1994), "Time Series Analysis", Princeton University Press.

**Hamilton, James** (1986), "A Standard Error for the Estimated State Vector of a State-Space Model", *Journal of Econometrics*, vol. 33, págs. 387-397.

**Hanson, Michael** (1998) "On the identification of monetary policy: the 'price puzzle' reconsidered". Mimeo.

**Havener, Arthur y Aoki, Masanao** (1991), "State space modeling of multiple time series". *Econometric Reviews*, vol. 10, No. 1, págs. 1-59.

**Jones, Larry & Manuelli, Rodolfo** (1999), Volatile policy and private information: The case of monetary policy". NBER Working Paper 7072.

**Kilian, Lutz y Chang, Pao-Li** (1998), "How Reliable are VAR Estimates of Responses to Monetary Policy Shocks?" Mimeo.

**Krolzig, Hans-Martin** (1998), "Markov-switching vector autoregressions". Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, No. 454, Springer Verlag.

**León Fernández, David** (1999), "La información contenida en los agregados monetarios en el Perú", Revista de Estudios Económicos No.5, BCRP.

**Leiderman, L. y Svensson, L.E.O.** (1995), "Inflation targets", CEPR.

**Luque, Javier y Perea, Hugo** (1995), "La emisión primaria y los mecanismos de transmisión de la política monetaria en el Perú". Mimeo, Trabajo presentado en el XV Encuentro de Economistas de la Gerencia de Estudios Económicos del BCRP.

**Norman, Alfred y Jung, Woo** (1980), "Target controllability". Review of Economic Studies, vol. 47, págs. 451-457.

**Ogata, K.** (1987), "Discrete-time control systems". Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall.

**Orphanides, Athanasios** (1998), "Monetary policy evaluation with noisy information". Division of Monetary Affairs, Board of Governors of the Federal Reserve System.

**Orphanides, Athanasios; Small, David; Wieland, Volker y Wilcox, David** (1997), "A quantitative exploration of the opportunistic approach to disinflation". Finance & Economics Discussion Series #36, June 1997. Division of Research & Statistics and Monetary Affairs, Federal Reserve Board.



**Orphanides, Athanasios y Van Norden, Simon** (1999A), “The reliability of output gap estimates in real time”. Division of Monetary Affairs, Board of Governors of the Federal Reserve System.

**Orphanides, Athanasios; Porter, Richard; Reifschneider, David; Tetlow, Robert y Finan, Frederico** (1999B), “Errors in the measurement of the output gap and the design of monetary policy”. Board of Governors of the Federal Reserve System.

**Pagan, A.R. y Robertson, J.C.** (1995), “Structural Models of the Liquidity Effect”. Mimeo.

**RBNZ Economics Department** (1997), “The Forecasting and Policy System: An Introduction”. *RBNZ Bulletin*, vol. 60, No.3.

**Rudebusch, Glenn** (1996) “Do Measures of Monetary Policy in a VAR Make Sense?”. *Temi di Discussione del Servizio Studi, Banca d'Italia*, No. 269.

**Staiger, Douglas; Stock, James y Watson, Mark** (1997A), “How Precise are Estimates of the Natural Rate of Unemployment?”. En: *Reducing Inflation: Motivation and Strategy*, Christina Romer & David Romer Editores. Vol. 30 de *Studies in Business Cycles*, NBER.

**Staiger, Douglas; Stock, James y Watson, Mark** (1997B), “The NAIRU, unemployment and monetary policy”. *Journal of Economic Perspectives*, vol. 11, págs. 33-50.

**Rudebusch, Glenn** (1998), “Do measures of monetary policy in a VAR make sense?”. *International Economic Review*, vol. 39(4), págs. 907-941.

**Rudebusch, Glenn y Svensson, L.E.O.** (1998), “Policy Rules for Inflation Targeting”. Documento presentado en la *NBER Conference on Monetary Policy Rules* (enero de 1998) y en la *FRBSF-CEPR-Stanford Conference on Central Bank Inflation Targeting* (marzo de 1998).

**Sobel, J.** (1983), “A theory of credibility”. UCSD Discussion Paper 83-21, University of California, San Diego.

**Svensson, L.E.O.** (1997A), “Inflation forecasts targeting: Implementing and monitoring inflation targets”. *European Economic Review*, vol. 41, págs. 111-1146.

**Svensson, L.E.O.** (1997B), “Inflation targeting: some extensions”, NBER Working Paper No. 5962.

**Svensson, L.E.O.** (1998), “Open economy inflation targeting”. Mimeo. Stockholm University.

**Taylor, John** (Ed., 1999A), “Monetary Policy Rules”. Chicago.

**Taylor, John** (Ed., 1999B), “The monetary transmission mechanism and the evaluation of monetary policy rules”. Documento presentado en la Tercera Conferencia Anual del Banco Central de Chile, Santiago de Chile.

**Vegh, Carlos** (1998), “Monetary policy, interest rate rules and inflation targeting: some basic equivalences”. Documentos de Trabajo del Banco Central de Chile, No. 32, Abril.

**Walsh, Carl** (1998), “Monetary Theory and Policy”. MIT Press.

**Woodford, M.** (1994). “Nonstandard Indicators for Monetary Policy: Can Their Usefulness Be Judged from Forecasting Regressions?”. En: *Monetary Policy*. N.G. Mankiw (ed). Chicago: University of Chicago Press.



## ANEXOS

## Cuadro 1

## LISTA DE VARIABLES

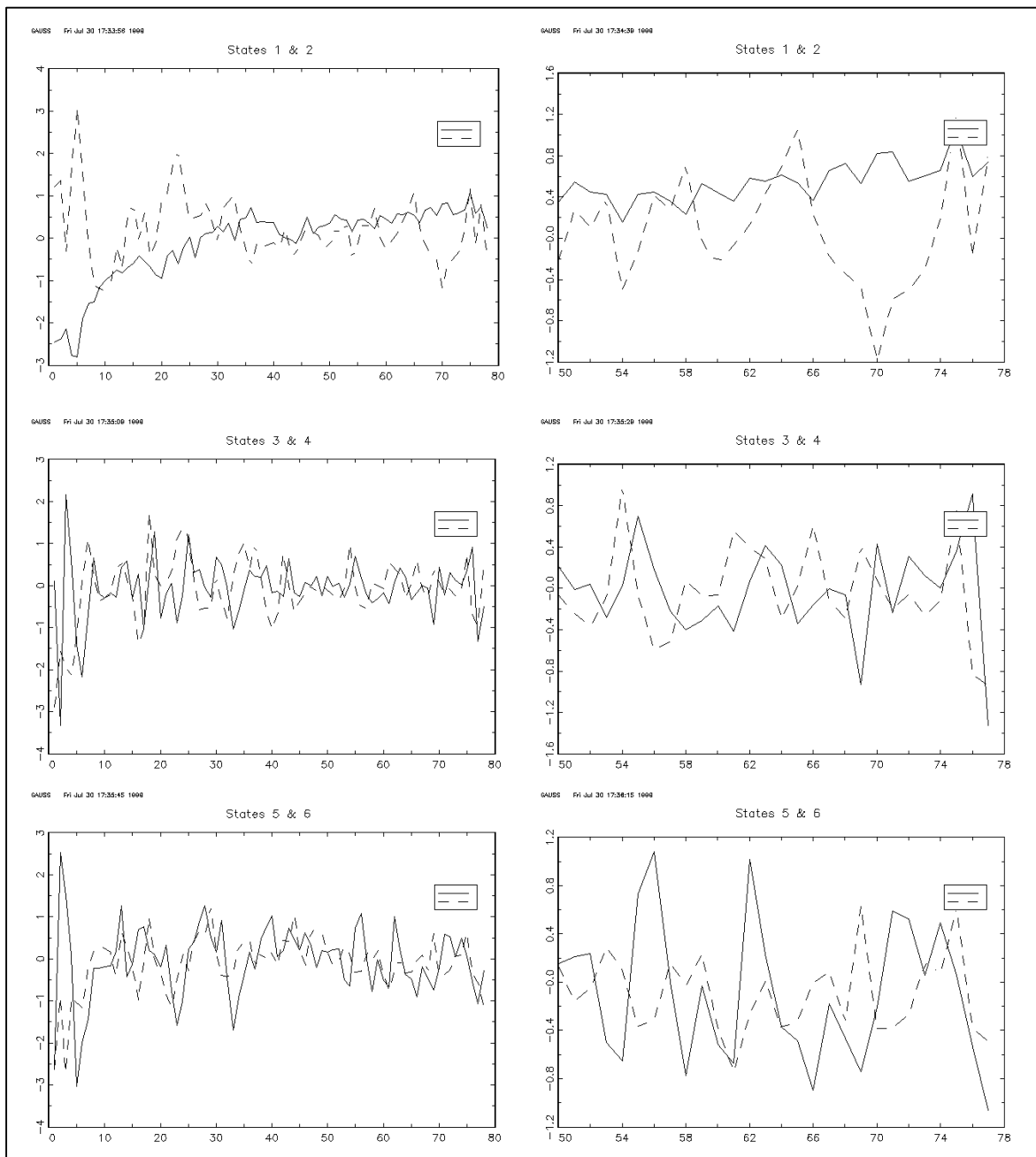
Memo	Descripción
<b>PII</b>	Inflación mensual anualizada (Índice de Precios al Consumidor de Lima Metropolitana)
<b>DEVA1</b>	Devaluación nominal mensual anualizada (t.cambio promedio bancario)
<b>PBI90 *</b>	Tasa de Crecimiento mensual anualizada del PBI (Base Agosto 1990)
<b>IPM90 *</b>	Tasa de Crecimiento mensual anualizada del Índice de Producción Manufacturera (Base Agosto 1990)
<b>PBIP79</b>	Tasa de Crecimiento mensual anualizada del PBI Primario (Base Agosto 1990)
<b>PBINP79</b>	Tasa de Crecimiento mensual anualizada del PBI No Primario (Base Agosto 1990)
<b>IPM79</b>	Tasa de Crecimiento últimos 12 meses de la Producción Manufacturera (Base 1979)
<b>PBIAP90</b>	Tasa de Crecimiento mensual anualizada de la Producción agrícola (Base Agosto 1990)
<b>DEMI79 *</b>	Tasa de Crecimiento mensual anualizada de la Demanda Interna (Base 1979)
<b>DEMI12</b>	Tasa de Crecimiento últimos 12 meses de la Demanda Interna (Base 1970)
<b>TCIR</b>	Tasa de Crecimiento mensual anualizada del Circulante Promedio
<b>CIR</b>	Primera diferencia del Circulante Promedio
<b>TODME\$</b>	Tasa de Crecimiento mensual anualizada del Cuasidinero en ME (en millones de US\$)
<b>QDME</b>	Primera Diferencia del Cuasidinero en ME (en millones de Soles)
<b>QDME\$</b>	Primera Diferencia del Cuasidinero en ME (en millones de US\$)
<b>TQDMN</b>	Tasa de Crecimiento mensual anualizada del Cuasidinero en MN (en millones de Soles)
<b>TOSEMNI</b>	Tasa de Crecimiento mensual anualizada del Total de Obligaciones sujetas a Encaje en MN (en millones de Soles)
<b>TOSEME</b>	Tasa de Crecimiento mensual anualizada del Total de Obligaciones sujetas a Encaje en ME (en millones de US\$)
<b>EXMNT</b>	Excedente de Encajes en MN como porcentaje del TOSE
<b>EXTDIV</b>	Excedente de Encajes en MN y en ME (divisia) en millones de soles
<b>LIQDIV</b>	Primera diferencia de la Liquidez total MN + ME (divisia) en millones de soles
<b>TIPMN2</b>	Tasa de Interés Pasiva Promedio en MN (primera diferencia)
<b>LIBOR3</b>	Tasa LIBOR a 3 meses
<b>TSIRN1</b>	Diferencial de tasas de Interés Ahorros en MN versus TIPMN
<b>TSIRN2</b>	Diferencial de tasas de Interés Depósitos a Plazo en MN versus TIPMN
<b>FCPRME\$</b>	Tasa de Crecimiento mensual anualizada del Crédito al Sector Privado en ME (en millones de US\$)
<b>TEMP</b>	Tasa de Crecimiento mensual anualizada de la Emisión Primaria Promedio en millones de soles
<b>EMIP</b>	Primera diferencia de la Emisión Primaria Promedio en millones de soles
<b>COMESA</b>	Compras Netas de Moneda extranjera del Banco Central en Mesa de Negociación
<b>TCBCRN</b>	Tasa de Interés Promedio de los Certificados del BCRP (CDBCRP) (para el período previo al uso de los CDBCRP, se usó la tasa de los pagarés del BCRP).

