

*Análisis de los tipos de cambio  
en la economía mexicana  
y comparación con otros países:  
un enfoque de volatilidad estocástica*

MATILDE ARRANZ  
EMMA M. IGLESIAS\*

**INTRODUCCIÓN**

En el campo de la investigación económica, los estudios acerca de la volatilidad de los tipos de cambio son numerosos. La mayoría de ellos hacen hincapié en el análisis de la posible incidencia que la variabilidad de los tipos de cambio, en su doble consideración de nominales y reales, pueda tener sobre diversos aspectos macroeconómicos de gran importancia para el desarrollo y el crecimiento económico, tales como el comercio exterior, la inversión o el empleo. Entre ellos, Frankel y Wei (1993), Coté (1994), Guérin y Lahrèche-Révil (2001) y Tenreyro (2003).

Otro tipo de trabajos de investigación se ha centrado más en el análisis del comportamiento de la volatilidad de las series económico-financieras. Para ello se han especificado, en las últimas décadas, diversos modelos, muchos

---

Manuscrito recibido en octubre de 2002; aceptado en febrero de 2005.

\* Matilde Arranz es profesora de la Universidad de A Coruña, España. Emma M. Iglesias es profesora de la Michigan State University, Estados Unidos <epv@udc.es>. Las autoras desean agradecer los comentarios recibidos por los evaluadores anónimos que han mejorado sustancialmente el artículo.

de ellos basados en los modelos autorregresivos con heteroscedasticidad condicionada (ARCH) y sus derivados. En los últimos años, los modelos de volatilidad estocástica se han mostrado más adecuados para el tratamiento de este tipo de series (Mahieu y Schotman, 1998).

El objetivo de este trabajo es analizar, mediante un modelo de volatilidad estocástica, la evolución de los tipos de cambio en México. Utilizamos el tipo de cambio nominal para evitar la variabilidad que conllevan los precios relativos, ya sean de los bienes objeto de transacción o de los bienes de consumo.

Algunos estudios sobre el comportamiento de los tipos de cambio en México se han hecho ya, pero utilizando otras metodologías, como los de Huerta y Hernández-Trillo (1995) y Kakkar (2001).

También comparamos los resultados obtenidos para México con los obtenidos al analizar los tipos de cambio de otros cuatro países. Dos de ellos son países europeos con alto nivel de desarrollo: el Reino Unido y Noruega. Han tenido que ser países ajenos a la Unión Monetaria para poder disponer de datos homogéneos del tipo de cambio respecto al dólar que fuesen posteriores al 1 de enero de 1999.

Los otros dos, son países con un nivel de ingresos inferior y más cercanos al nivel de México: Venezuela y la República Sudafricana. Venezuela se encuentra en una posición económica más próxima a la de México, a pesar de la diferente situación que han vivido en los últimos años. El índice de desarrollo humano es similar para los dos países y comparten zona geográfica y el hecho de que Estados Unidos es el primer mercado internacional para sus productos. La República Sudafricana es una economía diferente de la mexicana por situación geográfica, tamaño y estructura aunque mantiene un producto interno bruto (PIB) per cápita similar.

El trabajo se estructura de la siguiente manera. En la sección dos se hace una breve exposición de la metodología utilizada; por una parte, se define el modelo de volatilidad estocástica indicando cuáles son sus principales ventajas respecto a otros competidores como el tradicional modelo GARCH; por otra, se argumentan las razones para la elección del método de estimación. La sección tres muestra y comenta los resultados obtenidos en la aplicación realizada y, finalmente, la sección cuatro resume las principales conclusiones.

### EL MODELO DE VOLATILIDAD ESTOCÁSTICA

El fenómeno de la heteroscedasticidad condicionada es una característica de muchas series temporales de datos financieros y, entre ellas, de los tipos de cambio. Una posible forma de modelizarlas es mediante el uso del denominado modelo ARCH que ha sido propuesto por Engle (1982) y generalizado (GARCH) por Bollerslev (1986). Posterior a estos trabajos han aparecido numerosas extensiones y aplicaciones de estos modelos, debido a su gran éxito cuando se han llevado a la práctica (véase: Bollerslev, Chou y Kroner (1992), Bera y Higgins (1993) y Diebold y López (1995) entre otros).

