



# **Modelos Markov con Probabilidades de Transición Variantes: Una Aplicación al Análisis de Crisis Cambiarias**

**Alberto Humala**

XXIV Encuentro de Economistas

Gerencia de Estudios Económicos

13 – 15 Diciembre



# Motivación

- Presiones devaluatorias generan:
  - Incrementos discretos del tipo de cambio,
  - Pérdidas de reservas internacionales, o
  - Aumentos importantes de la tasa de interés de corto plazo local (y su diferencial con la tasa equivalente extranjera)
- Las interrelaciones entre estos movimientos permiten identificar episodios de ataques especulativos
  - Comportamiento es distinto ante mayor volatilidad en los mercados financieros
  - Información financiera puede alertar sobre presiones cambiarias
- Las intervenciones en el mercado cambiario se justifican para limitar volatilidad
  - Son necesarias?
  - Alteran la distribución probabilística del tipo de cambio?



# Objetivo

- Evaluar empírica y simultáneamente:
  - la presencia de presiones cambiarias y
  - sus determinantes
- Sobre la base de información de los mercados financieros: variaciones en
  - el tipo de cambio
  - las reservas internacionales y
  - los diferenciales de tasas de interés



# Literatura Relacionada

- Hamilton, James (1989, 1994)
  - Cambios de régimen Markov
- Diebold, Lee y Weinbach (1994)
  - Cambios de régimen Markov con PTVT
- Martínez, María (EE, 2002)
  - Simultánea identificación de cambios de régimen y determinantes de crisis cambiarias



# Modelo de Cambios Markov

- La relación entre las variaciones en el tipo de cambio, las reservas internacionales y las tasas de interés (diferenciales) están sujetas a cambios de régimen si los parámetros que la representan cambian de acuerdo a qué estado o régimen prevalece en el sistema financiero en cada período:
  - Los agentes financieros conocen en qué momento ocurre el cambio de régimen pero el investigador no
- VAR con cambios de régimen: MS-VAR