NOTA: El conjunto de información de donde se ensayaron las diferentes especificaciones abarcó más de 150 variables, de las cuales aquí se muestra aquellas con los resultados más relevantes.



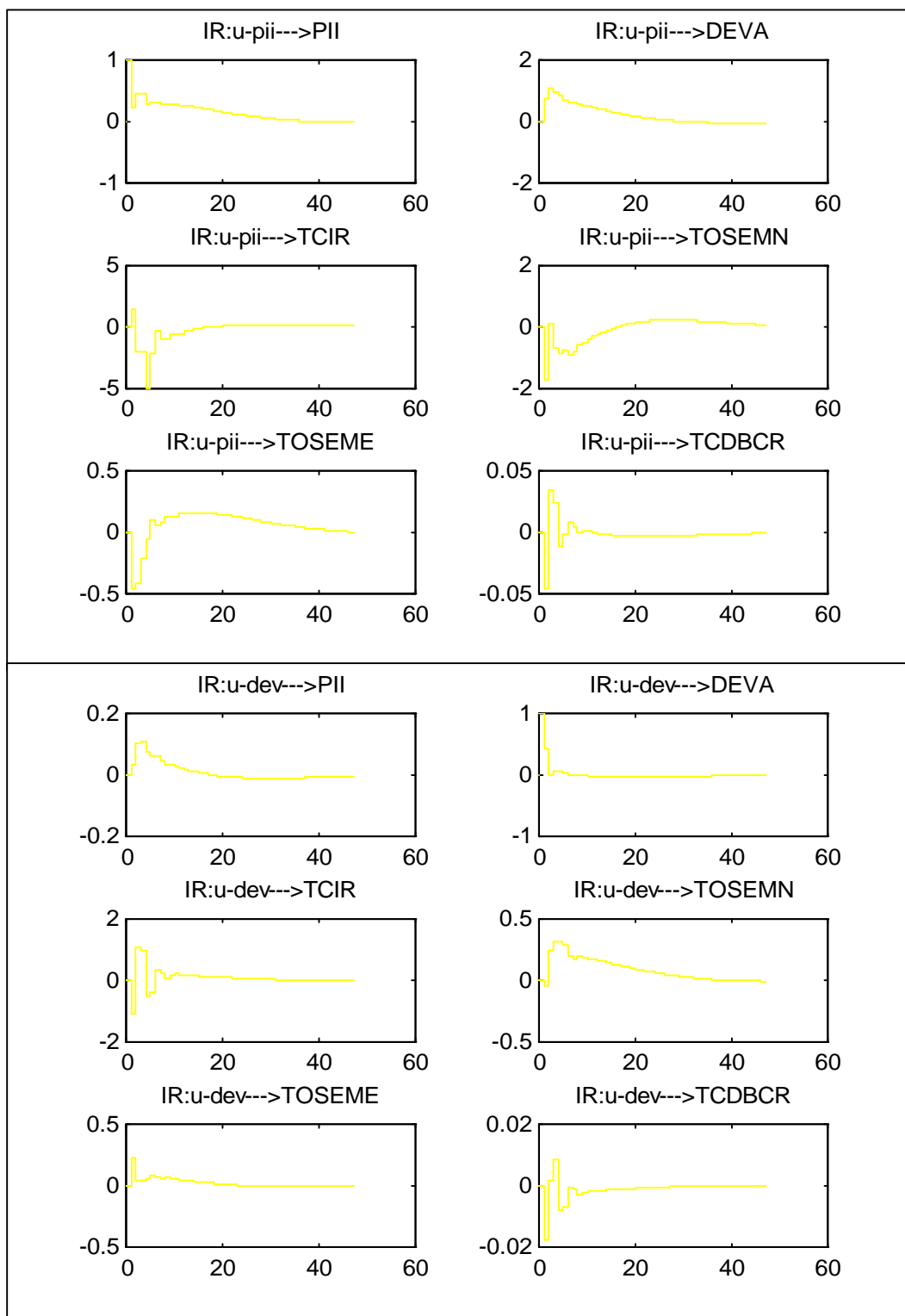
Gráfico 1

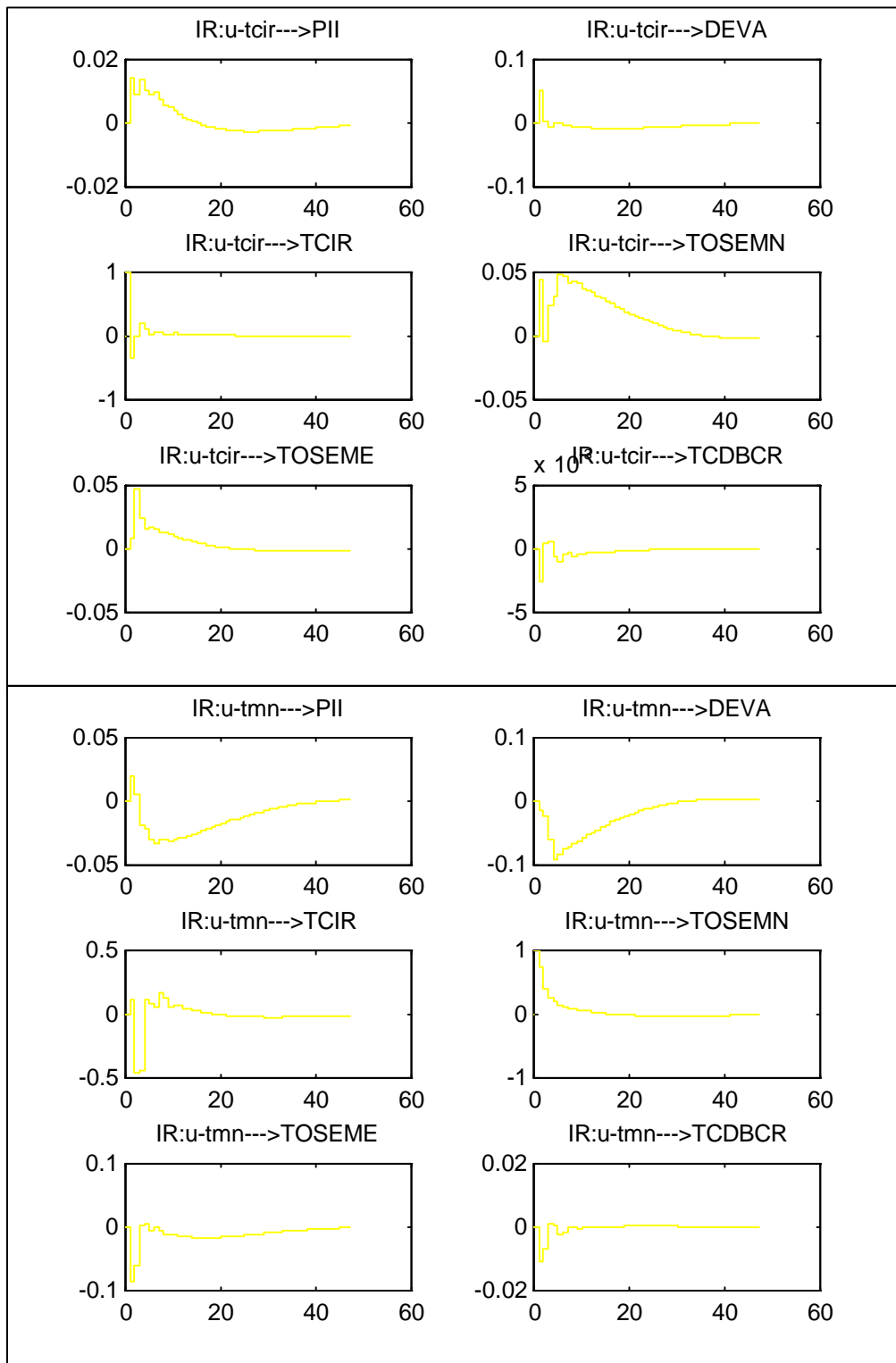
VARIABLES DE ESTADO (POR PARES)





