

Estimación de Un Modelo de Switching para el Nivel de Actividad en Chile^a

Christian A. Johnson
Banco Central de Chile
1180 Agustinas
Santiago - CHILE
cjohnson@bcentral.cl

Julio 2000

Resumen

Este artículo presenta un análisis del Indicador Mensual de Actividad Económica (IMACEC) de Chile para el período 1987-2000, a través de la estimación de un modelo de cambio de régimen, que se parametriza considerando tres estados de la naturaleza, y que se resuelve utilizando el algoritmo iterativo EM. Se describen las distribuciones para el crecimiento de la economía condicionadas a tres estados, el primero de los cuales se define como de boom económico, un segundo estado referido a aquel que permite un crecimiento sostenible o medio, y finalmente, un tercer estado definido como recesivo. Se concluye que la economía vivió una etapa recesiva a partir de la crisis asiática y actualmente estamos en una etapa de crecimiento sostenido. El análisis revelado de la evolución de la política monetaria concuerda con las implicancias del modelo de cambios de régimen. Se concluye que la tasa actual de crecimiento potencial es del 6%, revisando a la baja las tasas del 7 y 8% calculadas en otros estudios que utilizaron información previa a la crisis asiática.

^aSe agradecen los comentarios recibidos de parte de los participantes del Seminario del Departamento de Economía de la Universidad Católica. Las opiniones presentadas en el artículo no representan necesariamente la visión del Banco Central de Chile.

1 Introducción

La evolución del crecimiento de una economía es determinante para evaluar la oportunidad de aplicar ajustes a la política monetaria adoptada. Un crecimiento excesivo puede ser el detonante clave en la decisión de implementación de una política monetaria contractiva, producto de los eventuales riesgos inflacionarios que se generarían, mientras que un crecimiento lento puede favorecer a la relajación de la política monetaria.

Tomando en consideración la estructura monetaria que adoptó el Banco Central de Chile hace ya una década, con un objetivo inflacionario de...nido¹, la evaluación cercana de los índices de actividad se hace más necesarios. Siguiendo la corriente de países desarrollados, la autoridad ha centrado cada vez más su atención en indicadores futuros o esperados de evolución de precios y gasto para de...nir su accionar en materia de política monetaria. En este sentido, y focalizándose en el nivel de actividad de una economía, es deseable para el policy-maker el que disponga de una herramienta que le entregue las probabilidades de estar en distintos estados de actividad para cada instante del tiempo.

Este artículo elabora tal metodología, estimando tales probabilidades utilizando el Modelo de Cambios de Régimen propuesto inicialmente por Hamilton (1989). Este consiste en caracterizar la evolución de una variable por un proceso de media condicionada a un estado de la naturaleza especí...co, con su consiguiente volatilidad, lo cual permite que esta variable salte en nivel a procesos de crecimiento alternativos, con medias y volatilidades particulares, representando ...nalmente un proceso de tendencia estocástica. Un producto de esta metodología consiste en la determinación de las probabilidades condicionales de estar en cada estado de la naturaleza prede...nido, de manera de poder determinar con certeza en qué estado de la naturaleza estamos en un período del tiempo especí...co, lo cual facilita una evaluación ex-post de la política económica.

Este artículo aplica la metodología de Cambios de Régimen al IMACEC considerando el período 1987-2000, y prede...niendo tres estados de la naturaleza posibles. La descripción de cada estado considera que la economía podría estar ya sea en crecimiento con riesgo inflacionario (boom), crecimiento estable o sustentable, o en un tercer y último estado recesivo. A partir

¹Para un análisis de la experiencia chilena en materia de objetivos inflacionario revisar Morandé (2000).

de esta condición se estimaron tres crecimientos medios (con sus respectivas desviaciones estándar), cada uno representando a estos estados de la naturaleza, y se procedió a evaluar la política monetaria adoptada por el Banco Central, solamente en función de las probabilidades condicionadas generadas por el modelo estimado.

El principal resultado de esta estimación nos indica, que los crecimientos estimados para cada estado están en torno al 10% para el caso de boom, 6% para el evento asociado a un crecimiento estable, y -0.11% para el estado recesivo. Con esto, el análisis histórico efectuado a partir de estas probabilidades entrega evidencia de una evaluación positiva en materia de implementación oportuna de los procesos de ajuste y expansión monetarios.

El contenido del artículo se presenta a continuación. La siguiente sección presenta la descripción del modelo de cambios de régimen, detallando el algoritmo utilizado e inicialmente propuesto por Hamilton (1990), para así posteriormente presentar la sección de aplicación del modelo al caso del IMACEC. Finalmente se presentan las conclusiones y el apéndice con el código en GAUSS que permite replicar los resultados del estudio.

2 Modelo de Switching y Algoritmo EM

Esta sección desarrolla el concepto de procesos de cambios de régimen (Switching) propuesto inicialmente por Hamilton (1989) y Hamilton (1993)², presentando el algoritmo iterativo de maximización de expectativas (EM) descrito por Hamilton (1990) y Hamilton (1994) como alternativa de solución a una versión particular del modelo de cambios de régimen³.

Los modelos de cambios de régimen surgen como interpretación numérica de la idea que una serie de tiempo puede ser representada por un conjunto de procesos estacionarios⁴ con funciones de distribución diferentes, para lo cual la transición de la serie entre funciones se efectúa rápidamente, caracterizando a cada distribución según el estado de la naturaleza que impera en ese momento.

²Kim y Nelson (1999) desarrollan extensivamente este tópico.

³Mizrach y Watkins (1999) mencionan que el algoritmo EM es más robusto que los tradicionales procedimientos de gradientes, sin embargo es muy computador intensivo, lo cual le baja atractivo. Para una comparación de distintos modelos no lineales univariados revisar Potter (1999).

⁴De...niendo estacionariedad como aquel proceso con matriz de covarianza estacionaria.

Considerando que una variable y_t puede provenir de N estados de la naturaleza posibles ($s_t = 1; \dots; N$), representados cada uno por su propia función de distribución $y_t \sim N(\mu_{s_t}; \frac{1}{2}\sigma_{s_t}^2)$, es posible definir la función de máxima verosimilitud como:

$$f(y_t | s_t = j; \theta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_j} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y_t - \mu_j}{\sigma_j}\right)^2}; \theta = \{\mu_1, \dots, \mu_N, \sigma_1^2, \dots, \sigma_N^2\} \quad (1)$$

donde $\theta = [\mu_1; \mu_2; \dots; \mu_N; \sigma_1^2; \sigma_2^2; \dots; \sigma_N^2]^T$. El procedimiento tradicional consistiría en estimar la transformación linealizada de la expresión (1) maximizando su función logarítmica a través de métodos de gradientes tradicionales⁵. La variable aleatoria s_t se genera de alguna función de distribución donde la probabilidad no condicionada de que s_t tome un valor j se denota por π_j , es decir:

$$P[s_t = j] = \pi_j; j = 1; 2; \dots; N \quad (2)$$

donde ahora el set θ se expande al incluir el vector de probabilidades π , que cumple con las condiciones de que suma uno y sus elementos son no negativos.

Utilizando el teorema de Bayes⁶ podemos decir que la probabilidad conjunta de que la variable y_t se realice bajo el estado de la naturaleza $s_t = j$ esta dada por:

$$p(y_t; s_t = j; \theta) = \frac{\pi_j}{\sqrt{2\pi}\sigma_j} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y_t - \mu_j}{\sigma_j}\right)^2}; \theta = \{\mu_1, \dots, \mu_N, \sigma_1^2, \dots, \sigma_N^2, \pi_1, \dots, \pi_N\} \quad (3)$$

con lo cual la función de distribución no condicional para y_t se representará por:

⁵Johnson (2000) compara métodos de convergencia de gradientes tradicionales con el método de optimización con Algoritmos Genéticos, el cual si bien es ineficiente computacionalmente, permite minimizar la probabilidad de escoger un máximo (u óptimo) local como máximo global.