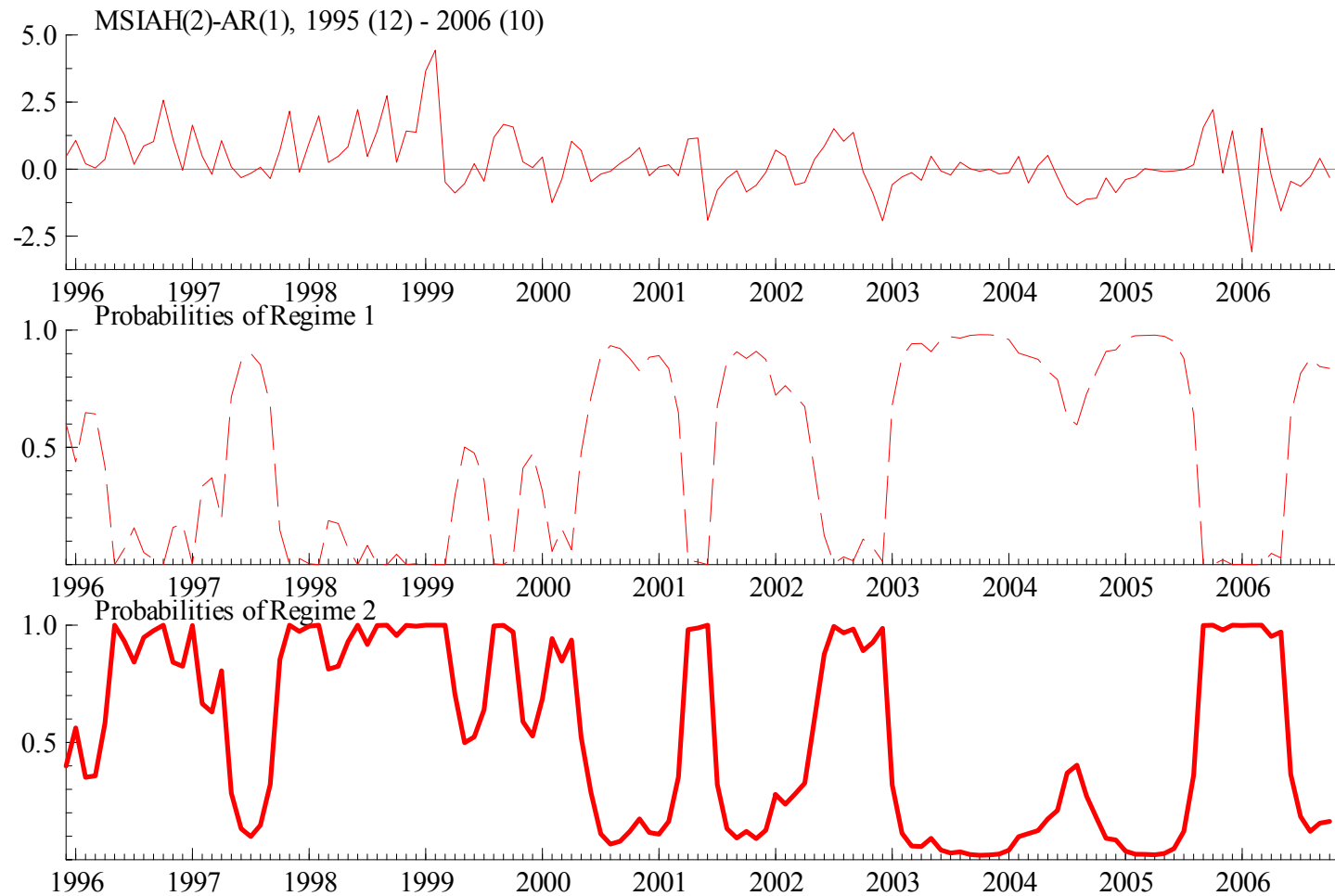
$$y_t = v(s_t) + \sum_{j=1}^p A_j(s_t) y_{t-j} + u_t$$

$$u_t \sim \text{NID}(0, \Sigma(s_t)) \quad s_t = 0, 1 \text{ no es observable}$$

$$\Pr(s_{t+1} = j \mid s_t = i) = p_{ij} \quad \sum_{j=0}^M p_{ij} = 1 \forall i, j \in \{0, 1\}$$