Otra posibilidad de modelización es mediante el denominado modelo de volatilidad estocástica (sv) propuesto por Taylor (1986, 1994). En este caso, la varianza se trata como un componente no observable, siendo su logaritmo el que se modeliza directamente a partir de un proceso estocástico lineal. El modelo básico viene definido como:

$$y_t = \beta e^{h_t/2} \varepsilon_t; t \geq 1 \quad [1]$$

$$h_{t+1} = \mu + \phi(h_t - \mu) + \sigma_\eta \eta_t \quad [2]$$

$$h_t \sim N \left( \mu, \frac{\sigma^2}{1 - \phi^2} \right) \quad [3]$$

donde el parámetro  $\beta$  puede ser interpretado como la volatilidad instantánea modal,  $\phi$  refleja la persistencia de esa volatilidad y  $\sigma_\eta$  es la volatilidad del logaritmo de la volatilidad;  $\varepsilon_t$  y  $\eta_t$  son shocks que se corresponden con ruidos blancos normales estándar que están incorrelacionados entre sí. Otras especificaciones más avanzadas del modelo han sido propuestas recientemente, por ejemplo en Chib, Nardari y Shephard (2002), para el caso de distribuciones de los errores con t-de-Student o con la incorporación de variables exógenas y componentes de saltos. Sin embargo, como veremos en la sección tres, una especificación sencilla como la mencionada es ya suficiente para permitir que nuestro modelo pase los contrastes necesarios que permitan rechazar un error en la especificación.

Principalmente, en el caso de que  $\phi$  sea próximo a 1, dicho modelo presenta características muy similares al modelo GARCH(1,1); sin embargo, ofrece importantes ventajas (Ghysels, Harvey y Renault, 1996):

1. Permite capturar asimetrías que el modelo GARCH básico es incapaz de recoger
2. Permite imponer restricciones menos severas en la perturbación. El modelo sv muestra leptokurtosis incluso si el parámetro  $\phi$  es cero, dado que la serie temporal  $y_t$  está formada como una “mezcla” de distribuciones ( $\sigma_n$  es el parámetro que controla el grado de “mezcla”). En el modelo GARCH, por el contrario, el grado de kurtosis viene impuesto por las raíces de la ecuación de la varianza. Es por esta causa que, generalmente, hay que imponer una distribución diferente a la normal en la distribución condicionada del GARCH, pero incluso en ese caso, el modelo sv puede ofrecer un ajuste de los datos tan bueno como el del GARCH que está, en general, más sobreparametrizado (Kim, Shephard y Chib, 1998)
3. Permite obtener una medida de la facilidad del modelo para predecir la volatilidad (el modelo GARCH no lo permite). De esta manera describe mejor el comportamiento de la volatilidad observada y es más flexible
4. Los modelos GARCH y sv son modelos en tiempo discreto; sin embargo, sv está más cerca del modelo en tiempo continuo que el GARCH

En cuanto a la estimación del modelo sv, Harvey, Ruiz y Shephard (1994) proponen usar el filtro de Kalman de forma que se obtengan los valores de los parámetros maximizando la función de verosimilitud. El problema es que este estimador “quasi-máximo-verosimil”, a pesar de ser consistente y tener buenas propiedades con muestras grandes, no se comporta de la misma manera con muestras pequeñas.

Kim, Shephard y Chib (1998) proponen, en un artículo en el que analizan los tipos de cambio del Reino Unido, Alemania, Japón y Suiza, un nuevo método de estimación basado en el algoritmo Markov Chain Monte Carlo (MCMC). Este tipo de algoritmos, que son característicos de la teoría bayesiana, tratan, básicamente, de producir variantes desde una función de densidad multivariante dada. Mediante simulación muestran cómo tras el proceso se puede conseguir una mejora muy significativa en la eficiencia de la estimación introduciendo una reponderación final que facilita una muestra

de la propia función de densidad posterior exacta de los parámetros y de las volatilidades. Este será el método que utilizaremos en este trabajo.<sup>1</sup>

Nuestro modelo queda definido por la especificación dada en [1], [2] y [3], siendo la serie  $y_t$  (siguiendo a Harvey, Ruiz y Shephard, 1994; Kim, Shephard y Chib, 1998):

$$y_t = 100 \left\{ (\log r_t - \log r_{t-1}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log r_i - \log r_{i-1}) \right\} \quad [4]$$

donde  $r_t$  se corresponde con el tipo de cambio en el momento  $t$ . Definiendo  $y_t$  de dicha manera, nos aseguramos de que no existe ningún valor de  $y_t$  idénticamente igual a cero y, además, de que las series analizadas son estacionarias.