⁶Sabemos que:

$$P[y_t; s_t = j; \theta] = f(y_t | s_t = j; \theta) P[s_t = j]$$

$$f(y_t | j^{a_{t-1}}; i) = \prod_{j=1}^N p[y_t | S_t = j | j^{a_{t-1}}; i] \quad (4)$$

Asumiendo que las observaciones $t = 1; 2; \dots; T$ son iid θ_t , la función a optimizar puede representarse por el logaritmo natural de la función de máximo verosimilitud (LMLE):

$$\begin{aligned} \text{Max}_{\beta} \ln L(\beta) &= \sum_{t=1}^T \ln f(y_t | j^{a_{t-1}}; i) \\ &= \sum_{t=1}^T \ln \left[\prod_{j=1}^N f(y_t | S_t = j; j^{a_{t-1}}; i) \right] \prod_{j=1}^N P[S_t = j | j^{a_{t-1}}; i] \\ \text{s.a.} \quad \sum_{j=1}^N \theta_j &= 1; \theta_j \geq 0; j = 1; 2; \dots; N \end{aligned} \quad (5)$$

Lo interesante de esta metodología es que podemos inferir a partir de los parámetros estimados, cual es la probabilidad de que en cada momento del tiempo el proceso y_t provenga de cada uno de los N estados de la naturaleza alternativos. Para esto, la probabilidad requerida se obtiene a través de:

$$P[S_t = j | j^{a_{t-1}}; \hat{\beta}] = \frac{\prod_{j=1}^N P[y_t | S_t = j | j^{a_{t-1}}; \hat{\beta}]}{\sum_{j=1}^N \prod_{j=1}^N P[y_t | S_t = j | j^{a_{t-1}}; \hat{\beta}]} = \frac{\theta_j \prod_{j=1}^N f(y_t | S_t = j; j^{a_{t-1}}; \hat{\beta})}{\sum_{j=1}^N \prod_{j=1}^N f(y_t | S_t = j; j^{a_{t-1}}; \hat{\beta})} \quad (6)$$

Tal como se menciona en Mizrach y Watkins (1999), este problema se puede resolver por dos métodos alternativos. La primera metodología se conoce como de Hill Climbing y consiste en resolver el problema (5) por medio de algoritmos de búsqueda numéricos a través de gradientes. Entre los procedimientos estándares⁷ se encuentran el método de Newton-Rampson (NR), el método de Broyden, Fletcher, Goldfarb y Shanno (BFGS), y el método de Davidon-Fletcher-Powell (DFP)⁸.

⁷Estos métodos de optimización están disponibles en la librerías de programas como GAUSS o MATLAB.

⁸Revisar Amemiya (1985), Hamilton (1994), Press et al. (1988), o Thisted (1988) para una descripción de estos métodos.

La segunda opción consiste en utilizar el algoritmo EM desarrollado por Hamilton (1990) y modificado en Hamilton (1991)⁹. Estos algoritmos consisten en un procedimiento iterativo de dos etapas cuya regla de detención (stopping rule) estará definida por la satisfacción de cierta norma o criterio de distancia (eg distancia Euclidiana) entre los vectores de parámetros $\hat{\beta}_j$ estimados a lo largo de las $k = \min\{k; K\}$ iteraciones. La primera etapa forma la expectativa (E), asumiendo un vector de parámetros $\hat{\beta}_j^{(k-1)}$ para la iteración k , mientras que la segunda etapa maximiza (M) la función de LMLE con respecto a los parámetros del modelo, generándose $\hat{\beta}_j^{(k)}$.

El esquema de iteraciones considera el siguiente sistema:

$$\begin{aligned} \hat{\beta}_j &= \frac{\sum_{t=1}^T y_t \sum_{i=1}^N P_{st} = j \beta_j^{a_{t-1}} \hat{\beta}_j^{(k-1)} i}{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N P_{st} = j \beta_j^{a_{t-1}} \hat{\beta}_j^{(k-1)} i}; \quad 8j = 1; 2; \dots; N \quad (7) \\ \beta_j^2 &= \frac{\sum_{t=1}^T y_t \hat{\beta}_j^2 \sum_{i=1}^N P_{st} = j \beta_j^{a_{t-1}} \hat{\beta}_j^{(k-1)} i}{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N P_{st} = j \beta_j^{a_{t-1}} \hat{\beta}_j^{(k-1)} i}; \quad 8j = 1; 2; \dots; N \\ \beta_j &= \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N P_{st} = j \beta_j^{a_{t-1}} \hat{\beta}_j^{(k-1)} i; \quad 8j = 1; 2; \dots; N \end{aligned}$$

La siguiente sección presenta la aplicación de esta metodología a la serie de actividad IMACEC.

3 Una Aplicación del Modelo al IMACEC

Esta sección presenta las estimaciones del modelo de cambio de régimen presentado en la sección anterior, considerando información mensual para el IMACEC desde enero de 1987 a abril del 2000. La parametrización del modelo considera tres estados de la naturaleza alternativos. El primero se representa por crecimientos con características de boom (economía sobreca-lentada), insostenibles en el tiempo y que incidirían en un ajuste de la política

⁹Puede darse el caso de que la función de MLE sea in...nita en la medida que la media de la distribución de algún estado de la naturaleza igual al valor de cualquier observación, con la varianza de tal estado igual a cero. Hamilton (1991) propone una solución "pseudo-Bayesiana" al corregir numerador y denominador de cada una de las ecuaciones del sistema considerado a iterar.

monetaria de manera de contener el gasto excesivo. El segundo estado de la naturaleza caracteriza al crecimiento sostenible, sin riesgos inflacionarios evidentes, en donde el gasto agregado evoluciona de manera de no requerir ajustes de la política monetaria para contener o expandir la demanda agregada. Por último, se define el tercer estado de la naturaleza que representaría a una situación de estancamiento o recesiva, en la cual la política monetaria tendría un rol activo en materia de reactivación de la demanda agregada.

La figura N°1 presenta la evolución mensual del IMACEC de los últimos años. Excluyendo los años 1998 y 1999, la economía chilena venía presentando un desarrollo sostenido, con tasas de crecimiento promedio del 7.9% y una volatilidad del 3.4%, con una evolución casi inmune a las crisis mexicana y brasileña del año 1995. Sin embargo la crisis "Asiática" de 1997 y sus repercusiones en Rusia, China y Hong Kong, junto a las crecientes volatilidades del Dow Jones y de algunas monedas como el Yen y el Euro, llevaron a que las economías latinoamericanas se vieran afectadas negativamente, poniendo en cuestionamiento los regímenes cambiarios vigentes, con el consiguiente riesgo de contagio que emergía.

Chile no estuvo al margen. Su política de objetivo inflacionario, el manejo del déficit de cuenta corriente, y el control de expectativas inflacionarias producto de presiones cambiarias sucesivas llevó a que la autoridad monetaria imprimiera un freno a la economía a través de un alza de su tasa de instancia, efecto que se vería reflejado posteriormente en la caída de hasta un -6.5% del nivel de actividad durante los primeros meses de 1999. Este último desarrollo modificó las características de la distribución del crecimiento del IMACEC, llevando a que bajara su tasa de expansión promedio al 6.8% (inferior en un 14% a la alcanzada hasta fines de 1997) con una volatilidad alcanzando un nivel de 4.3% (26% superior a la vigente hasta fines de 1997). El Banco Central ajustó su tasa de instancia anticipadamente hacia fines de 1998 para compensar el efecto contractivo de su política monetaria restrictiva adoptada los meses anteriores.

Los desarrollos de los últimos años post-crisis asiática ha modificado la percepción del grado de vulnerabilidad de la economía chilena. Previo a esta crisis, estudios que analizan el crecimiento del IMACEC o PIB en Chile encuentran que la tasa de crecimiento potencial (o "natural") alcanza valores del 7% al 8.3%¹⁰. Sin embargo los últimos acontecimientos sugieren un ajuste a estas cifras.