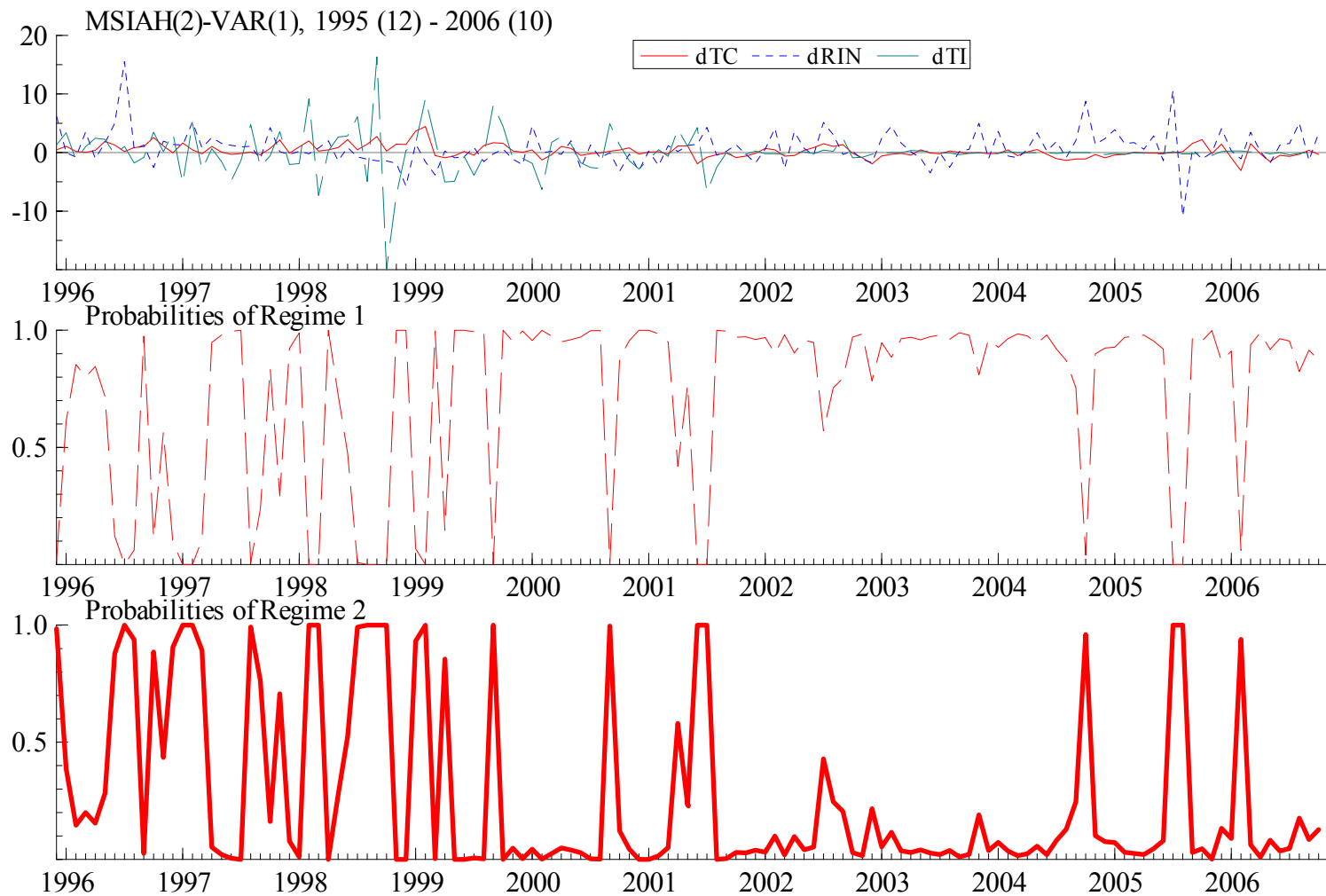


# Presiones Cambiarias: MS-AR





# Presiones Cambiarias: MS-VAR





# Clasificación Régimen Volátil

1995:12 - 1995:12

1998:2 - 1998:3

2001:4 - 2001:4

1998:6 - 1998:10

2001:6 - 2001:7

1996:6 - 1996:8

1996:10 - 1996:10

1999:1 - 1999:2

2004:10 - 2004:10

1996:12 - 1997:3

1999:4 - 1999:4

1999:9 - 1999:9

2005:7 - 2005:8

1997:8 - 1997:9

1997:11 - 1997:11

2000:9 - 2000:9

2006:2 - 2006:2



# MS-VAR con PTVT

$$\Delta e_t = c_{s_t}^{\Delta e} + \alpha_{s_t}^{\Delta e} [\Delta e_{t-1}] + \delta_{s_t}^{\Delta e} [\Delta rin_{t-1}] + \gamma_{s_t}^{\Delta e} [\Delta di_{t-1}] + \sigma(s_t) u_t^{\Delta e} \quad (1)$$

$$\Delta rin_t = c_{s_t}^{\Delta rin} + \alpha_{s_t}^{\Delta rin} [\Delta e_{t-1}] + \delta_{s_t}^{\Delta rin} [\Delta rin_{t-1}] + \gamma_{s_t}^{\Delta rin} [\Delta di_{t-1}] + \sigma(s_t) u_t^{\Delta rin} \quad (2)$$

$$\Delta di_t = c_{s_t}^{\Delta di} + \alpha_{s_t}^{\Delta di} [\Delta e_{t-1}] + \delta_{s_t}^{\Delta di} [\Delta rin_{t-1}] + \gamma_{s_t}^{\Delta di} [\Delta di_{t-1}] + \sigma(s_t) u_t^{\Delta di} \quad (3)$$

¿Como endogenizar las PTVT?