## RESULTADOS EMPÍRICOS

Tal como mencionamos, estimamos mediante el algoritmo MCMC de Kim, Shephard y Chib (1998) el modelo especificado por [1], [2] y [3], definiendo  $y_t$  tal como expusimos en la ecuación [4]. Básicamente, el procedimiento obtiene, repetidamente, muestras de las volatilidades no observables y posteriormente utiliza un sistema de ponderación (véase: Kim, Shephard y Chib (1998) para más detalles). En esta última ecuación,  $r_t$  son los tipos de cambio diarios en relación al dólar estadounidense registrados entre el 1 de junio de 1998 y el 30 de junio de 2000 (528 observaciones) para México, Noruega, el Reino Unido, la República Sudafricana y Venezuela<sup>2</sup> (a partir del 1 de enero de 1999 la base de datos utilizada dejó de proporcionar los tipos de cambio para los países integrantes de la Unión Monetaria Europea).

Los resultados de la estimación aparecen recogidos en el cuadro 1. Como ya expusimos, el parámetro  $\phi$  puede entenderse como una medida de la

<sup>1</sup> Se ha utilizado el programa SvPack 2.0 creado por Shephard (1998) para su uso en Ox (Doornik, 1999), en conjunción con SsfPack (Koopman, Shephard y Doornik, 1999).

<sup>2</sup> Todos los datos han sido obtenidos de la base de datos de la Reserva Federal de Estados Unidos disponible en su página web.

persistencia de la volatilidad que presenta la serie,  $\beta$  refleja directamente la volatilidad de esa serie (aquellas series con un valor más elevado de este parámetro son más volátiles) y  $\sigma_\eta$  puede interpretarse como una medida de la facilidad del modelo para predecir la volatilidad y, por tanto, la propia serie temporal (valores altos de  $\sigma_\eta$  son indicativos de la dificultad del modelo para capturar y predecir la volatilidad y si la volatilidad es difícil de ser capturada por el modelo, también lo son los cambios en los valores de  $y_t$ ).

CUADRO 1

*Resultados de la estimación del modelo sv*

	México	Noruega	Reino Unido	R. Sudafricana	Venezuela
$\phi/y$	0.937 (0.001)	0.802 (0.009)	0.908 (0.003)	0.968 (0.001)	0.809 (0.008)
$\sigma_\eta/y$	0.297 (0.003)	0.436 (0.013)	0.144 (0.005)	0.304 (0.009)	0.701 (0.021)
$\beta/y$	0.524 (0.004)	0.536 (0.002)	0.438 (0.001)	0.628 (0.011)	0.110 (0.001)
<i>Diagnósticos</i>					
Asimetría	0.9011	0.94408	1.7895	1.6666	0.072942
Kurtosis	2.3947	0.87077	1.1822	0.56562	1.4993
Normalidad	9.3486	1.6495	4.5998	3.0976	2.2533
Ljung-Box (30)	21.678	28.387	23.631	27.594	39.947

De acuerdo con lo anterior, se puede observar (entre paréntesis se muestran las desviaciones estándar que se obtienen de la simulación) que para todos los países la persistencia en la volatilidad de los tipos de cambio es alta (próxima a la unidad) y no muy diferente entre ellos. La alta persistencia en la volatilidad es consistente con lo que se suele encontrar en datos de alta frecuencia.

Los países para los cuales la volatilidad de los tipos de cambio es mayor son la República Sudafricana, Noruega, México y el Reino Unido. La volatilidad de los tipos de cambio del Reino Unido es la que posee mayor facilidad para ser recogida por el modelo, mientras que la de Noruega es la que presenta un comportamiento más errático. El comportamiento en el caso de Venezuela es totalmente diferente a los demás: la volatilidad en el período analizado es

mucho más baja que en el resto de los países pero su dificultad para modelizarla o predecirla mucho mayor.

México se encuentra en una situación intermedia. Tiene un coeficiente de volatilidad no muy bajo en el período y persistente, pero se muestra, relativamente, menos errático que los de otros países.