¹⁰Chumacero y Quiroz (1997), Rojas et al. (1997), y Roldós (1997).

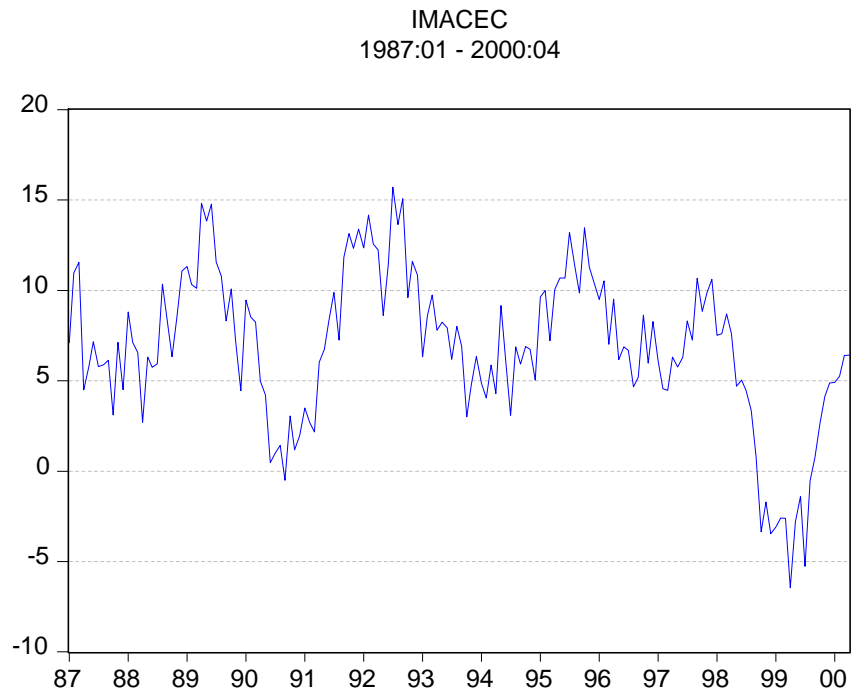


Figura 1: Crecimiento Económico en Chile: 1987 - 2000.

Por otra parte, la importancia de determinar precisamente la tasa de producto potencial surge de la necesidad de tener un índice de actividad como comparador, de manera de evaluar los actuales niveles de crecimiento y así determinar los riesgos inflacionarios que surgen, permitiéndole a la autoridad la implementación de una política monetaria que evite caer en desequilibrios inflacionarios o macroeconómicos no deseados.

Esta sección determina los distintos grados de expansión o contracción de una economía que permiten a los agentes caracterizar la evolución de la economía como de "boom", "recesiva", o ...nalmente, "sostenible" y sin riesgos inflacionarios. Dado que la autoridad monetaria ha presentado una meta explícita en materia inflacionaria, es factible asumir que esta inversión en credibilidad la ha efectuado a costa de la consecución consistente de estas metas por medio del manejo activo de la tasa de interés (tasa de instancia

monetaria), fenómeno que tomó cerca de 10 años desde su instauración¹¹.

La política monetaria chilena no ha estado al margen de la corriente anticipativa que se evidencia en la administración de las tasas. Cada vez más las distintas autoridades monetarias son más forward-looking en materia de manejo de tasas, y se considera un hecho que los efectos macroeconómicos de la modificación de las tasas de instancia no es instantáneo, sintiéndose el impacto expansivo o recesivo con un retardo de 6 a 8 meses aproximadamente¹².

Esto conduce a la necesidad de inferir presiones inflacionarias anticipadamente a través de indicadores como el nivel de actividad, lo cual permite centrar la atención en la relación de la política monetaria con respecto a los niveles de actividad vigentes, de manera que si el policy-maker observa o anticipa un nivel de actividad por sobre (bajo) niveles "normales", es muy probable que modifique su principal instrumento de control monetario al alza (baja). De igual manera, si el policy-maker observa niveles sostenibles de actividad, sería un antecedente para mantener las tasas a un nivel que garantice la liquidez requerida del sistema. El análisis cuantitativo se efectúa en la siguiente sección.

3.1 Descripción de las Distribuciones de los Estados Alternativos

Considerando tres estados de la naturaleza alternativos se procede a estimar la distribución mezcla (Mixture) de los tres estados para el crecimiento del IMACEC. La siguiente tabla describe los valores a los cuales converge el algoritmo EM en $k = 126$ iteraciones¹³.

Tabla N°1. Hechos Estilizados de las Distribuciones
Tasas de Covergencia para Distintos Estados

Estadístico	Boom	Crec. Estable	Recesión
Crecimiento (%)	10.37	5.95	-0.11
Desv. Estándar (%)	2.39	1.69	3.17
Probabilidad (%)	41.15	43.48	15.37

¹¹Revisar Morandé (2000).

¹²Revisar Valdés (1998).

¹³En el código GAUSS del apéndice estas iteraciones están indizadas con la letra m. Se consideró un máximo de mil iteraciones ($K = 1000$).

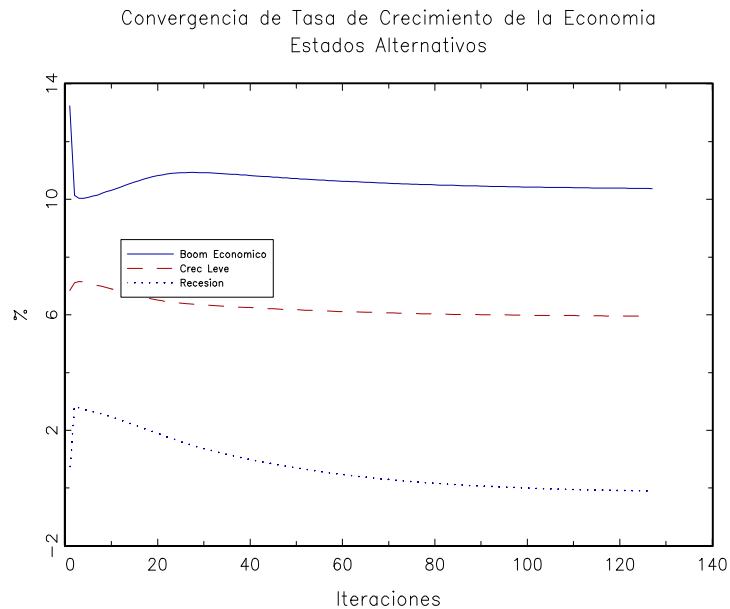


Figura 2: Convergencia de Tasa de Crecimiento de Estados Alternativos

El procedimiento iterativo es robusto a distintos puntos de partida, sin presentarse anomalías en la solución de convergencia. De la ...guras N°2, 3, y 4, se veri...can los valores reportados en la tabla anterior.

La evolución del crecimiento económico promedio condicional en cada estado de la naturaleza nos indica la rápida convergencia hacia su valor de equilibrio. Para el caso de que la economía esté en estado de "boom" la tasa de crecimiento debe ser del orden del 10.4% con una desviación estándar del 2.4%. Si la economía se encuentra en una etapa de "crecimiento sostenido" sin riesgos inflaciónarios, entonces el IMACEC estaría creciendo a tasas del orden del 6% con una volatilidad del 1.7%, mientras que si la economía se encuentra en el estado "recesivo", entonces debiera crecer en torno a -0.1% con la volatilidad característica más alta de los tres estados considerados (3.2%).