**Gráfico 2A**  
**RESPUESTAS TRANSITORIAS**







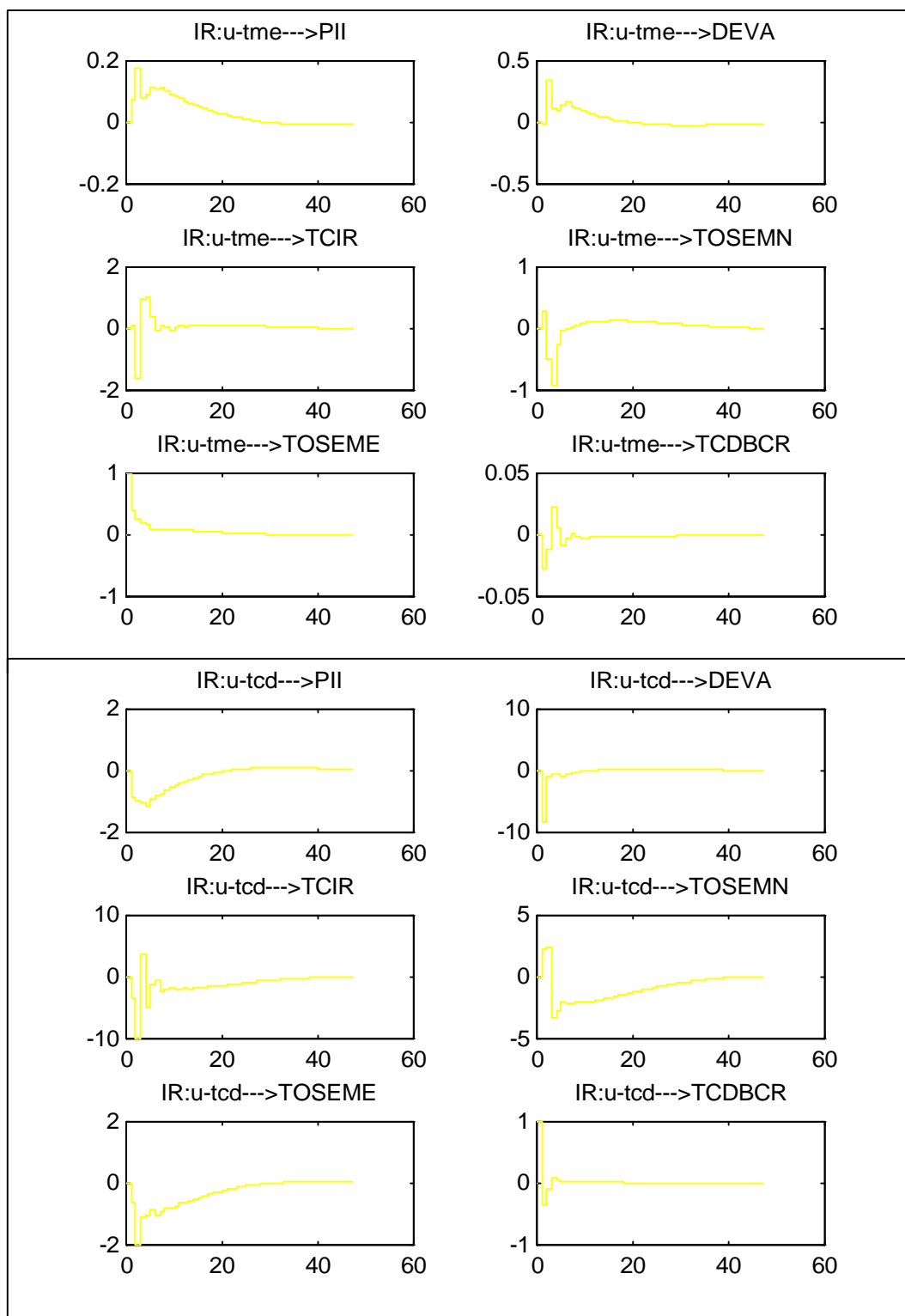
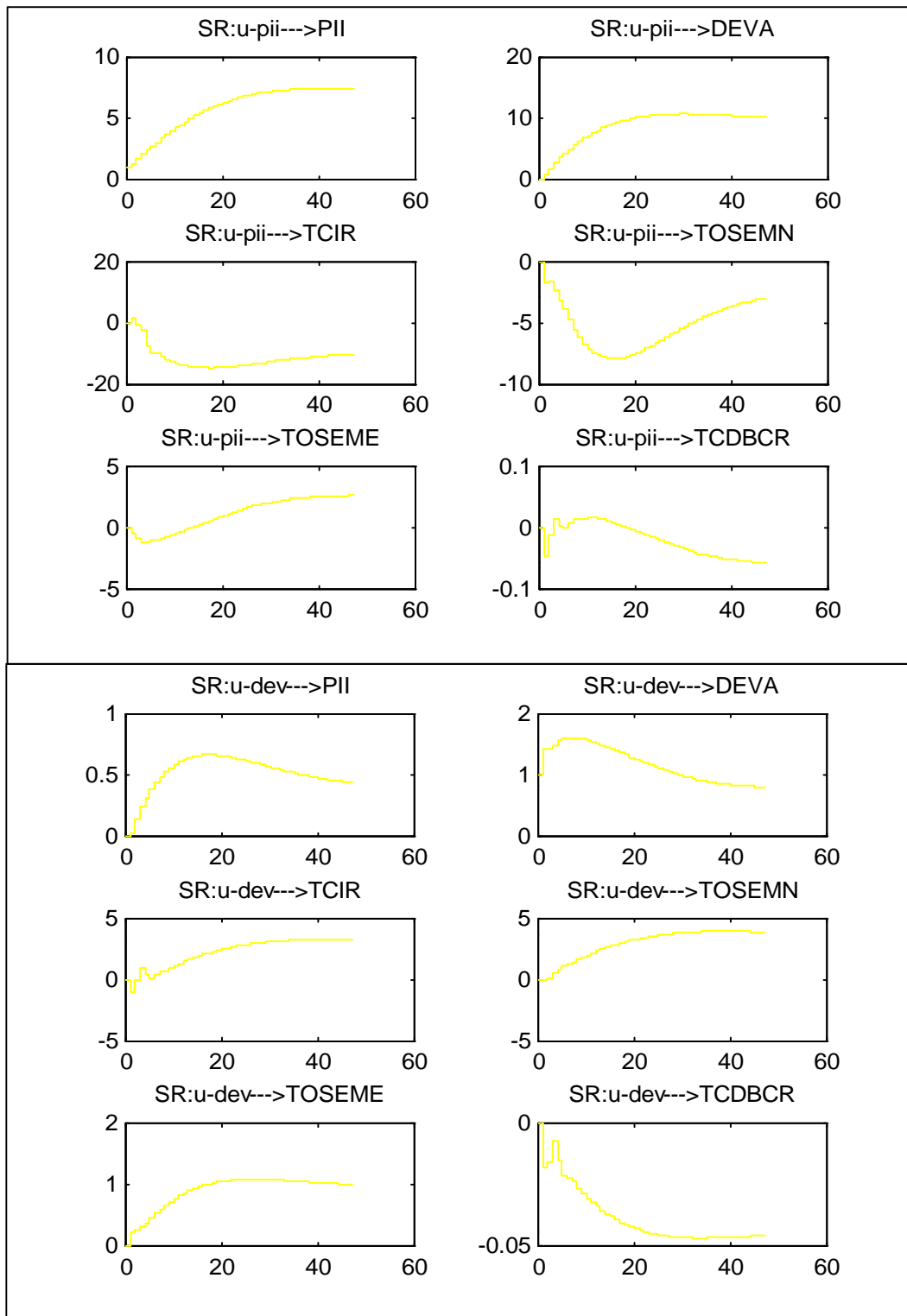
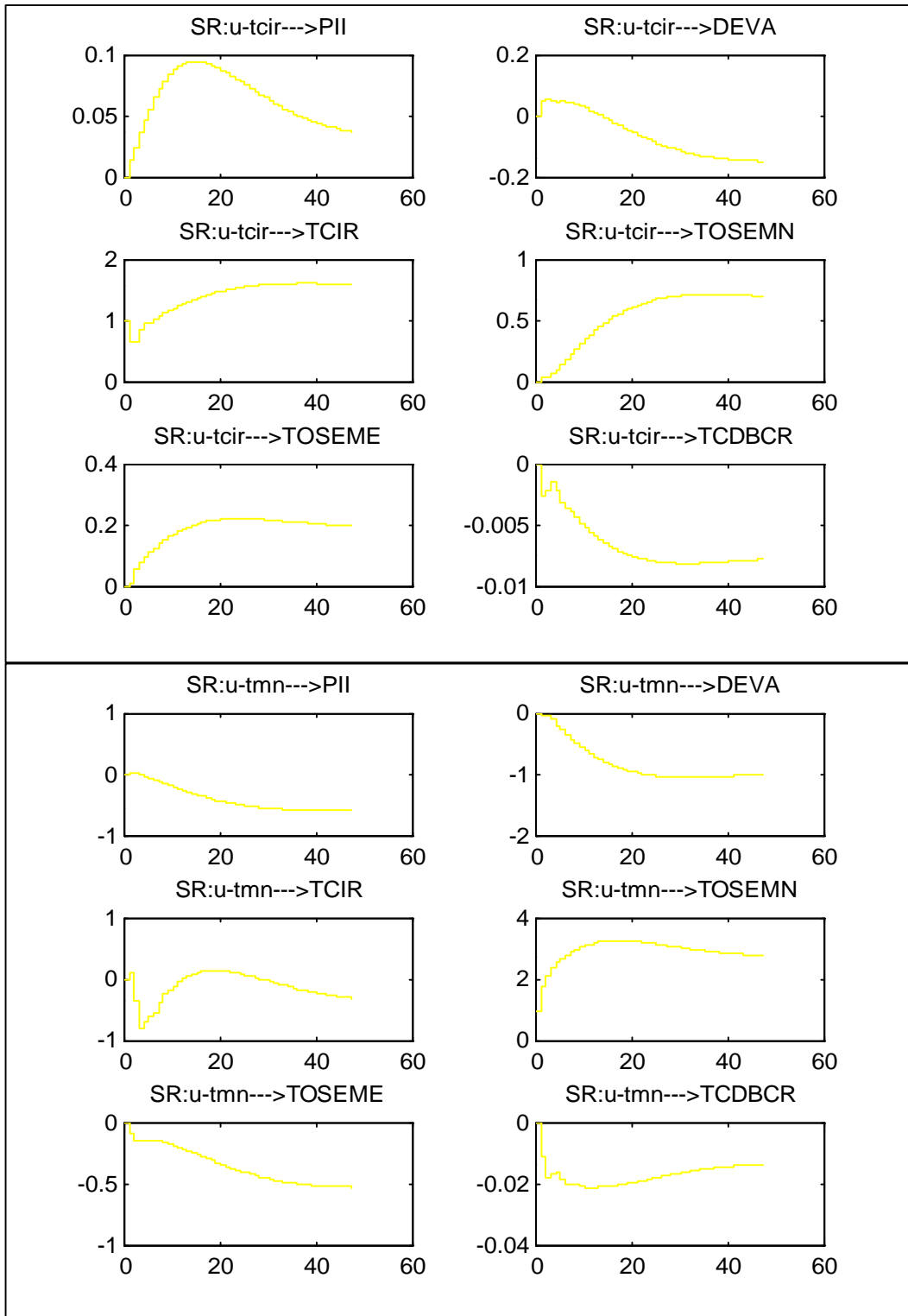