## Probabilidades de Transición VT

Probabilidades de transición variantes son funciones logísticas de:

$$x'_{t-1} \beta_i \quad i = 0, 1$$

$x_{t-1}$  es un vector ( $k \times 1$ ) que contiene variables económicas/financieras que afectan las probabilidades de transición entre regímenes

$\beta = (\beta'_0, \beta'_1)'$  ( $2k \times 1$ ) vector de parámetros que gobiernan las probabilidades de transición



# Determinantes de las PTVT

Modelos de primera generación: los “fundamentals”

- Expansión del crédito interno
  - Moneda nacional
  - Moneda extranjera
- Balance comercial (M/X)
- Tipo de cambio real
- Déficit fiscal
- Desempleo (?)

Modelos de segunda generación: las expectativas

- Diferencial de tasas de interés



# Matriz de Probabilidades de Transición

Tiempo  $t$

Estado 0

Estado 1

	$p_t^{00}$	$p_t^{01} = (1 - p_t^{00})$
Estado 0	$P(s_t = 0 / s_{t-1} = 0, x_{t-1}; \beta_0)$	$P(s_t = 1 / s_{t-1} = 0, x_{t-1}; \beta_0)$
	$\frac{\exp(x'_{t-1}\beta_0)}{1 + \exp(x'_{t-1}\beta_0)}$	$1 - \frac{\exp(x'_{t-1}\beta_0)}{1 + \exp(x'_{t-1}\beta_0)}$
Tiempo $t-1$		
	$p_t^{10} = (1 - p_t^{11})$	$p_t^{11}$
Estado 1	$P(s_t = 0 / s_{t-1} = 1, x_{t-1}; \beta_1)$	$P(s_t = 1 / s_{t-1} = 1, x_{t-1}; \beta_1)$
	$1 - \frac{\exp(x'_{t-1}\beta_1)}{1 + \exp(x'_{t-1}\beta_1)}$	$\frac{\exp(x'_{t-1}\beta_1)}{1 + \exp(x'_{t-1}\beta_1)}$



# Función de Verosimilitud de Datos Completos

Dado  $\theta$ , el vector de todos los parámetros del modelo y asumiendo que  $y_t$  y  $s_t$  son observadas, la función de verosimilitud de datos completos está dada por:

$$f(\underline{y}_T, \underline{s}_T / \underline{x}_T; \theta) = f(y_1 / s_1; \alpha) P(s_1) \prod_{t=2}^T f(y_t / s_t; \alpha) P(s_t / s_{t-1}, x_{t-1}; \beta)$$

La función logL de datos completos, sin embargo, no puede ser construida dado que  $s_t$  no es observable



## Función de Verosimilitud de Datos Incompletos

La función  $\log L$  de datos incompletos puede ser obtenida sumando sobre todos las posibles secuencias de estado y luego maximizando con respecto a  $\theta$

$$f(\underline{y}_T / \underline{x}_T; \theta) = \log \left( \sum_{s_1=0}^1 \sum_{s_2=0}^1 \dots \sum_{s_T=0}^1 f(\underline{y}_T, \underline{s}_T / \underline{x}_T; \theta) \right)$$

En la práctica, la construcción y numérica maximización de la función  $\log L$  de datos incompletos es computacionalmente intratable porque  $s_t$  puede realizarse en  $2^T$  diferentes combinaciones

Alternativamente, se utiliza y sugiere el algoritmo de Expectativas y Maximización (EM)



# Estimación por Algoritmo EM

- Procedimiento estable y robusto para maximizar la función logL de datos incompletos vía maximización iterativa de la función logL de datos completos esperada, condicional a los datos observados:

1. Seleccionar  $\theta^{(0)}$

2. Obtener  $P(s_t = 1 / \underline{y}_T, \underline{x}_T; \theta^{(0)}) \forall t$

$$P(s_t = 0 / \underline{y}_T, \underline{x}_T; \theta^{(0)}) \forall t$$

$$P(s_t = 1, s_{t-1} = 1 / \underline{y}_T, \underline{x}_T; \theta^{(0)}) \forall t$$

$$P(s_t = 0, s_{t-1} = 1 / \underline{y}_T, \underline{x}_T; \theta^{(0)}) \forall t$$

\* Sufijos cuentan iteraciones



# Estimación por Algoritmo EM

$$P(s_t = 1, s_{t-1} = 0 / \underline{y}_T, \underline{x}_T; \theta^{(0)}) \forall t$$

$$P(s_t = 0, s_{t-1} = 0 / \underline{y}_T, \underline{x}_T; \theta^{(0)}) \forall t$$

- Usando P's construir:  $E \log f(\underline{y}_T, \underline{s}_T / \underline{x}_T; \theta^{(0)})$
- 3. Establecer  $\theta^{(1)} = \arg \max_{\theta} E \left[ \log f(\underline{y}_T, \underline{s}_T / \underline{x}_T; \theta^{(0)}) \right]$
- 4. Iterar hasta convergencia



# Resumen Algoritmo EM

Paso 1: Supuesto inicial para el vector de parámetros

Paso 2: Parte de Expectativas (E).

Genera probabilidades del régimen suavizadas

Paso 3: Parte de Maximización (M).

Genera estimados actualizados de los parámetros

Paso 4: Criterio de convergencia



## Resultados Preliminares

Variables	MSIAH(2)-VAR(1)					
	TC	t-stat	RIN	t-stat	Tasas	t-stat
<b><u>Régimen 0</u></b>						
Constante	0.128	1.00	0.62	2.44	-0.289	-1.25
TC			0.49	1.26	0.682	2.28
RIN					-0.350	-0.28
TC(-1)	0.268	2.46	-0.82	-2.13	-0.031	-1.27
RIN(-1)	-0.100	-2.27	0.02	0.16	0.030	0.29
Tasas(-1)	-0.030	-0.52	0.13	1.20	0.332	5.60
S.E.	0.667	4.57	3.97	5.15	1.575	5.10
<b><u>Régimen 1</u></b>						
Constante	0.197	0.30	1.99	0.77	1.759	0.96
TC			-0.91	-0.35	0.318	0.25
RIN					1.771	-0.32
TC(-1)	0.737	2.00	0.39	0.13	-0.198	1.95
RIN(-1)	0.027	0.12	-0.17	-0.33	-0.099	-0.32
Tasas(-1)	-0.100	-0.57	-0.23	-0.29	-1.392	-5.84
S.E.	1.082	1.64	15.97	1.46	6.490	1.19
<b><u>PTVT</u></b>						
	<b><u>Regime 0</u></b>		<b><u>Regime 1</u></b>			
Constante	-8.901	-0.53	39.35	0.37		
Crédito MN	0.065	0.12	-0.45	-0.16		
Crédito ME	0.360	0.56	1.42	0.49		
M/X	-3.877	-0.76	-16.61	-0.52		
TCR	0.121	0.94	-0.24	-0.29		
Déficit Fiscal	-0.001	-0.46	0.00	0.18		
Dif. Tasas	0.000	0.00	0.66	0.30		



## Conclusiones

- Los modelos de cambios de régimen pueden identificar los episodios de presiones o crisis cambiarias sobre la base de información de los mercados financieros
- Los principales episodios estuvieron asociados a las crisis financieras internacionales (contagio?), pero no han sido los únicos
- Preliminarmente: no se encuentra evidencia empírica a favor de los modelos de primera generación de crisis cambiarias. Sin embargo, investigación en su fase inicial



Muchas Gracias!