La situación representada por el segundo estado, de crecimiento estable, se caracteriza por tener la tasa de volatilidad más baja de todos los estados alternativos. Sin embargo, en la medida que la economía entra en una etapa recesiva, el nivel de volatilidad se incrementa en casi un 100%, hacien-

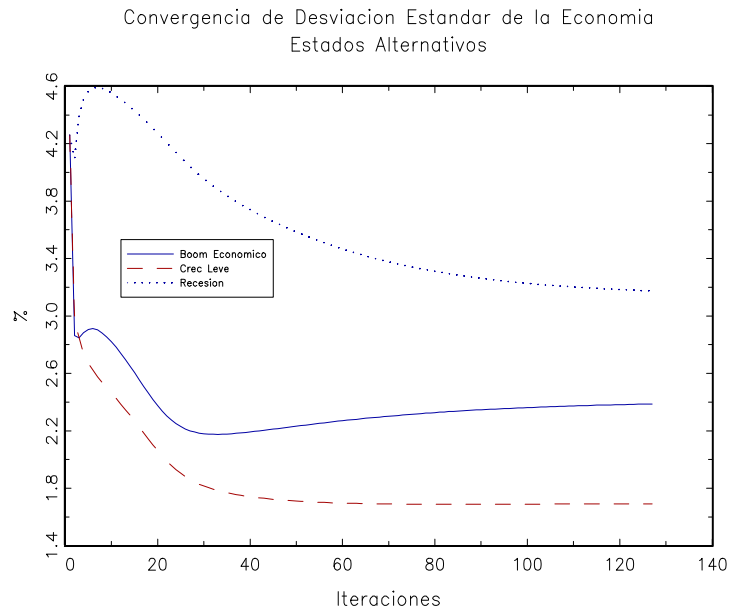


Figura 3: Convergencia de Volatilidad bajo Estados Alternativos.

do difícil la interpretación de los niveles de actividad con algún estado en particular. Esto se dá cuando es difícil identi...car la distribución generadora del crecimiento, pues tal como se podrá apreciar (ver Figura N[±]5), estas se traslapan en algunos segmentos.

Entre los últimos parámetros a determinar están las probabilidades no condicionadas de cada estado de la naturaleza. La estimación nos indica que la probabilidad de que la economía esté en boom o crecimiento estable son de 41.1% y 43.5%, respectivamente, mientras que la probabilidad de estar en recesión es del 15.4%. Estos valores no son más que el promedio que alcanzan las probabilidades de cada estado de la naturaleza en toda la muestra (ver última expresión de ecuación (7) en página -6-).

3.2 Mixture

Una vez determinados los parámetros es posible de...nir las distintas funciones de distribución debidamente ponderadas por la probabilidad de ocurrencia de los eventos en la muestra considerada. Este procedimiento permite integrar

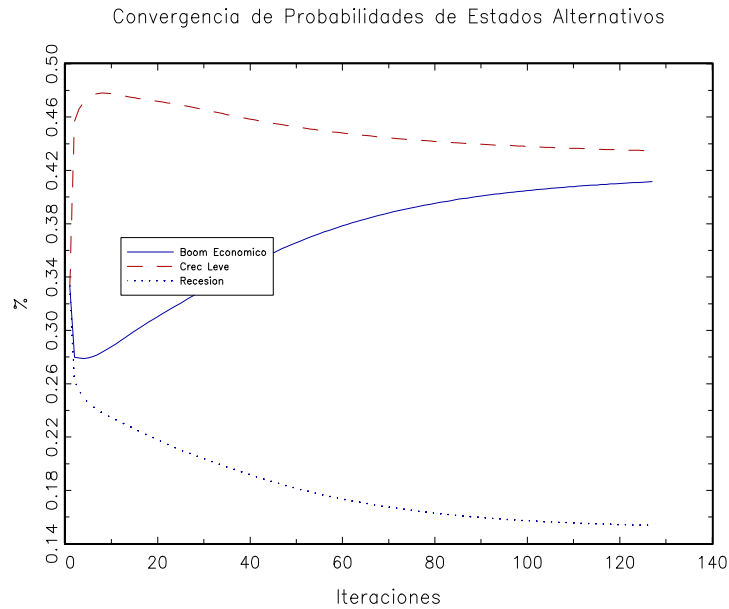


Figura 4: Convergencia de Probabilidades de Eventos Alternativos.

las tres distribuciones a través de una distribución mixture (mezcla) que permite visualizar la anomalía que está implícita en la tasa de crecimiento del IMACEC. En la figura N°5, se representan las distribuciones normales para cada uno de los estados de la naturaleza de los países. La distribución de la izquierda representa al estado recesivo, cuyo valor medio está en torno a -0.1% y posee una desviación estándar de 3.2%. La siguiente distribución representa al estado de crecimiento estable o sostenible, el cual tal como se señala en la tabla N°1, tiene una media del 6% con una volatilidad del 1.7%. Por último tenemos la distribución de la derecha que representa al estado de sobre expansión o "boom" de la economía, el cual posee una tasa media de crecimiento del 10.4% con una desviación del 2.4%.

El procedimiento utilizado no impone la restricción de que las probabilidades de estar en cada evento deban ser variables dicotómicas 0-1, de modo que es posible que dada la información disponible en un período particular de la muestra, las probabilidades dieran de tales valores extremos. Es así como la distribución de cada estado tiene un intervalo de traslape con la distribución de los estados alternativos, de manera que esta metodología ayuda

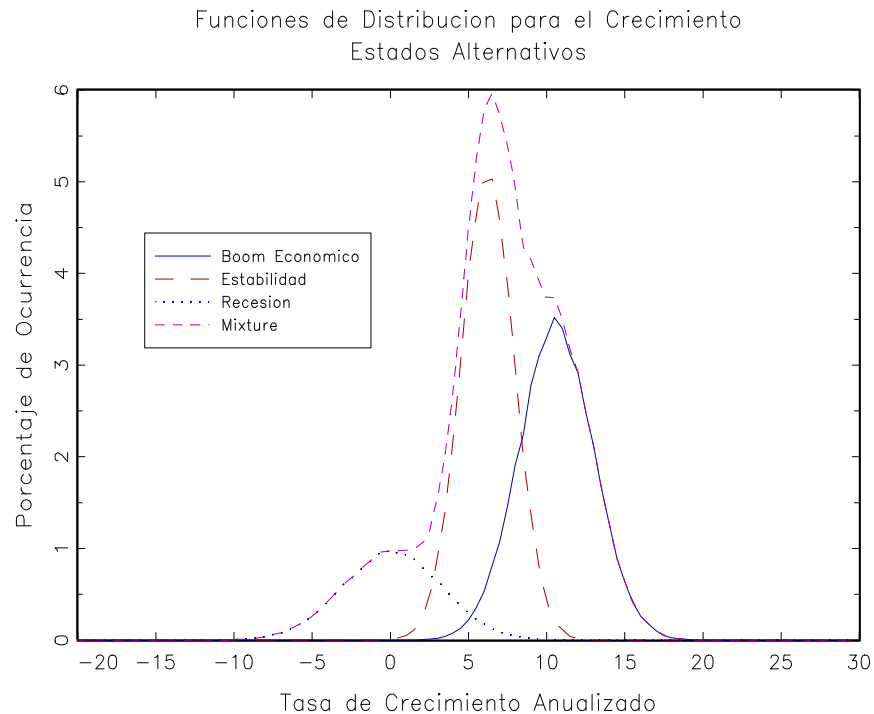


Figura 5: Funciones de Distribución para Eventos Alternativos.

a disminuir la incertidumbre para determinar en que estado de crecimiento se encuentra una economía.

La estimación de la función de distribución mixture a partir de tres estados se prueba contra una distribución normal, de manera de validar la propuesta descriptiva para el crecimiento del IMACEC. Entre los tests más usuales se encuentran el Chi-cuadrado y el test de Kolmogorov-Smirnov propuesto por Press et al. (1988).