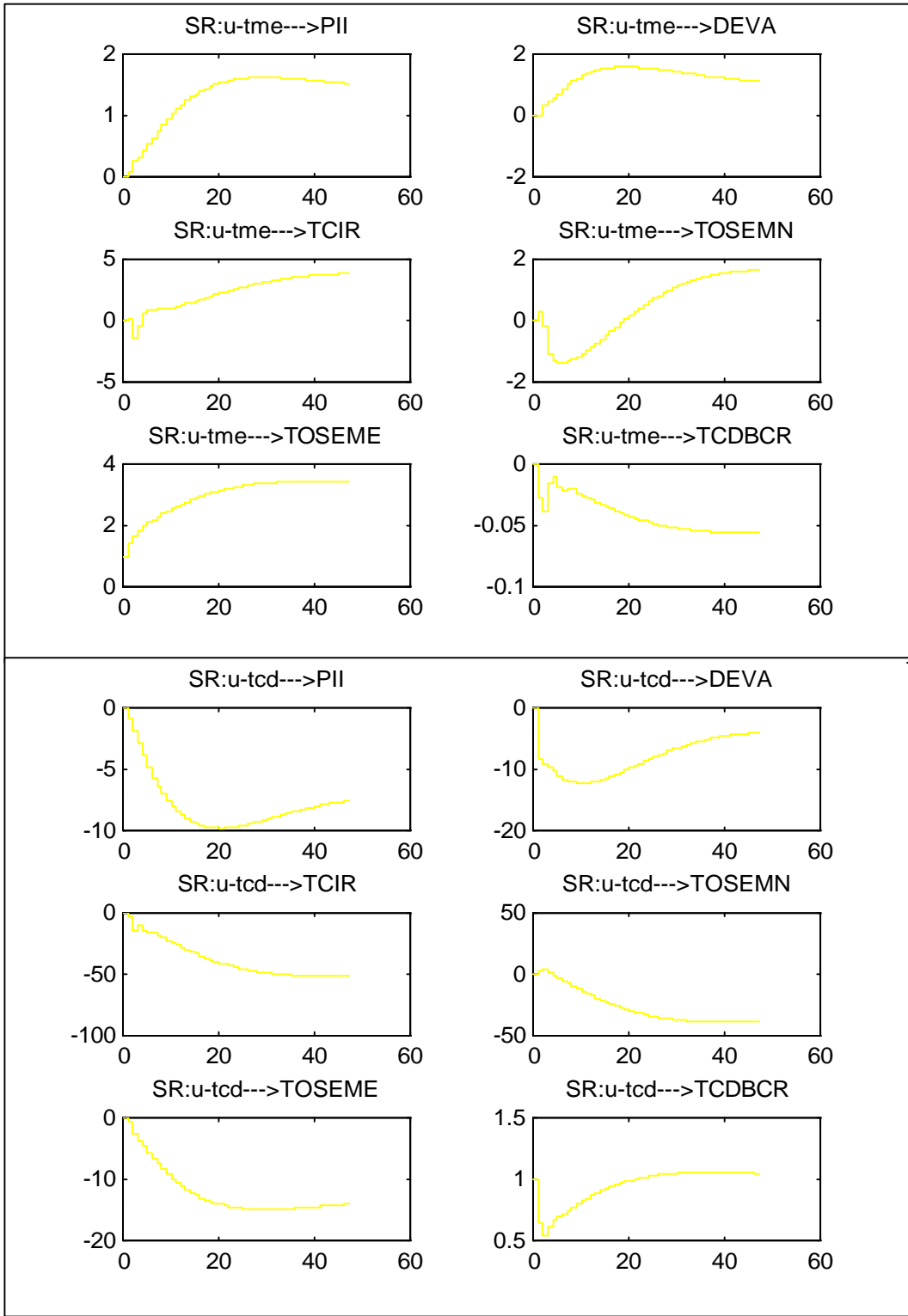


Gráfico 2B

RESPUESTAS PERMANENTES

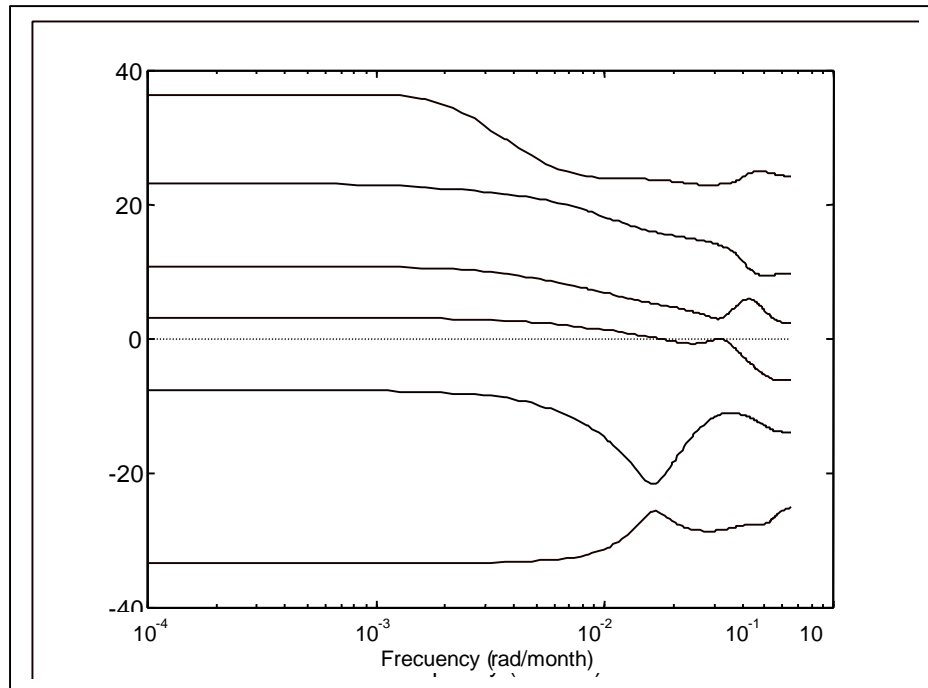








**Gráfico 3**  
**Singular Values**



**Gráfico 4**

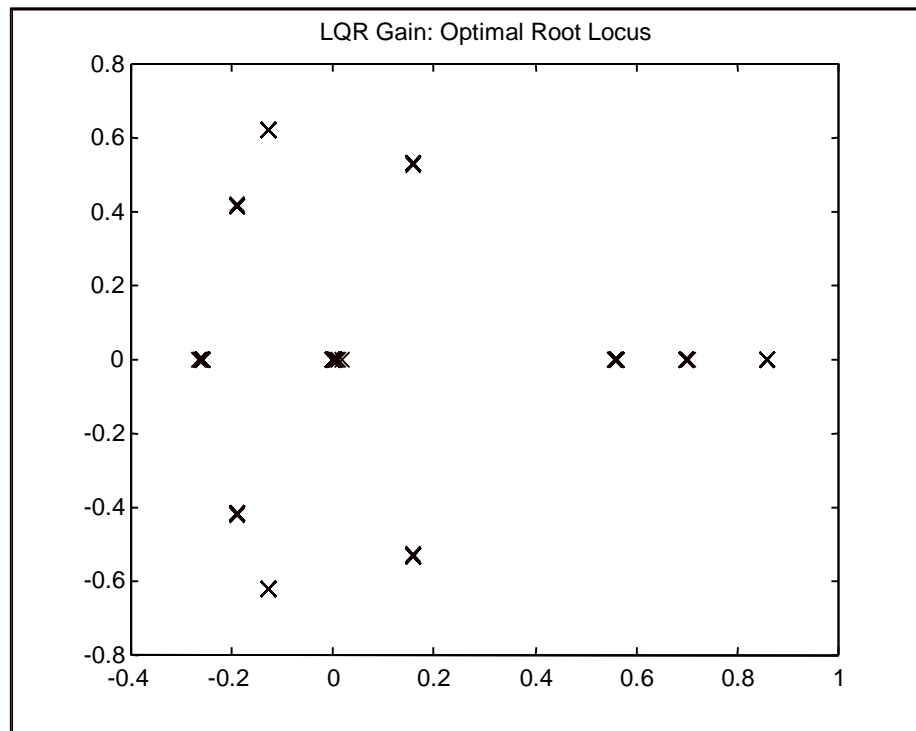




Gráfico 5A