3.3 Análisis de las Probabilidades Condicionales

A partir de las funciones de distribución para cada estado de crecimiento de la economía estimadas en la sección anterior es posible determinar las probabilidades condicionales de cada estado en función de la evolución actual de la tasa de crecimiento de la economía. Utilizando la ecuación (6) podemos

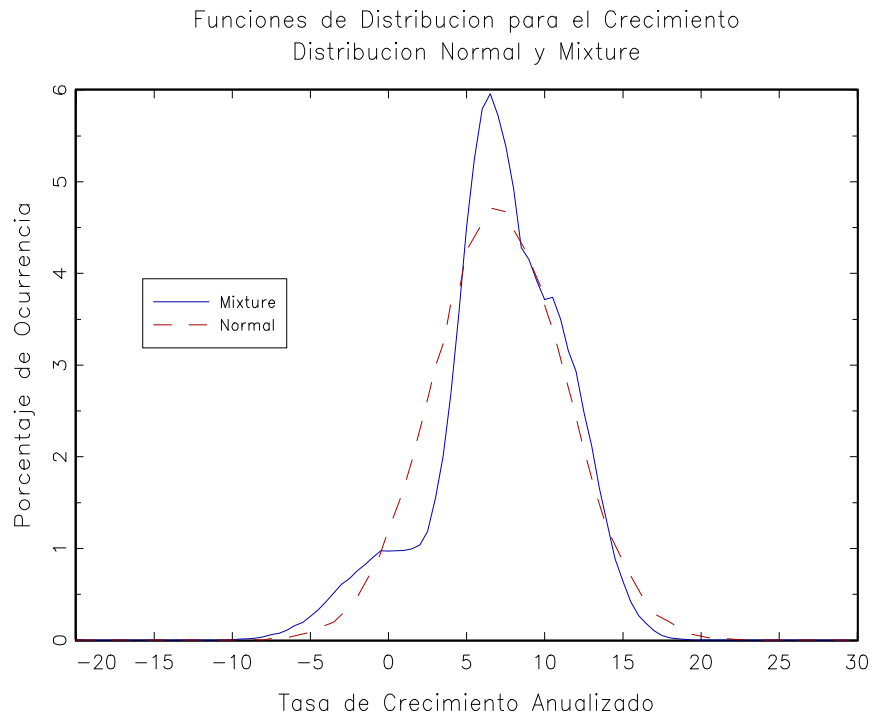


Figura 6: Comparación de Función de Distribución Mixture y Normal

construir la serie de probabilidades condicionales para toda la muestra, las cuales se reportan en la ...gura N⁷.

El diagrama superior presenta la probabilidad de estar en un estado sobre expansivo del producto (boom). Según el análisis efectuado existiría evidencia de que los años 1989, 1992, 1995 y tímidamente a ...nes del año 1997 caracterizaron episodios de boom económico, donde el proceso generador del producto fue la distribución asociada al estado de la naturaleza expansivo. Analizando el diagrama medio de la ...gura N⁷, el cual denota al estado de crecimiento estable y sustentable del producto, se puede inferir que los episodios de estabilidad se remontan a los años 1987-88, parte de 1990, 1993-94, 1996-97, y ...nes de 1999 al primer cuatrimestre del 2000. Los eventos recesivos se veri...carían durante los años 1990 y desde mediados de 1998 hasta

mediados de 1999¹⁴. La tabla N°2 presenta el desarrollo de la política monetaria y su correspondiente estado generado a partir del modelo de cambios de régimen.

Tabla N°2. Política Monetaria y Estados de Crecimiento

Año	Política Monetaria	Estado según Modelo
1990	Contractiva	Estable-Recesión
1991	Expansiva	Recesión-Estable
1992	Contractiva	Boom
1993	Neutral	Estable
1994	Neutral	Estable
1995	Neutral	Boom
1996	Contractiva	Estable
1997	Expansiva	Estable-Boom
1998	Contractiva	Estable-Recesión
1999	Expansiva	Recesión-Estable
2000	Neutral	Estable

Considerando la secuencia de probabilidades de cada estado de crecimiento, condicionada en la data, es posible tener una herramienta de evaluación ex-post de lo que fue el manejo de la política monetaria durante la última década. Existiría evidencia para deducir que la evolución de la política monetaria obedeció a condiciones de actividad para la mayor parte de la década, quedando la duda del manejo monetario que se efectuó durante 1997, aplicando una política monetaria expansiva a la vez que se comenzaba a presenciar mayor volatilidad en los mercados internacionales. Junto a esto teníamos a una economía creciendo a tasas altas, con el consiguiente déficit en cuenta corriente superior al 5%, aunque financiado en su plenitud con ingreso de capitales.

Más allá de definir los motivos que llevaron a que nuestra economía presentara episodios de crecimientos altos, los eventos computados por el modelo en los cuales la economía evidenció características de boom fue de 41.2%, mientras que los eventos de crecimiento estable alcanzaron un 43.5%. Los eventos recesivos fueron los menos alcanzando un 15.3%, centrados principalmente en los últimos meses de 1998 y el primer semestre de 1999.

Un análisis visual de la evolución histórica de las probabilidades estimadas del modelo de cambios de régimen, versus la tasa de interés interbancaria a

¹⁴La evaluación del IMACEC sigue de cerca a la evolución del PIB.

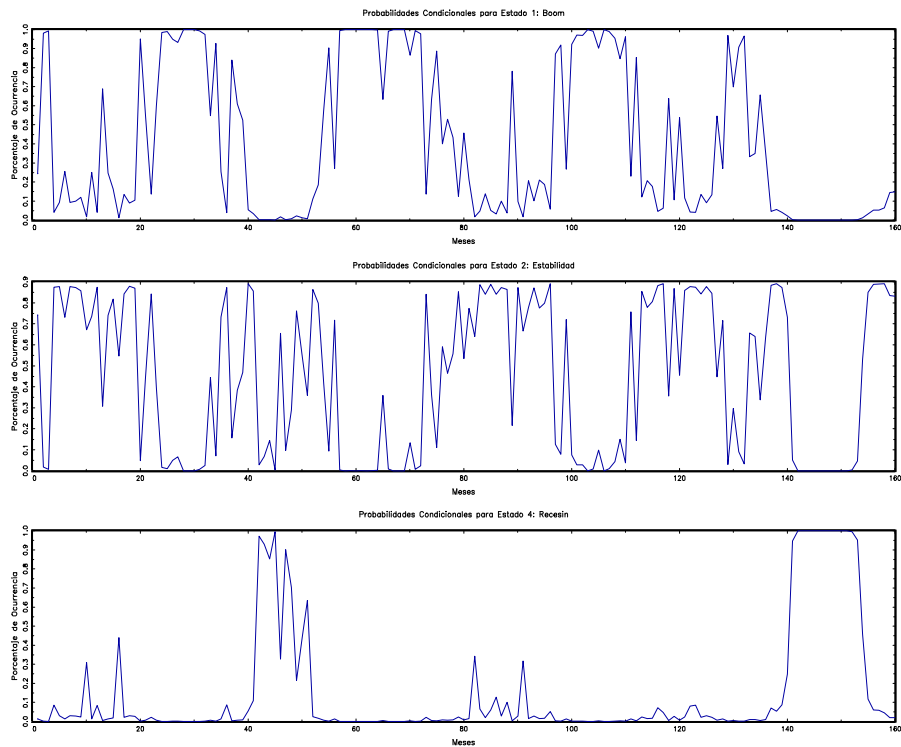


Figura 7: Probabilidad de Ocurrencia de Cada Estado de la Naturaleza.

un día (la tasa de mercado de instancia monetaria). Las ...guras N⁸; 9; y 10 permiten distinguir las fluctuaciones de la tasa de interés con las probabilidades de los distintos eventos considerados.