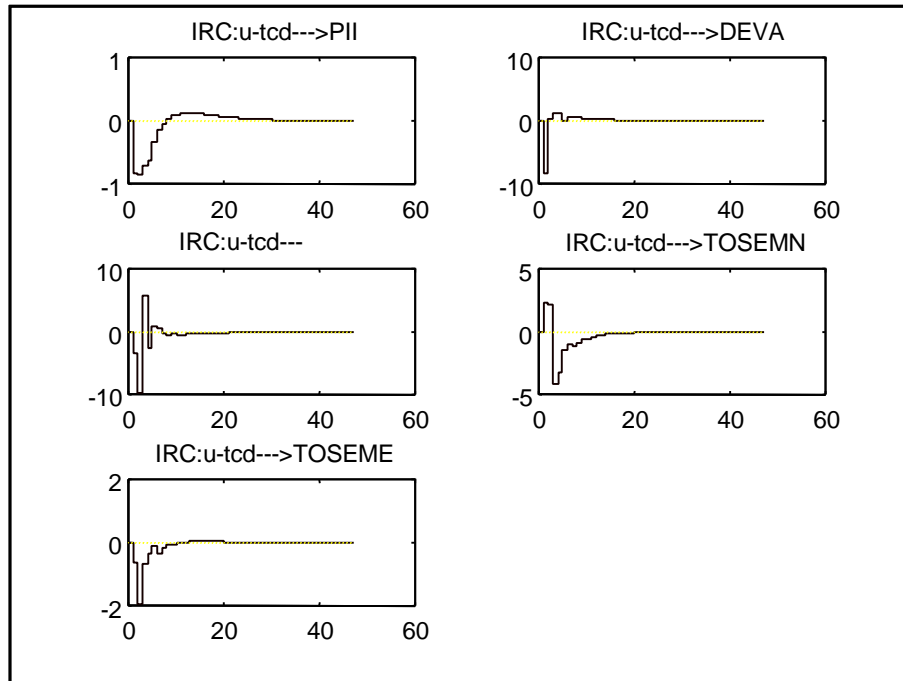


Gráfico 5B

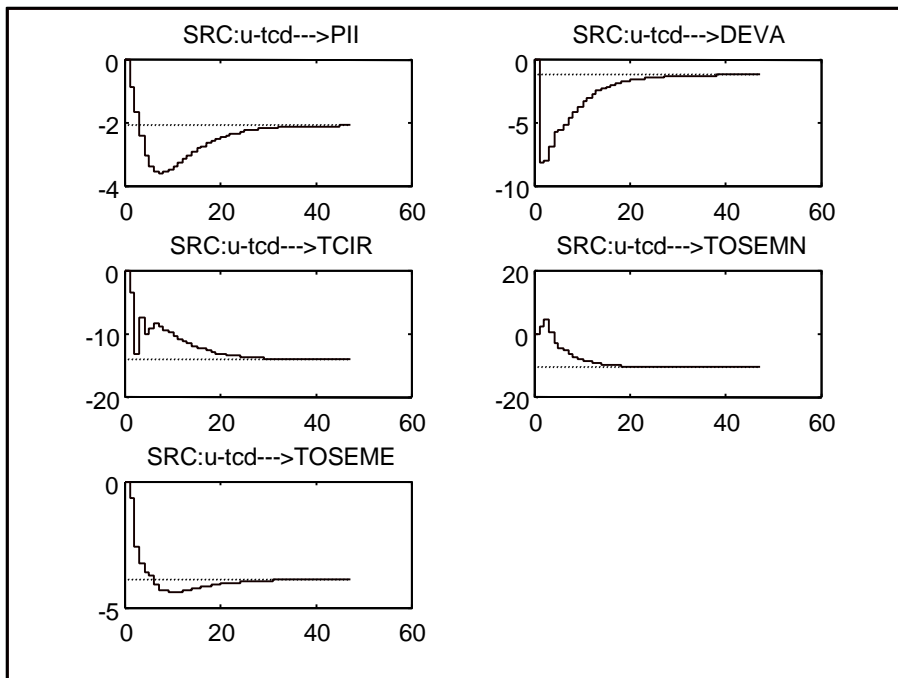




Gráfico 6

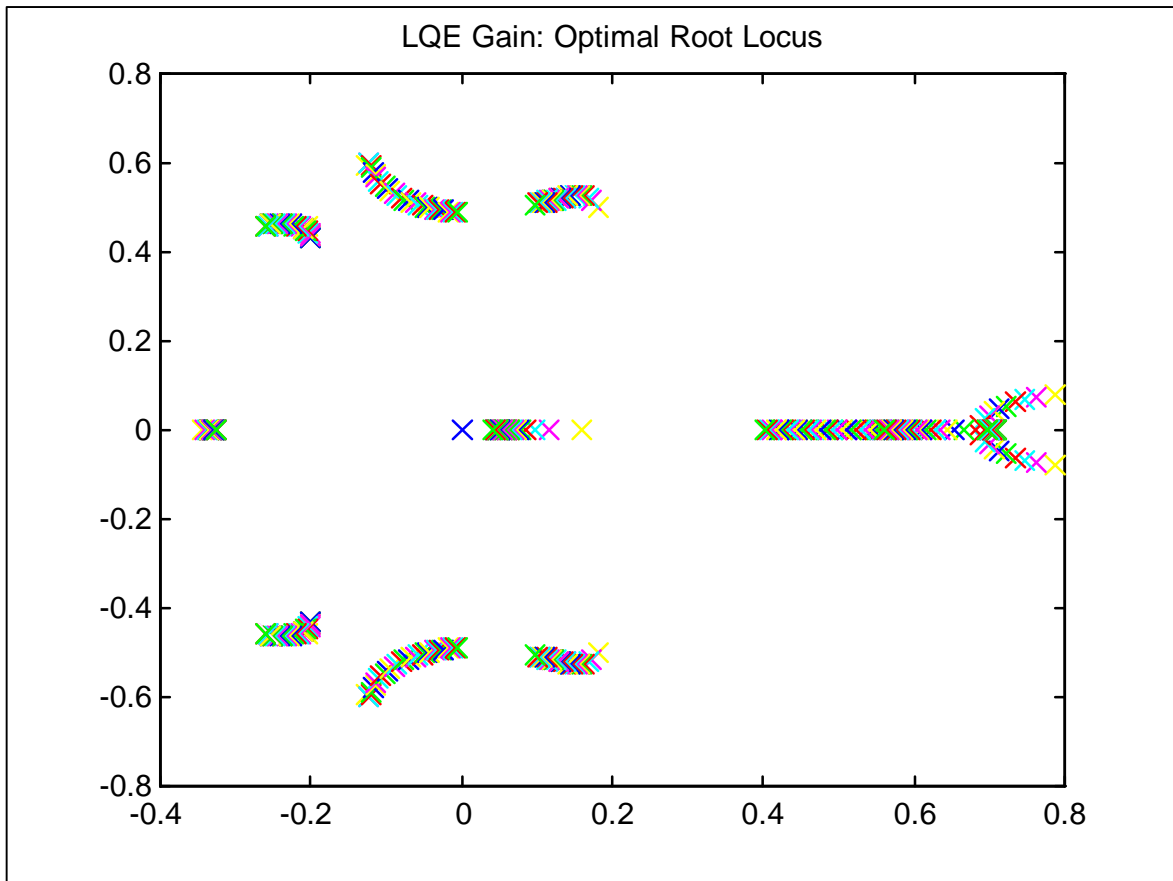
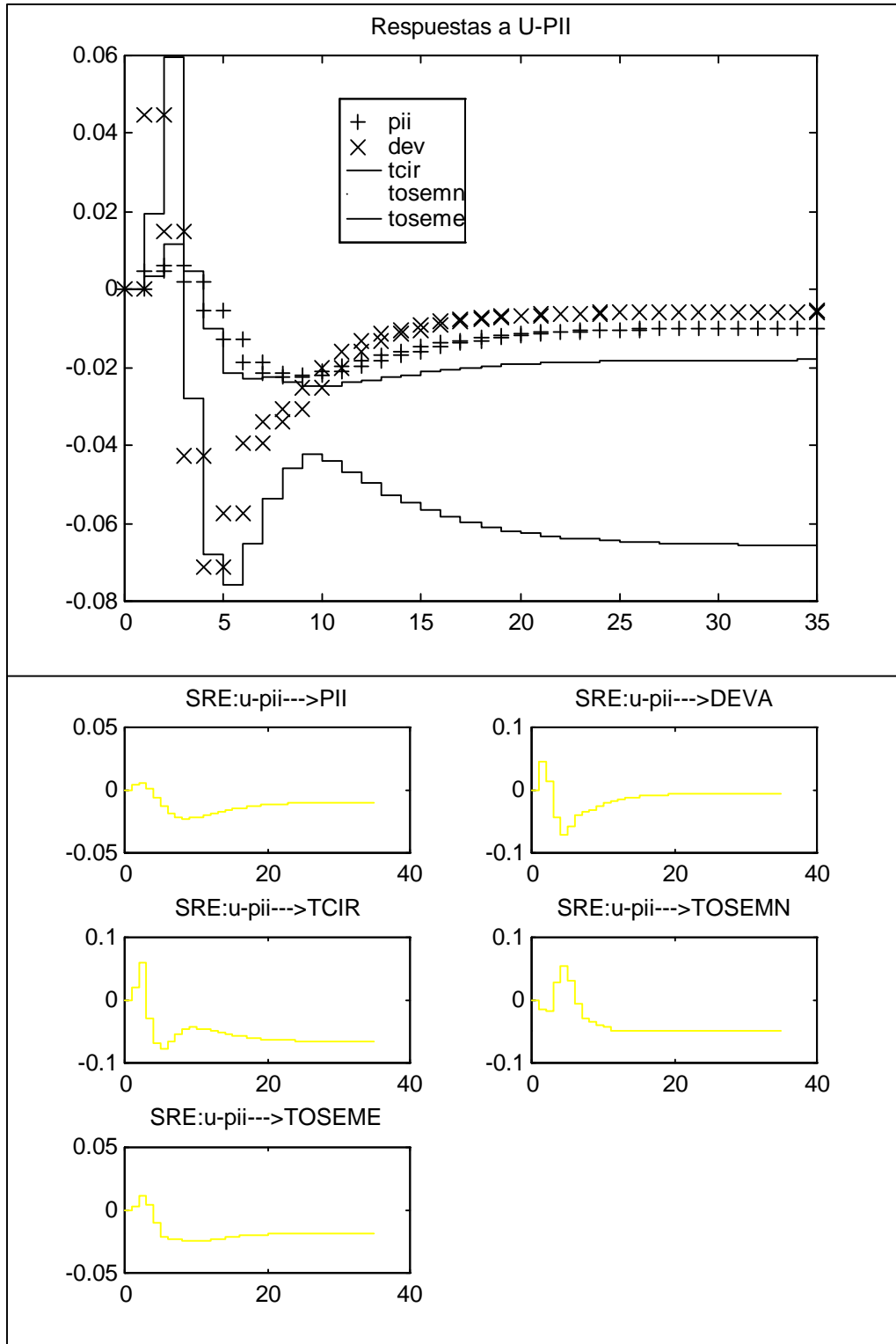
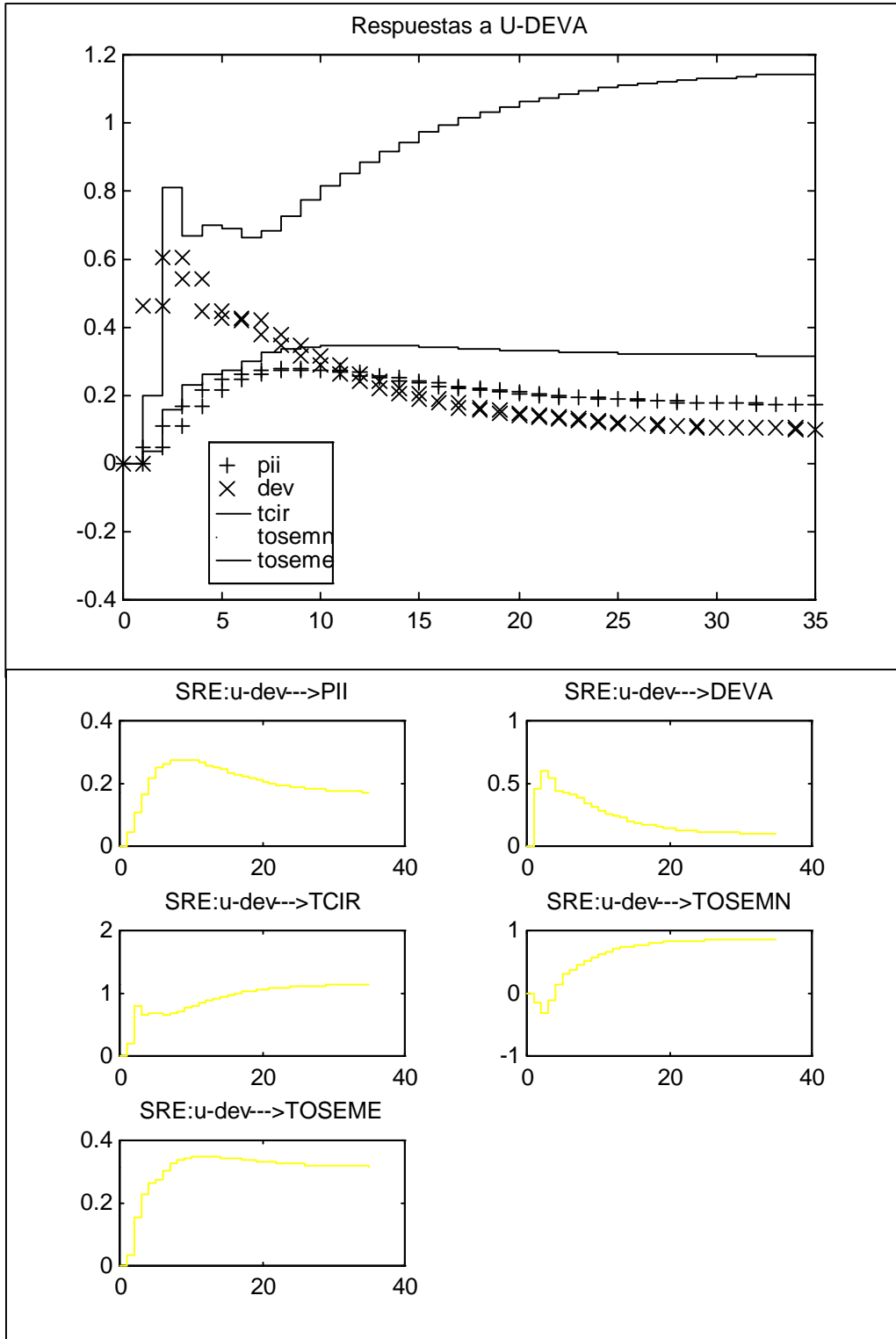