Es posible veri...car que la probabilidad de que el crecimiento del IMACEC provenga de un estado de crecimiento estable nunca alcanza un 100%. El traslape de las funciones de densidad estimadas para eventos recesivos y de boom, en conjunto con el evento de crecimiento estable, hace que la probabilidad sea inferior a 100%. La inspección de las ...guras N⁵ y 10, deja claro este punto. Si una economía está creciendo al 6% (punto medio de la distribución de crecimiento estable), esto indicará que la probabilidad de que estemos enfrentando un escenario de crecimiento estable es alto pero no del 100%, pues existen probabilidades distintas de cero que indican que esta tasa de crecimiento puede surgir de funciones de densidad características de

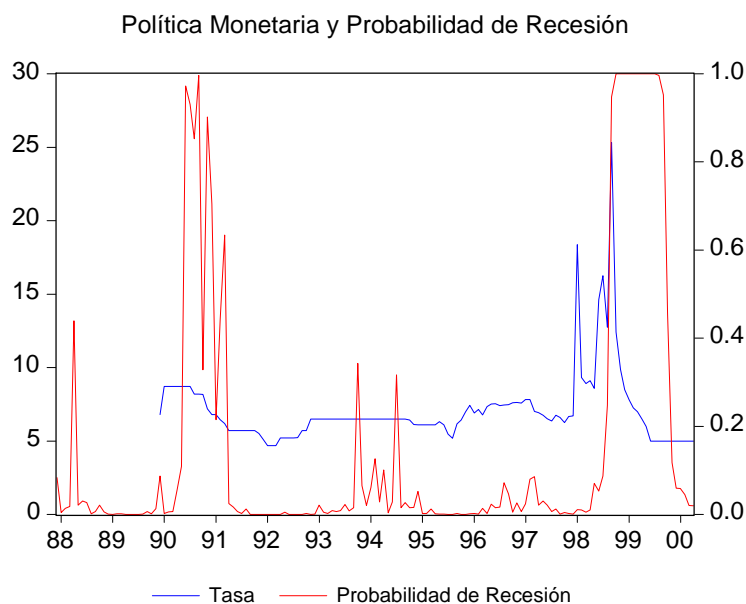


Figura 8: Evolución de la Política Monetaria y Probabilidad del Evento Recesivo.

boom o recesivas¹⁵.

A partir de las tres probabilidades estimadas se construye un índice que representa la "necesidad de modificar política monetaria", cuyo rango va de 0 a 1 y se entiende que en la medida que el indicador es mayor, entonces más se hace necesario un incremento de tasas debido a riesgos de sobrecalentamiento de la economía. Si el índice toma valores en torno a 0.5 entonces se sugiere que el nivel de actividad no presenta riesgos de exceso ni recesivos, sugiriéndose la adopción de una política monetaria neutra. Por último si el indicador está en torno a cero, estaríamos en presencia de un evento recesivo lo cual haría necesario la evaluación de implementar una política monetaria expansiva.

El índice de modificación de política monetaria (índice de probabilidad) propuesto y definido por z ; se construye a partir de una transformación sig-

¹⁵Para el caso puntual de un crecimiento anualizado del 6% del IMACEC, la probabilidad de que la economía esté en una etapa de crecimiento estable alcanza al 90%, mientras que la probabilidad de que esta tasa pertenezca a eventos recesivos o de boom alcanza al 10% (5% y 5% respectivamente).

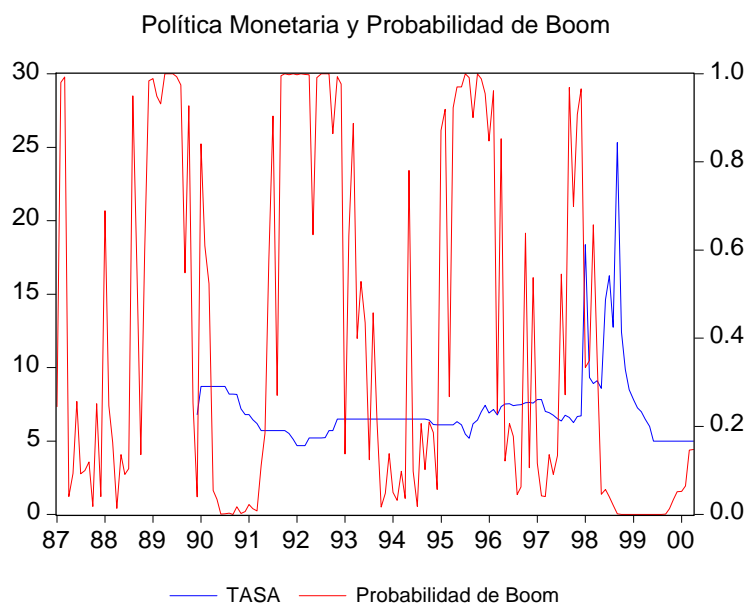


Figura 9: Evolución de la Política Monetaria y Probabilidad del Evento Sobrecalentamiento.

moideal de la razón de probabilidades de...nidas por »:

$$z = \frac{e^{\eta}}{1 + e^{\eta}} \quad (8)$$

donde $\eta = \frac{P[\text{Boom}] - P[\text{Recesión}]}{P[\text{Estabilidad}]}$

La ...gura N°12 presenta la evolución conjunta desde 1987 a abril del 2000 de este índice arti...cial y del crecimiento del IMACEC. Esto permite elaborar un primer test visual de la eventual e...cacia del modelo en representar ...elmente la evolución del nivel de actividad, puesto que este índice está construido a partir de las probabilidades generadas por el modelo. La evaluación es positiva, puesto que el índice de probabilidad z efectivamente sigue la evolución del crecimiento del IMACEC¹⁶.

¹⁶Cabe mencionar a esta altura que todas las estimaciones también se efectuaron con el

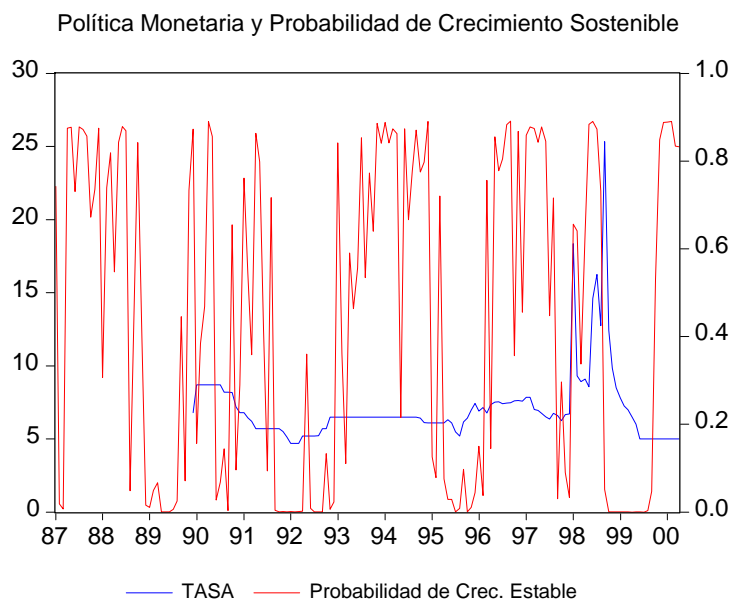


Figura 10: Evolución de la Política Monetaria y Probabilidad del Evento Crecimiento Sostenible.

A partir del modelo de cambios de régimen es posible generar la simulación del crecimiento del IMACEC utilizando las probabilidades generadas por el programa. La figura N°13 presenta el crecimiento del IMACEC efectivo versus el simulado, este último construido a partir de la definición del valor esperado en función de las probabilidades condicionales generadas en el modelo. Para esto se utiliza la expresión:

$$E(y_t) = \prod_{j=1}^h P_{st} = j \cdot j^a \cdot i \cdot \hat{\mu}_j \quad (9)$$

donde para el caso analizado $\hat{\mu}_j = \begin{matrix} 2 & 3 \\ 10:37 & 5 \\ 4 & 5 \\ 5:95 & 0:11 \end{matrix}$, según se reporta en la

Tabla N°1:

PIB trimestral, existiendo una enorme similitud en los resultados y dinámica de probabilidades resultantes.