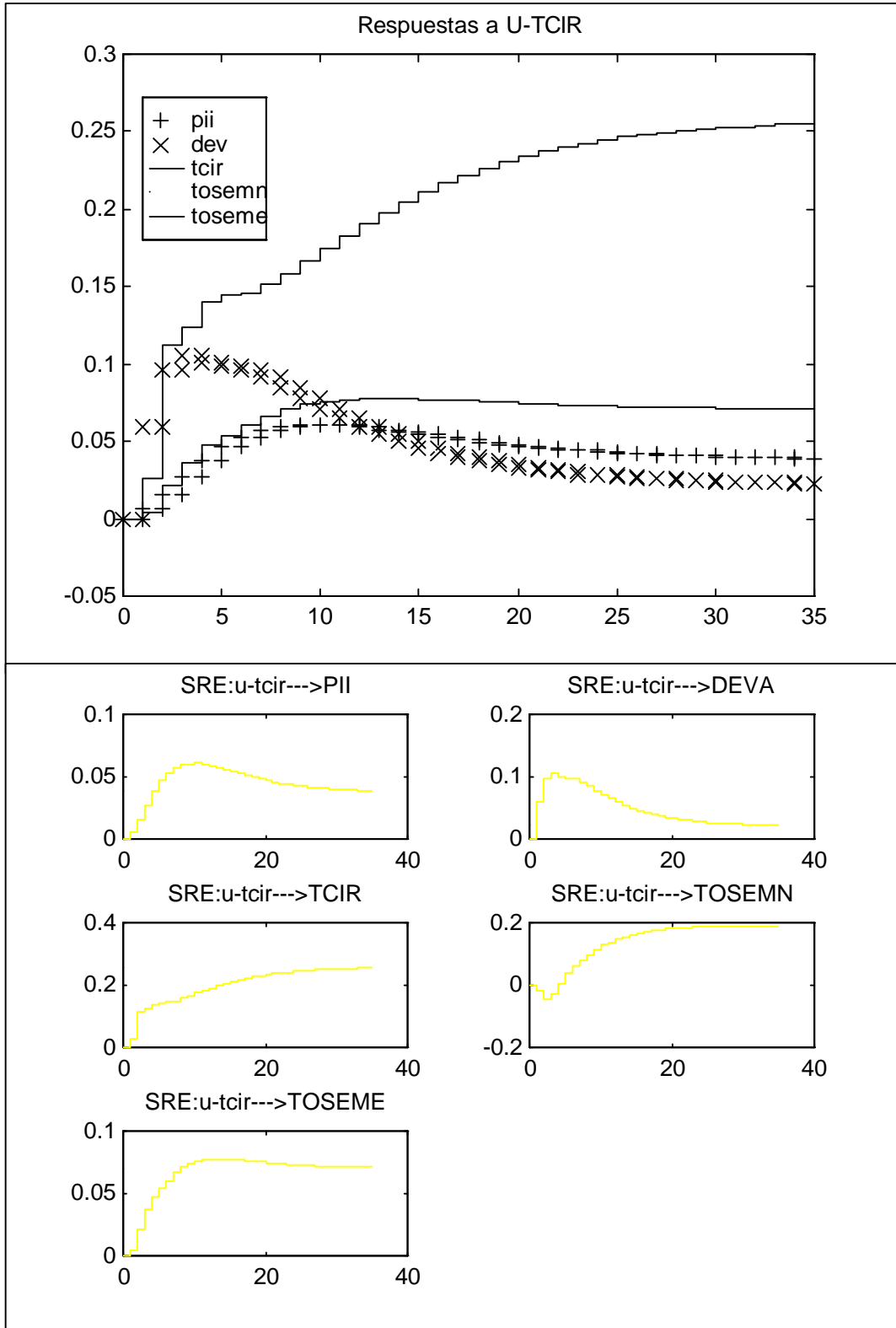


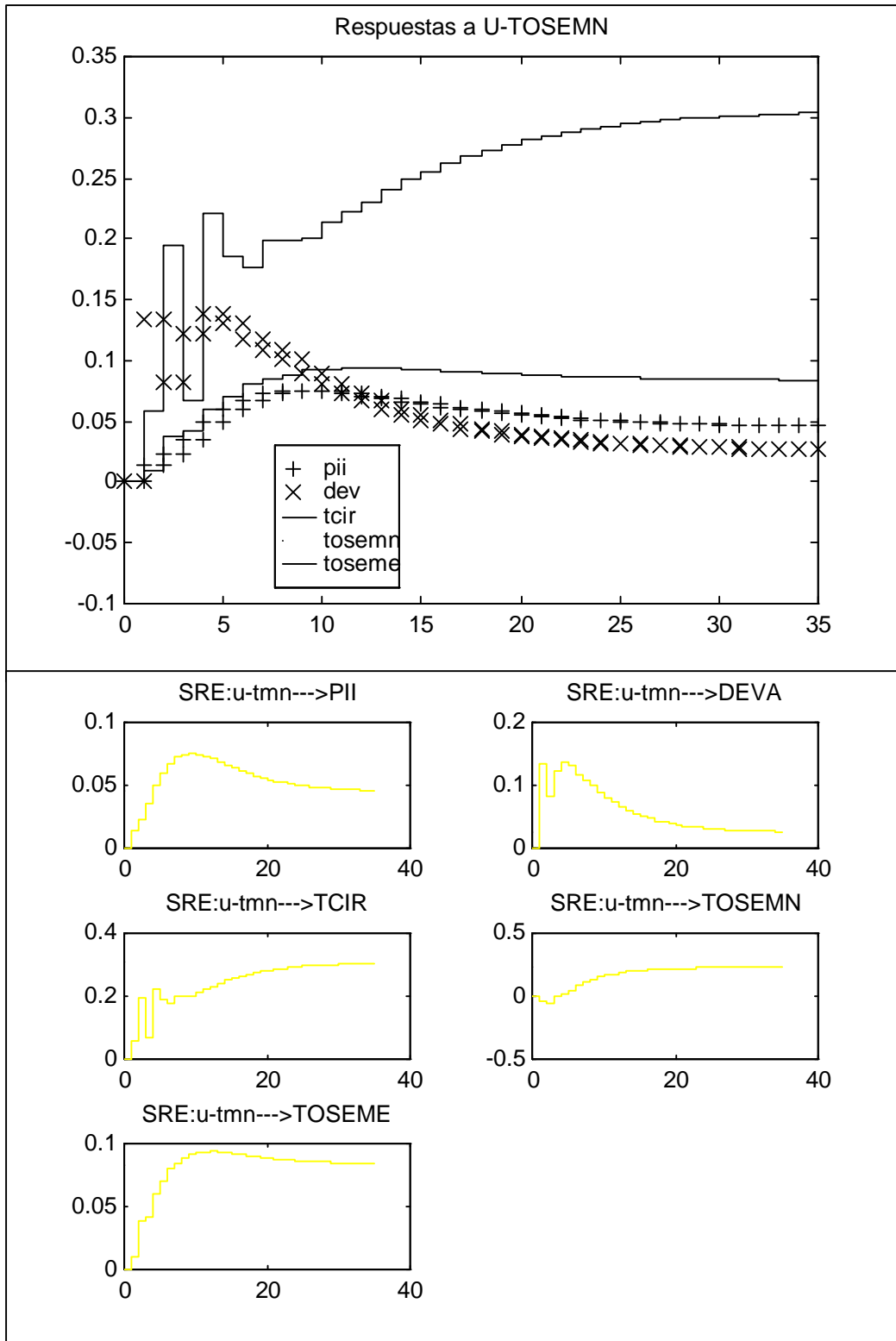
Gráfico 7

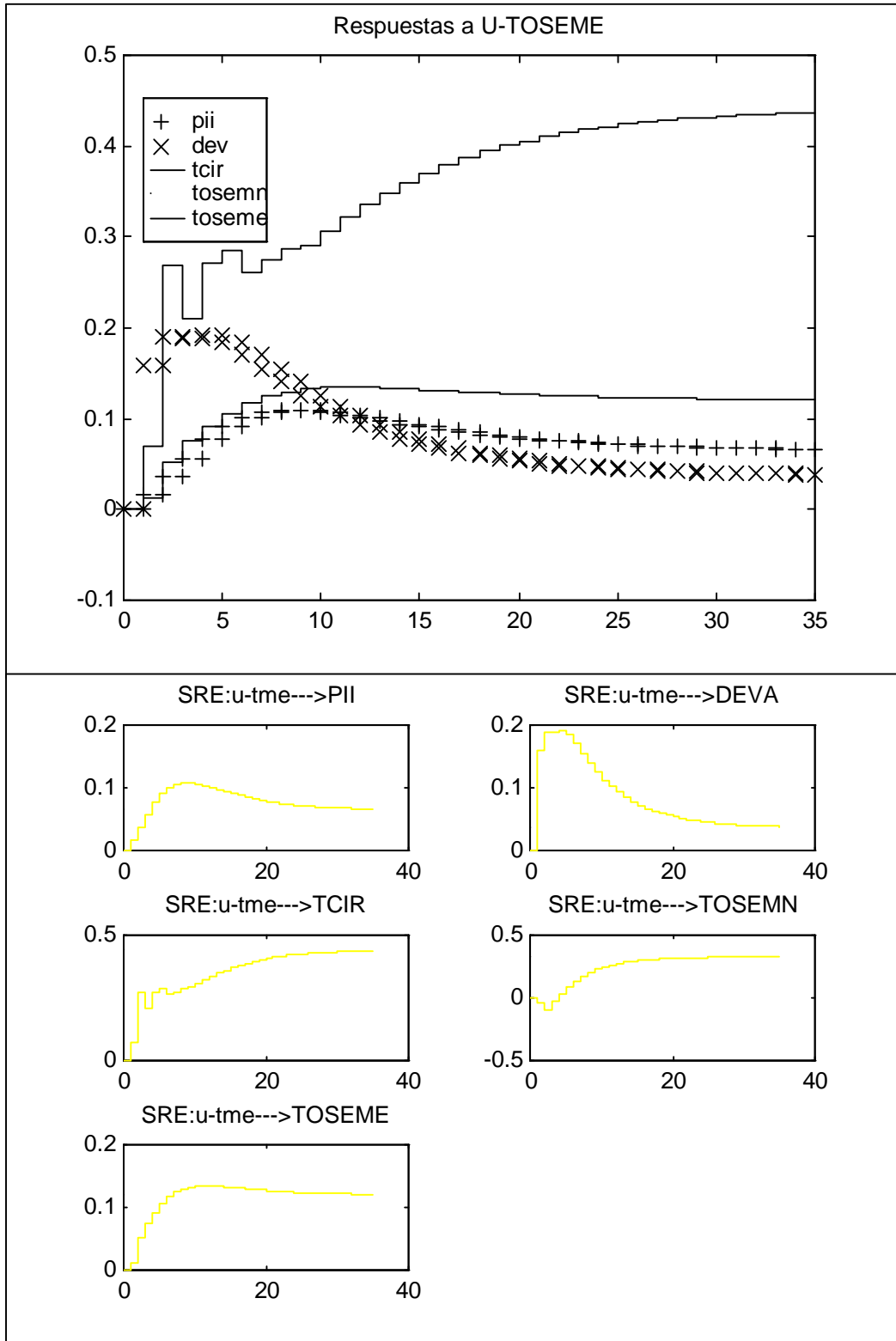














## Apéndice A: Modelo General de Espacio Estado

En este apéndice se describirá un modelo general de espacio de estados<sup>32</sup>, compuesto por la *ecuación de observaciones* en función de los estados:

$$y_t = Z_t \mathbf{a}_t + d_t + \mathbf{e}_t$$

donde  $y_t$  es el vector  $[N \times 1]$  con las observaciones de  $N$  variables en el momento  $t$ ,  $d_t$  es un vector  $[N \times 1]$  y  $\mathbf{e}_t$  es un vector  $[N \times 1]$  de procesos estocásticos del tipo ruido blanco. Las variables observables  $y_t$  están relacionadas con  $m$  variables de estado no observables en el vector  $\mathbf{a}_t$   $[m \times 1]$  mediante la matriz  $Z_t$  con dimensiones  $[N \times m]$ . Estas variables de estado se generan por un proceso markoviano de primer orden

$$\mathbf{a}_t = T_t \mathbf{a}_{t-1} + c_t + R_t \mathbf{h}_t$$

que es usualmente llamada *ecuación de transición*, donde  $c_t$  es un vector  $[m \times 1]$  y  $\mathbf{h}_t$  es un vector  $[m \times 1]$  de procesos estocásticos con una distribución normal. Para completar este modelo general, se requiere definir los supuestos respecto a las distribuciones de  $\mathbf{e}_t$  y de  $\mathbf{h}_t$ , así como al vector inicial de variables de estado,  $\mathbf{a}_0$ . En primer lugar, los supuestos sobre las distribuciones de las perturbaciones son

$$E[\mathbf{e}_t] = 0; E[\mathbf{e}_t \mathbf{e}_t^T] = H_t$$

$$E[\mathbf{h}_t] = 0; E[\mathbf{h}_t \mathbf{h}_t^T] = Q_t$$

mientras que si ambos procesos están contemporáneamente correlacionados, se tiene

$$E[\mathbf{h}_t \mathbf{e}_s^T] = \begin{cases} G_t & (s = t) \\ 0 & (s \neq t) \end{cases}$$

En segundo lugar, la distribución del vector inicial de estados obedece a

$$E(\mathbf{a}_0) = \mathbf{a}_0; E(\mathbf{a}_0 \mathbf{a}_0^T) = P_0$$

$$E[\mathbf{e}_t \mathbf{a}_0^T] = E[\mathbf{h}_t \mathbf{a}_0^T] = 0$$

Finalmente, se asumirá que tanto las perturbaciones como el vector inicial de variables de estado se distribuyen normalmente, por lo que la ausencia de correlación contemporánea implica independencia. Cabe mencionar que la ecuación de transición de estados también suele expresarse con un adelanto,

$$\mathbf{a}_{t+1} = T_t \mathbf{a}_t + c_t + R_t \mathbf{h}_t$$

y la importancia de este cambio es nula si se tiene un sistema con errores no correlacionados,  $G=0$  (independientes bajo normalidad). En caso contrario, ver Apéndice C<sup>33</sup>.

## Apéndice B: Algoritmo de Kalman

El filtro de Kalman es un algoritmo recursivo para calcular los estimadores del vector de estados  $\mathbf{a}_t$ ,  $\hat{\mathbf{a}}_t$ , en cada periodo  $t$ , considerando la información disponible en el periodo  $t$ ,  $O_t = \{y_t, y_{t-1}, y_{t-2}, y_{t-3}, \dots\}$ , estimadores que son óptimos en el sentido de que minimizan el error mínimo cuadrático, MSE. Bajo el supuesto de que las perturbaciones y el vector inicial de estados se distribuyen normalmente, los estimadores óptimos del algoritmo de Kalman  $\hat{\mathbf{a}}_t$   $\{t=1, 2, \dots, T\}$  son, además, las medias condicionales del vector de estados,  $\mathbf{a}_t$ .

<sup>32</sup> A través de los apéndices se sigue la notación de Harvey(1990), capítulo 3.

<sup>33</sup> En general, apreciaremos que la interpretación de los estimadores de las variables de estado e incluso el mismo algoritmo de Kalman varían dependiendo de estos supuestos y de la versión de la ecuación de transición utilizada.



### Derivación $G_t=0$ : perturbaciones $e_t$ y $?_t$ son independientes

Como mencionamos, bajo normalidad, el vector inicial de estados  $a_0$  tiene una distribución normal multivariada con media  $a_0$  y con matriz de covariancias  $P_0$ , mientras que los vectores de perturbaciones  $e_t$  y  $?_t$  también tienen sendas distribuciones normales multivariadas para  $t=1,2,\dots,T$  y ambos se distribuyen independientemente del vector inicial de estados  $a_0$ . En esta primera derivación y para fines didácticos, modificaremos el supuesto de independencia de los vectores de perturbaciones  $e_t$  y  $?_t$ , es decir, y supondremos que son independientes ( $G_t=0$ ).

Dado el vector de estados en  $t=1$ ,  $a_1=T_1a_0 + c_1 + R_1?_1$ , su media condicionada a la información en el periodo  $t$  está dada por  $E[a_1/O_0] = T_1E[a_0/O_0] + c_1 + R_1E[?_1/O_0]$  o, usando una notación más simple, por

$$a_{1/0} = T_1a_0 + c_1$$

Por su parte, su varianza estaría dada por  $E[(a_1 - a_{1/0})(a_1 - a_{1/0})' / O_0] = E[(T_1(a_0 - a_0) + R_1?_1)(T_1(a_0 - a_0) + R_1?_1)' / O_0] = T_1E[(a_0 - a_0)(a_0 - a_0)' / O_0]T_1' + 2T_1E[(a_0 - a_0)?_1' / O_0]R_1' + R_1E[?_1?_1' / O_0]R_1'$ , que se expresa en la notación simple como

$$P_{1/0} = T_1P_0T_1' + R_1Q_1R_1'$$

Estas dos ecuaciones se denominan *ecuaciones de predicción*. Dada la ocurrencia de  $y_1$ , ahora nos interesa caracterizar la distribución de  $a_1$  condicionada a  $y_1$ , para lo cual podemos re-escribir la ecuación de observaciones junto con una identidad trivial

$$\begin{aligned} a_1 &= a_{1/0} + (a_1 - a_{1/0}) \\ y_1 &= Z_1a_{1/0} + d_1 + Z_1(a_1 - a_{1/0}) + e_1 \end{aligned}$$

de donde, dado que  $a_1=T_1a_0 + c_1 + R_1?_1$  y  $a_{1/0}=T_1a_0+c_1$ , se obtiene

$$a_1 - a_{1/0} = T_1(a_0 - a_0) + R_1h_1$$

y el vector  $[a_1' \ y_1']'$  tiene una distribución normal multivariada con media y varianza

$$\begin{aligned} E \begin{bmatrix} a_1 \\ y_1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} a_{1/0} \\ Z_1a_{1/0} + d_1 \end{bmatrix} \\ E \left[ \begin{pmatrix} a_1 - a_{1/0} \\ Z_1(a_1 - a_{1/0}) + e_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 - a_{1/0} \\ Z_1(a_1 - a_{1/0}) + e_1 \end{pmatrix}' \right] &= \begin{bmatrix} P_{1/0} & & \\ & Z_1P_{1/0} & \\ & & P_{1/0}Z_1' + H_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_1P_0T_1' + R_1Q_1R_1' & & \\ & Z_1P_{1/0} & \\ & & P_{1/0}Z_1' + H_1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

y aplicando el lema de las distribuciones normales, se obtiene que la distribución de  $a_1$  condicionada a un valor particular de  $y_1$  es normal con media y varianza

$$a_1 = a_{1/0} + P_{1/0}Z_1'F_1^{-1}(y_1 - Z_1a_{1/0} - d_1)$$

$$P_1 = P_{1/0} - P_{1/0}Z_1'F_1^{-1}Z_1P_{1/0}$$

las que se denominan *ecuaciones de actualización*, donde

$$F_1 = Z_1P_{1/0}Z_1' + H_1$$

Repetiendo estos pasos para  $t=2,\dots,T$ , se tiene la siguiente secuencia recursiva que constituye el algoritmo de Kalman

For $t=1,2,3,\dots,T$
(1) $a_{t/t-1} = T_t a_{t-1} + c_t$
(2) $P_{t/t-1} = T_t P_{t-1} T_t' + R_t Q_t R_t'$
(3) $y_{t/t-1} = Z_t a_{t/t-1} + d_t$
(4) $v_t = y_t - y_{t/t-1}$
(5) $F_t = Z_t P_{t/t-1} Z_t' + H_t$
(6) $a_t = a_{t/t-1} + P_{t/t-1} Z_t' F_t^{-1} (y_t - Z_t a_{t/t-1} - d_t)$
(7) $P_t = P_{t/t-1} - P_{t/t-1} Z_t' F_t^{-1} Z_t P_{t/t-1}$
Endfor



Una recursión directa desde  $\{a_{t/t-1}, P_{t/t-1}\}$  hacia  $\{a_{t+1/t}, P_{t+1/t}\}$  se puede obtener reemplazando (6) en un adelanto de (1) y (7) en un adelanto de (2) para obtener

$$a_{t+1/t} = T_{t+1}a_{t/t-1} + T_{t+1}P_{t/t-1}Z_t^T F_t^{-1}(y_t - Z_t a_{t/t-1} - d_t) + c_{t+1} = T_{t+1}a_{t/t-1} + K_t v_t + c_{t+1}$$

$$P_{t+1/t} = T_{t+1}P_{t/t-1}T_{t+1}^T - T_{t+1} \left[ P_{t/t-1}Z_t^T F_t^{-1}Z_t P_{t/t-1} \right]_{t+1}^T + R_{t+1}Q_{t+1}R_{t+1}^T$$

donde se usó (3) y (4) así como se definió la *matriz de ganancia* como

$$K_t = T_{t+1}P_{t/t-1}Z_t^T F_t^{-1}$$

Cabe mencionar que la ecuación que relaciona  $a_{t+1/t}$  con  $a_{t/t-1}$  y la ecuación que resulta de usar (3) en (4) se denomina la *representación de innovaciones* del modelo de espacio de estados inicial. Por su parte, la ecuación que relaciona  $P_{t+1/t}$  con  $P_{t/t-1}$  se denomina *ecuación de Riccati*.

### Derivación $G_t \neq 0$ : perturbaciones $e_t$ y $?_t$ son dependientes

Similarmente, dado el vector de estados en  $t=1$ ,  $a_1 = T_1 a_0 + c_1 + R_1 ?_1$ , su media condicionada a la información en el periodo  $t$  es  $E[a_1/O_0] = T_1 E[a_0/O_0] + c_1 + R_1 E[?_1/O_0]$ , es decir

$$a_{1/0} = T_1 a_0 + c_1$$

Asimismo, su varianza es  $E[(a_1 - a_{1/0})(a_1 - a_{1/0})' / O_0] = E[(T_1(a_0 - a_0) + R_1 ?_1)(T_1(a_0 - a_0) + R_1 ?_1)' / O_0] = T_1 E[(a_0 - a_0)(a_0 - a_0)' / O_0] T_1^T + 2T_1 E[(a_0 - a_0)?_1' / O_0] R_1^T + R_1 E[?_1 ?_1' / O_0] R_1^T$ , es decir

$$P_{1/0} = T_1 P_0 T_1^T + R_1 Q_1 R_1^T$$

Nótese que las *ecuaciones de predicción* son similares al caso de independencia, ya que se basan únicamente en la ecuación de transición. Dada la ocurrencia de  $y_1$ , la distribución de  $a_1$  condicionada a  $y_1$  usa elementos de la ecuación de transición así como la propia ecuación de observaciones

$$a_1 = a_{1/0} + (a_1 - a_{1/0})$$

$$y_1 = Z_1 a_{1/0} + d_1 + Z_1 (a_1 - a_{1/0}) + e_1$$

de donde, dado que  $a_1 = T_1 a_0 + c_1 + R_1 ?_1$  y  $a_{1/0} = T_1 a_0 + c_1$ , se obtiene

$$a_1 - a_{1/0} = T_1 (a_0 - a_0) + R_1 h_1$$

y el vector  $[a_1' \ y_1']^T$  tiene una distribución normal multivariada con media y varianza

$$E \begin{bmatrix} a_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{1/0} \\ Z_1 a_{1/0} + d_1 \end{bmatrix}$$

$$E \left[ \begin{pmatrix} T_1(a_0 - a_0) + R_1 h_1 \\ Z_1 T_1(a_0 - a_0) + Z_1 R_1 h_1 + e_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_1(a_0 - a_0) + R_1 h_1 \\ Z_1 T_1(a_0 - a_0) + Z_1 R_1 h_1 + e_1 \end{pmatrix}^T \right] = \begin{bmatrix} P_{1/0} & P_{1/0} Z_1^T + R_1 G_1 \\ Z_1 P_{1/0} + G_1^T R_1^T & Z_1 P_{1/0} Z_1^T + 2Z_1 R_1 G_1 + H_1 \end{bmatrix}$$

y aplicando el lema de las distribuciones normales, se obtienen las ecuaciones de actualización, es decir, la media y la varianza de la distribución normal de  $a_1$ , condicionadas a un valor particular de  $y_1$

$$a_1 = a_{1/0} + (P_{1/0} Z_1^T + R_1 G_1) F_1^{-1} (y_1 - Z_1 a_{1/0} - d_1)$$

$$P_1 = P_{1/0} - (P_{1/0} Z_1^T + R_1 G_1) F_1^{-1} (P_{1/0} Z_1^T + R_1 G_1)^T$$

donde

$$F_1 = Z_1 P_{1/0} Z_1^T + 2Z_1 R_1 G_1 + H_1$$



Repetiendo estos pasos para  $t=2, \dots, T$ , se obtiene el algoritmo recursivo de Kalman

For $t=1, 2, 3, \dots, T$
(1) $\mathbf{a}_{t/t-1} = T_t \mathbf{a}_{t-1} + c_t$
(2) $P_{t/t-1} = T_t P_{t-1} T_t' + R_t Q_t R_t'$
(3) $y_{t/t-1} = Z_t \mathbf{a}_{t/t-1} + d_t$
(4) $v_t = y_t - y_{t/t-1}$
(5) $F_t = Z_t P_{t/t-1} Z_t' + 2Z_t R_t G_t + H_t$
(6) $\mathbf{a}_t = \mathbf{a}_{t/t-1} + (P_{t/t-1} Z_t' + R_t G_t) F_t^{-1} (y_t - Z_t \mathbf{a}_{t/t-1} - d_t)$
(7) $P_t = P_{t/t-1} - (P_{t/t-1} Z_t' + R_t G_t) F_t^{-1} (P_{t/t-1} Z_t' + R_t G_t)'$
Endfor

La recursión directa desde  $\{\mathbf{a}_{t/t-1}, P_{t/t-1}\}$  hacia  $\{\mathbf{a}_{t+1/t}, P_{t+1/t}\}$  se obtiene reemplazando (6) en un adelanto de (1) y (7) en un adelanto de (2), usando (3) y (4)

$$\mathbf{a}_{t+1/t} = T_{t+1} \mathbf{a}_{t/t-1} + T_{t+1} (P_{t/t-1} Z_t^T + R_t G_t) F_t^{-1} (y_t - Z_t \mathbf{a}_{t/t-1} - d_t) + c_{t+1} = T_{t+1} \mathbf{a}_{t/t-1} + K_t v_t + c_{t+1}$$

$$P_{t+1/t} = T_{t+1} P_{t/t-1} T_{t+1}^T - T_{t+1} [(P_{t/t-1} Z_t^T + R_t G_t) F_t^{-1} (Z_t P_{t/t-1} + G_t^T R_t^T)] T_{t+1}^T + R_{t+1} Q_{t+1} R_{t+1}^T$$

donde la *matriz de ganancia* se define como

$$K_t = T_{t+1} (P_{t/t-1} Z_t^T + R_t G_t) F_t^{-1}$$

Nótese la diferencia del algoritmo, de la matriz de ganancia y de la ecuación de Riccati respecto al caso de independencia. Sin embargo, la representación de innovaciones de este segundo modelo de espacio de estados tiene forma similar al unir la ecuación que relaciona  $\mathbf{a}_{t+1/t}$  con  $\mathbf{a}_{t/t-1}$  con la que resulta de (3)-(4).

### Apéndice C: Algoritmo de Kalman bajo un Modelo de Espacio de Estados Alternativo

En este apéndice se describe un modelo alternativo de espacio de estados, donde la *ecuación de observaciones* se mantiene como en el apéndice A:

$$y_t = Z_t \mathbf{a}_t + d_t + \mathbf{e}_t$$

Pero la *ecuación de transición* se expresa como

$$\mathbf{a}_{t+1} = T_t^* \mathbf{a}_t + c_t^* + R_t^* \mathbf{h}_t^*$$

donde el adelanto en los subscritos del vector de estados manteniendo los supuestos respecto a las distribuciones de  $\mathbf{e}_t$  y de  $\mathbf{h}_t^*$  nos lleva a un modelo diferente<sup>34</sup>. En primer lugar, se mantienen los supuestos sobre los momentos de las distribuciones normales de las perturbaciones

$$E[\mathbf{e}_t] = 0; E[\mathbf{e}_t \mathbf{e}_t^T] = H_t$$

$$E[\mathbf{h}_t^*] = 0; E[\mathbf{h}_t^* \mathbf{h}_t^{*T}] = Q_t^*$$

mientras que el supuesto crítico a mantener se refiere a la dependencia (correlación) contemporánea entre las perturbaciones de ambas ecuaciones

$$E[\mathbf{h}_t^* \mathbf{e}_s^T] = \begin{cases} G_t^* & (s = t) \\ 0 & (s \neq t) \end{cases}$$

Es ahora que redefiniremos algunas matrices. En primer lugar, esta versión de la ecuación de transición será

$$\mathbf{a}_t = T_{t-1}^* \mathbf{a}_{t-1} + c_{t-1}^* + R_{t-1}^* \mathbf{h}_{t-1}^*$$

transformada tomándole un rezago y redefiniendo algunas matrices y vectores (no el vector de estados), ecuación que nos lleva de regreso a una ecuación de transición semejante a la del modelo general ya discutido,

$$\mathbf{a}_t = T_t \mathbf{a}_{t-1} + c_t + R_t \mathbf{h}_t$$

<sup>34</sup> En esta parte debemos remarcar que el modelo es diferente únicamente por el adelanto en los subíndices del vector de transición, por lo que podríamos omitir los asteriscos. Los asteriscos nos permitirán redefinir posteriormente algunas matrices en forma apropiada.