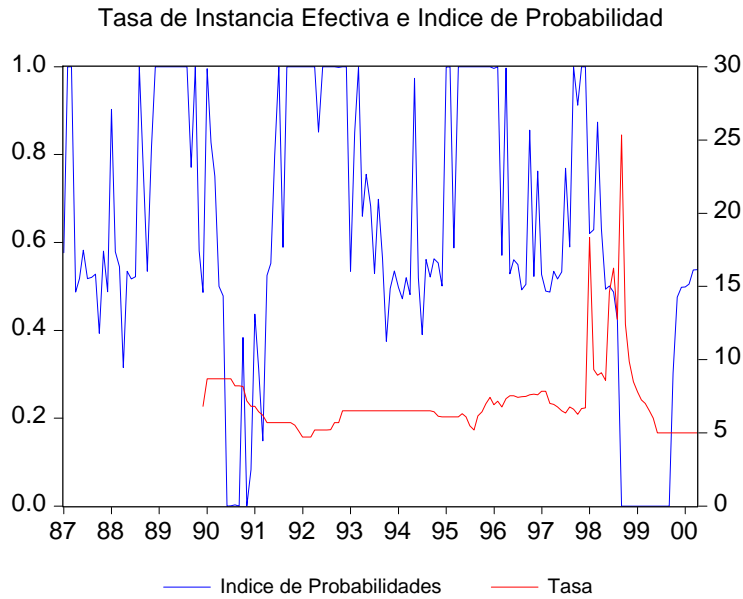


Figura 11: Evolución del Crecimiento e Indice de Probabilidad de Eventos.

Adicionalmente se efectúa una simulación ...litrando las probabilidades a partir de la siguiente función tipo "umbral" (threshold function):

$$P_{S_t = j}^h = \begin{cases} 1; & \text{si } P_{S_t = j}^a \geq 0.5 \\ 0; & \text{si } P_{S_t = j}^a < 0.5 \end{cases} \quad (10)$$

Utilizando la discretización de probabilidades representada por la ecuación (10) se aplica nuevamente la expresión (9) a la base histórica de datos, generándose una versión más discretizada para la evolución del IMACEC (ver ...gura N°14).

Aquí vemos que la tasa de crecimiento del IMACEC simulado a partir de la utilización de la función threshold es bastante consecuente con la evolución del IMACEC actual. Es interesante notar que cada punto simulado para el crecimiento del IMACEC posee una distribución específica que permitiría generar los valores de crecimiento actuales del IMACEC.

Reconstruyendo el índice para el nivel del IMACEC, comparamos su evolución versus el IMACEC efectivo, lo cual permite evaluar las carac-

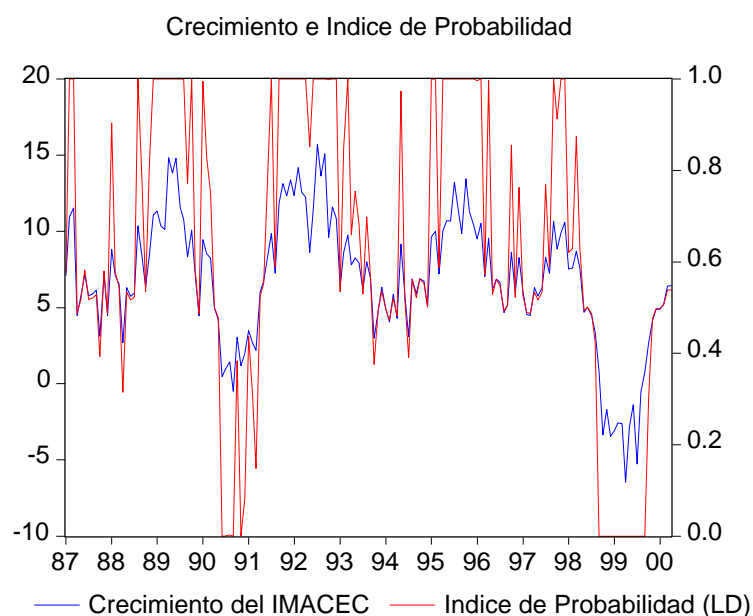


Figura 12: Evolución del Crecimiento e Índice de Probabilidad de Eventos.

terísticas del modelo estimado. A diferencia de los modelos estimados que asumen una tendencia determinística para el IMACEC, este modelo genera una evolución del IMACEC en torno a una tendencia estocástica en tres estados, generándose un $\hat{R}^2 = 0.95$. (ver ...gura N°15).

4 Conclusiones

Este artículo aplica la metodología de cambios de régimen a la serie de crecimiento del IMACEC¹⁷. Asumiendo tres estados de la naturaleza posibles (boom, crecimiento sostenible, y recesión), se obtienen las probabilidades condicionales históricas de pertenecer en cada momento del tiempo a un evento en particular. Se encuentra que la características de las funciones de distribución estimadas para cada estado di...eren tanto en su media como en

¹⁷Actualmente el autor está desarrollando un modelo del tipo markoviano para el IMACEC siguiendo la línea de Hamilton (1989), Mizrach y Watkins (1999) y Simon (1996), entre otros.

IMACEC y Modelo de Probabilidades

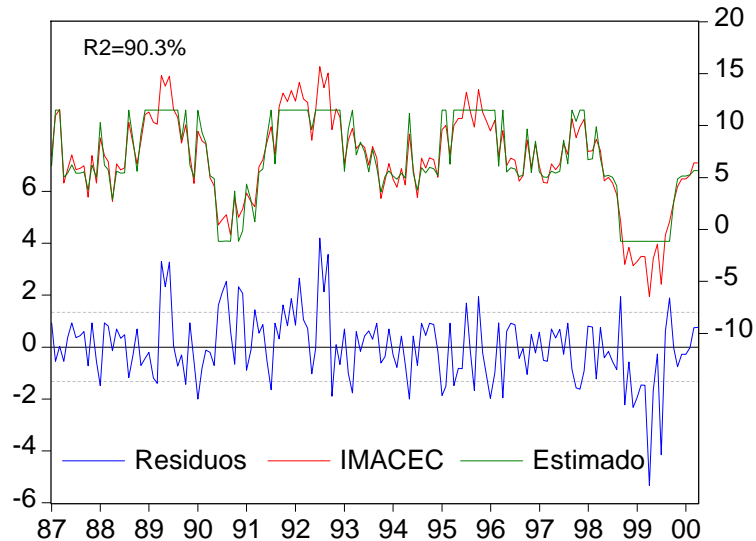


Figura 13: Estimación del Modelo de IMACEC e Índice de Probabilidades.

su desviación estándar. Es así como para el evento de boom el crecimiento medio está en torno al 10.4% con una desviación estándar de 2.4%, mientras que para el evento recesivo los estadísticos estimados fueron -0.11% y 3.2%, respectivamente. Interesante es notar que las tasas de crecimiento potencial estimadas en estudios previos indicaban valores por sobre los estimados en este artículo. La función de distribución para el evento de crecimiento sustentable entrega una media en torno al 6% (estudios previos arrojaron valores en torno al 7 y 8%) con una volatilidad de 1.7%.

En general las predicciones del modelo se validan contrastándola con la evolución de la política monetaria y el nivel de actividad de la economía. Esto sirvió de fundamento para generar un indicador de manejo monetario, el cual tiene la virtud de incorporar en un solo índice toda la información de las probabilidades estimadas por el modelo, facilitando la aplicación de políticas monetarias alternativas a través de la lectura de este indicador. Considerando la última información de crecimiento disponible (abril 2000), el indicador sugiere la aplicación de una política monetaria neutral, no evidenciándose actualmente signos recesivos ni de exceso de gasto.

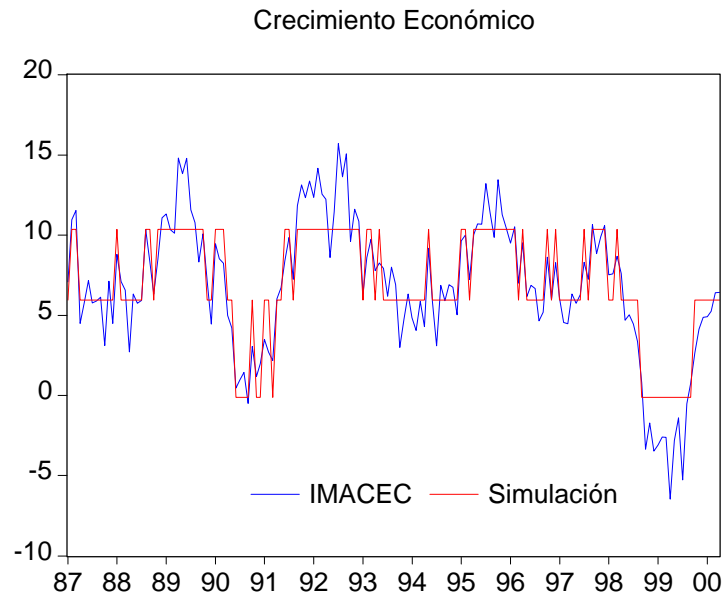


Figura 14: Crecimiento Económico IMACEC y Simulado a Partir del Modelo de Cambios de Regimen.