salvo por la dependencia (correlación) contemporánea entre las perturbaciones de ambas ecuaciones, que ahora se puede expresar como<sup>35</sup>

$$E[\mathbf{h}_t \mathbf{e}_s^T] = \begin{cases} \mathbf{G}_t & (s = t - 1) \\ 0 & (s \neq t - 1) \end{cases}$$

#### Apéndice D: Representación de Innovaciones del Modelo de Espacio de Estados

En este apéndice se describirá un modelo de espacio de estados en su representación de innovaciones, compuesto por la *ecuación de observaciones*:

$$y_t = Z_t a_t + d_t + v_t$$

donde  $y_t$  es el vector  $[N \times 1]$  con las observaciones de  $N$  variables en el momento  $t$ ,  $d_t$  es un vector  $[N \times 1]$  y  $v_t$  es un vector  $[N \times 1]$  de innovaciones del tipo ruido blanco. Las variables observables  $y_t$  están relacionadas con  $m$  variables de estado no observadas  $a_t$   $[m \times 1]$  mediante la matriz  $Z_t$   $[N \times m]$ . Estas variables de estado se actualizan mediante la *ecuación de transición*

$$a_{t+1} = T_t a_t + c_t + K_t v_t$$

donde  $a_t$  es un vector  $[m \times 1]$  de  $m$  variables de estado no *observadas* (pero *observables* en términos de sus efectos en  $y_t$ ),  $c_t$  es un vector  $[N \times 1]$  y  $v_t$  es el mismo vector  $[N \times 1]$  previamente definido, que actualiza los estados mediante la matriz de ganancia  $K_t$   $[m \times N]$ . En primer lugar, definimos los momentos de la distribución de las innovaciones  $v_t$ , que manejan el sistema de variables  $\{y_t, a_t\}$ ,

$$E[v_t] = 0; E[v_t v_t^T] = \Psi_t$$

así como matrices varianza-covarianza relevantes

$$E[a_{t+1} a_{t+1}^T] = \Xi_t$$

$$E[a_{t+1} y_t^T] = \Omega_t$$

y las matrices de covarianzas no-condicionales

$$E[y_{t+s} y_t^T] = \Gamma_s$$

Para simplificar la exposición, se asumirá que  $d_t$  y  $c_t$  son vectores nulos y que todas las matrices arriba definidas ( $Z, T, K, \Xi, \Omega$  y  $O$ ) son constantes en el tiempo, por lo que el sistema queda expresable como

$$y_t = Z a_t + v_t$$

$$a_{t+1} = T a_t + K v_t$$

Finalmente, a partir de la definición de  $O$  y esta **versión invariante en el tiempo** del modelo, se deriva una relación muy útil entre las covarianzas no-condicionales y nuestra particular parametrización

$$\Gamma_s = E[y_{t+s} y_t^T] = Z T^{s-1} \Omega$$

$E[y_{t+s} y_t^T] = E[(Z a_{t+s} + v_{t+s}) y_t^T] = Z E[a_{t+s} y_t^T] + E[v_{t+s} y_t^T] = Z E[a_{t+s} y_t^T]$  por lo que considerando la definición de  $O$  es claro que necesitaremos expresar  $a_{t+s}$  como función de  $a_{t+1}$ . En general, mediante  $n$  reemplazos sucesivos de la ecuación de transición, tenemos que  $a_{t+s} = T^n a_{t+s-n} + S_1^n T^{j-1} K v_{t+s-j}$ , donde para que sea función de  $a_{t+1}$  debemos establecer que  $s-n=1$  ó  $n=s-1$ , obteniendo  $a_{t+s} = T^{s-1} a_{t+1} + S_1^{s-1} T^{j-1} K v_{t+s-j}$ . Retomando  $E[y_{t+s} y_t^T] = Z E[a_{t+s} y_t^T] = Z E[(T^{s-1} a_{t+1} + S_1^{s-1} T^{j-1} K v_{t+s-j}) y_t^T] =$

$$= Z E[T^{s-1} a_{t+1} y_t^T + S_1^{s-1} T^{j-1} K v_{t+s-j} y_t^T] = Z T^{s-1} E[a_{t+1} y_t^T] + Z S_1^{s-1} T^{j-1} K E[v_{t+s-j} y_t^T]$$

y recordando que el índice  $j$  de la suma va desde 1 hasta  $s-1$ , se cumple  $s > j$ , por lo que el segundo término del último miembro anterior es una suma de ceros, por lo que llegamos a

$$E[y_{t+s} y_t^T] = \Gamma_s = Z T^{s-1} E[a_{t+1} y_t^T] = Z T^{s-1} \Omega$$

<sup>35</sup> Partiendo de la expresión inicial,  $E[?^* t e^T] = G^* t = E[?^* t + 1 e^T]$ , es decir,  $E[?^* t - 1] = G^* t - 1 = G t$ .

**Definición de Controlabilidad**

Un sistema representable en términos del espacio de estado anterior es *controlable* en un horizonte de  $h$  periodos si, para cada vector inicial  $a_0$  existe una secuencia de vectores de control  $v_0, \dots, v_{h-1}$  (que dependen de  $a_0$ ) tal que se logra que  $a_h = a^*$ , es decir, se alcance el nivel objetivo. Una condición necesaria y suficiente para que el par  $(T, K)$  sea controlable es que la matriz de controlabilidad

$$C_h = [\Omega \quad T\Omega \quad T^2\Omega \quad \dots \quad T^{h-1}\Omega]$$

tenga rango  $h$ . Otra condición necesaria y suficiente es que exista una matriz  $M[h \times m]$  tal que las  $h$  raíces de  $T + KM$  sean menores que 1.

**Definición de Observabilidad**

El vector de estados de un sistema representable en términos del espacio de estado anterior es *observable* en un horizonte de  $h$  periodos si las condiciones iniciales  $a_0$  pueden ser calculadas a partir de los datos  $y_0, \dots, y_{h-1}; v_0, \dots, v_{h-1}$ . Una condición necesaria y suficiente para que el par  $(Z, T)$  sea observable es que la matriz de observabilidad tenga rango  $h$ . Otra condición necesaria y suficiente es que exista una matriz  $D[h \times N]$  tal que las  $h$  raíces de  $T - DZ$  sean menores que 1.

$$O_h = [Z^T \quad T^T Z^T \quad (T^T)^2 Z^T \quad \dots \quad (T^T)^{h-1} Z^T]^T$$

**Apéndice E: Estimación de Z, T, K**

Considerando que para modelar  $y_t$  se requiere un rezago máximo  $p$  y un horizonte máximo de  $f$  periodos en el futuro, la matriz de autocorrelaciones Haenkel para cada par  $(p, f)$  se define como

$$H(p, f) = \begin{bmatrix} \Gamma_1 & \Gamma_2 & \Gamma_3 & \dots & \Gamma_p \\ \Gamma_2 & \Gamma_3 & \Gamma_4 & \dots & \Gamma_{p+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Gamma_f & \Gamma_{f+1} & \Gamma_{f+2} & \dots & \Gamma_{f+p-1} \end{bmatrix}$$

y a partir de estimadores de máxima verosimilitud para las matrices  $\Gamma$  podemos obtener un estimador de la matriz  $H(p, f)$ , matriz que resume toda la información dinámica existente en los datos. Trabajando aún sobre la base de los valores poblacionales, y usando las definiciones del Apéndice D, se puede obtener una primera factorización de  $H$  a partir de las matrices  $C$  y  $O$ :

$$H(p, f) = OC = [Z^T \quad T^T Z^T \quad (T^T)^2 Z^T \quad \dots \quad (T^T)^{f-1} Z^T]^T [\Omega \quad T\Omega \quad T^2\Omega \quad \dots \quad T^{p-1}\Omega]$$

y una segunda factorización a usar consiste en la descomposición de valores singulares

$$H = U\Sigma V^T$$

donde la matriz diagonal  $S$  contiene los valores singulares de  $H$ , que pueden interpretarse como los componentes principales (dinámicos) de  $H$  si se ordenan de mayor a menor. Asimismo, imponiendo restricciones cero a los valores singulares menos importantes, se puede ordenar los  $n$  valores singulares más importantes para obtener una matriz Haenkel aproximada  $H_{(n)}$  definida como

$$H_{(n)} = U_{(n)} \Sigma_{(n)} V_{(n)}^T = O_{(n)} C_{(n)}$$

Ambas factorizaciones nos permitirán obtener los estimadores de aproximaciones de  $Z, T, O, C$  y  $\Omega$ . En primer lugar, se puede obtener, por inspección, que la primera fila-bloque y la primera columna-bloque de  $H$  son equivalentes a  $\Omega$ . En segundo lugar, se puede definir las siguientes inversas generalizadas

$$[\Gamma_1 \quad \Gamma_2 \quad \Gamma_3 \quad \dots \quad \Gamma_p] = ZC$$

$$[\Gamma_1^T \quad \Gamma_2^T \quad \Gamma_3^T \quad \dots \quad \Gamma_f^T]^T = O\Omega$$



$$C_{(n)}^- = V_{(n)} [\Sigma_{(n)}]^{-1/2}$$

$$O_{(n)}^- = [\Sigma_{(n)}]^{-1/2} U_{(n)}^T$$

Por ello, a partir de la versión muestral de la matriz Haenkel aproximada  $H_{(n)}$  y de las matrices inversas

$$\hat{Z}_{(n)} = [\hat{\Gamma}_1 \quad \hat{\Gamma}_2 \quad \hat{\Gamma}_3 \quad \dots \quad \hat{\Gamma}_p] \hat{C}_{(n)}^-$$

$$\hat{\Omega}_{(n)} = \hat{O}_{(n)}^- [\hat{\Gamma}_1^T \quad \hat{\Gamma}_2^T \quad \hat{\Gamma}_3^T \quad \dots \quad \hat{\Gamma}_f^T]^T$$

generalizadas ya definidas, se puede obtener los estimadores de las matrices aproximadas  $Z_{(n)}$  y  $O_{(n)}$  :

Por su parte, para obtener el estimador de la matriz T aproximada,  $T_{(n)}$ , requerimos usar otra matriz Haenkel, que a su vez mantiene tiene una relación similar con O y C ya notada:

$$\bar{H}(p, f) = \begin{bmatrix} \Gamma_2 & \Gamma_3 & \dots & \Gamma_p & \Gamma_{p+1} \\ \Gamma_3 & \Gamma_4 & \dots & \Gamma_{p+1} & \Gamma_{p+2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \Gamma_{f+1} & \Gamma_{f+2} & \dots & \Gamma_{f+p-1} & \Gamma_{f+p} \end{bmatrix} = OTC$$

de cuya contrapartida muestral se obtiene el estimador

$$\hat{T}_{(n)} = \hat{O}_{(n)}^- \hat{H} \hat{C}_{(n)}^-$$

La matriz de ganancia K (matriz Kalman) se obtiene resolviendo un sistema de 3 ecuaciones matriciales en 4 matrices covarianza desconocidas. A partir de la ortogonalidad de los estados  $a_t$  y las innovaciones  $v_t$ . Para ello se toma esperanza a ambas ecuaciones del modelo de espacio de estados luego de postmultiplicarlas por las traspuestas correspondientes de  $(a_t$  e  $y_t)$  para obtener

$$\Xi = T \Xi T^T + K \Psi K^T$$

$$\Gamma_0 = Z \Xi Z^T + \Psi$$

y, de manera similar, a la ecuación de transición se la postmultiplica por la ecuación de observación y se toma esperanza para obtener

$$\Omega = T \Xi Z + K \Xi$$

por lo que se tienen un sistema con las aproximaciones de K, ? y ? como incognitas y con T, Z y G ya disponibles. Ver Aoki & Havenner. Para el algoritmo de solución del sistema matricial, ver Aoki (1990).