Referencias

- [1] Amemiya, T. (1985). *Advanced Econometrics*. Harvard University Press.
- [2] Chumacero, R., y J. Quiroz (1997). "Ciclos y Crecimiento en la Economía Chilena: 1985-1996", en Morandé, F., y R. Vergara (eds.) *Análisis Empírico del Crecimiento en Chile*, CEP e ILADES/Georgetown University.
- [3] Hamilton, J. (1989). "A New Approach to the Economic Analysis of Nonstationary Time Series and the Business Cycle", *Econometrica* 57(2) (357-384).
- [4] Hamilton, J. (1990). "Analysis of Time Series Subject to Changes in Regime", *Journal of Econometrics* 45 (39-70).

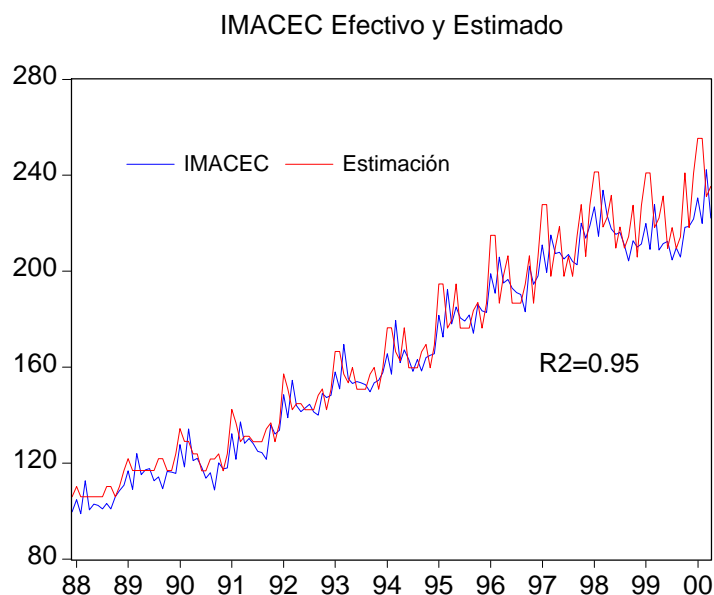


Figura 15: IMACEC Efectivo y Simulado a Partir del Modelo de Cambios de Regimen.

- [5] Hamilton, J. (1991). "A Quasi-Bayesian Approach to Estimating Parameters for Mixtures of Normal Distributions", *Journal of Business and Economic Statistics* vol. 9 (27-39).
- [6] Hamilton, J. (1993). "Estimation, Inference, and Forecasting of Time Series Subject to Changes in Regime", en eds. G. D. Maddala, C. R. Rao, y H. D. Vinod, *Handbook of Statistics*, Vol. 11 (231-259), New York.
- [7] Hamilton, J. (1994). *Time Series Analysis*. Princeton University Press.
- [8] Johnson, C. (2000). "A Dynamic Optimal Portfolio Using Genetic Algorithms", manuscrito Banco Central de Chile.
- [9] Kim, C., y C. Nelson (1999). *State-Space Models with Regime Switching: Classical and Gibbs-Sampling Approaches with Applications*. The MIT Press.

- [10] Mizrach, B. y J. Watkins (1999). "A Markov Switching Cookbook", en *Nonlinear Time Series Analysis of Economic and Financial Data, serie Dynamic Modeling and Econometrics in Economics and Finance*, ed. Philip Rothman, Kluwer Academic Publishers.
- [11] Morandé, F. (2000). "A Decade of Inflation Targeting in Chile: Main Developments and Lessons", manuscrito, Banco Central de Chile.
- [12] Potter, S. (1999). "Nonlinear Time Series Modelling: An Introduction", Working Paper, Federal Reserve Bank of New York, agosto.
- [13] Press, W., B. Flannery, S. Teukolsky y W. Vetterling (1988). *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*. Cambridge University Press.
- [14] Rojas, P., E. López, y S. Jiménez (1997). "Determinantes del Crecimiento y Estimación del Producto Potencial en Chile: El Rol del Comercio Internacional", en Morandé, F., y R. Vergara (eds.) *Análisis Empírico del Crecimiento en Chile*, CEP e ILADES/Georgetown University.
- [15] Roldós, J. (1997). "El Crecimiento del Producto Potencial en Mercados Emergentes: El Caso de Chile", en Morandé, F., y R. Vergara (eds.) *Análisis Empírico del Crecimiento en Chile*, CEP e ILADES/Georgetown University.
- [16] Simon, John (1996). "A Markov-Switching Model of Inflation in Australia", Research Discussion Paper N°9611, Reserve Bank of Australia, Diciembre.
- [17] Thisted, R. (1988). *Elements of Statistical Computing: Numerical Computation*. New York: Chapman and Hall.
- [18] Valdés, R. (1998). "Efectos de la Política Monetaria en Chile", *Cuadernos de Economía* 35 (104): 97-125.

A Apéndice

A.1 GAUSS

Aquí se presenta el código escrito en GAUSS que permite estimar el modelo de cambios de régimen con tres estados de la naturaleza posibles, considerando en memoria la serie $y=IMACEC$.

```
max=1000;
s=3;
ps=zeros(s, rows(y));
tol=.00001;
mu=(meanc(y)+1.5*stdc(y))*ones(1, max)j(meanc(y)-0*stdc(y))
*ones(1, max)j(meanc(y)-1.5*stdc(y))*ones(1, max);
sd2=stdc(y)*1*ones(1, max)jstdc(y)*1*
ones(1, max)jstdc(y)*1*ones(1, max);
q=1+zeros(s, max);
psnum=ps;
theta=zeros(max, 3*s);
m=2;
do while m lt max;
    t=1;
    do while t le rows(y);
        j=1;
        do while j le s;
            psnum[j, t]=q[j, m]*1/(sqrt(2*pi)*sd2[j, m])*
exp(-.5*((y[t]-mu[j, m])/sd2[j, m])^2);
            j=j+1;
        endo;
        j=1;
        do while j le s;
            ps[j, t]=psnum[j, t]/sumc(psnum[., t]);
            j=j+1;
        endo;
        t=t+1;
    endo;
    j=1;
    do while j le s;
        mu[j, m]=ps[j, .]*y/(ps[j, .]*ones(rows(y), 1));
```

```

sd2[j, m] =sqrt(ps[j, .]*(y-mu[j, m])^2/(ps[j, .]*
ones(rows(y), 1)));
q[j, m] =1/rows(y)*(ps[j, .]*ones(rows(y), 1));
j=j+1;
endo;
theta[m, .]=mu[1, m]~mu[2, m]~mu[3, m]~sd2[1, m]~sd2[2, m]
~sd2[3, m]~q[1, m]~q[2, m]~q[3, m];
dif=sumc((theta[m, .]'-theta[m-1, .]')^2);
if dif le tol; goto a10; endif;
m=m+1;
mu[1, m]=mu[1, m-1]; mu[2, m]=mu[2, m-1]; mu[3, m]=mu[3, m-1];
sd2[1, m]=sd2[1, m-1]; sd2[2, m]=sd2[2, m-1]; sd2[3, m]=sd2[3, m-1];
q[1, m]=q[1, m-1]; q[2, m]=q[2, m-1]; q[3, m]=q[3, m-1];
endo;

```