El cuadro 1 también muestra los resultados de distintos estadísticos obtenidos con los residuos de la estimación del modelo sv realizada con cada serie de tipo de cambio, y que permiten hacer el diagnóstico sobre su comportamiento. Pueden verse, para cada caso, los coeficientes de asimetría y kurtosis y los estadísticos de Bowman y Shenton (1975) y de Ljung-Box (1978) (utilizando 30 retardos) para los contrastes de las hipótesis de normalidad y de incorrelación serial respectivamente. En cuanto a la primera de estas hipótesis, Bowman y Shenton (1975) simulan la distribución del estadístico propuesto por ellos, como una combinación de los coeficientes de asimetría y kurtosis, para el test de Normalidad; para muestras de tamaño 500 (valor próximo a las 528 observaciones de nuestra muestra) el valor crítico a 90% es 4.595, a 95% es 6.029 y a 99% es 9.574. Parece, por tanto, que no hay evidencia acerca de un error en la especificación del modelo. El segundo de estos estadísticos permite concluir que en todos los modelos se ha conseguido la eliminación de la autocorrelación (el valor crítico de la distribución  $\chi^2$  con 30 grados de libertad es 43.77).

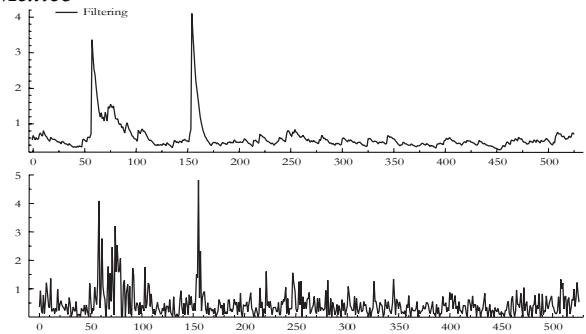
Las gráficas 1, 2, 3, 4 y 5 muestran la volatilidad filtrada por el modelo sv así como la serie de valores  $|y_t|$  para cada uno de los países. Gráficamente se pueden corroborar las conclusiones a las que se llega mediante el análisis de los modelos.

## CONCLUSIONES

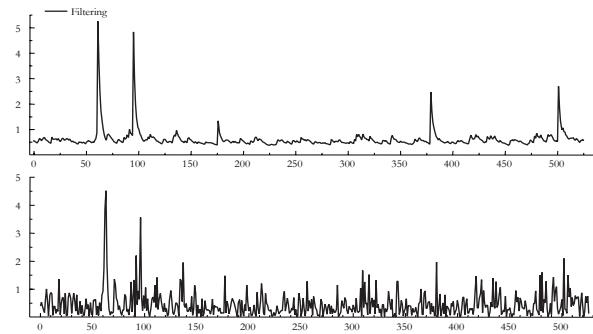
Este trabajo ha ofrecido un análisis de la volatilidad de los tipos de cambio de varios países con diferentes niveles de desarrollo económico.

El enfoque utilizado ha sido el de los modelos de volatilidad estocástica que ofrecen ventajas con respecto a la especificación y estimación de los tradicionales modelos GARCH, y permiten llevar a cabo un análisis más por-

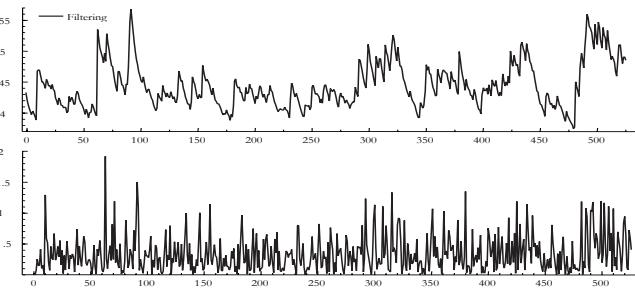
GRÁFICA 1

*México*

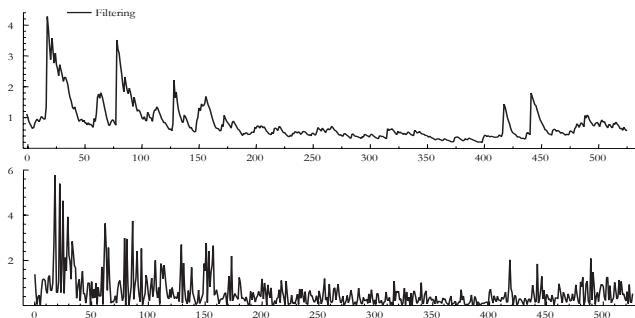
GRÁFICA 2

*Noruega*

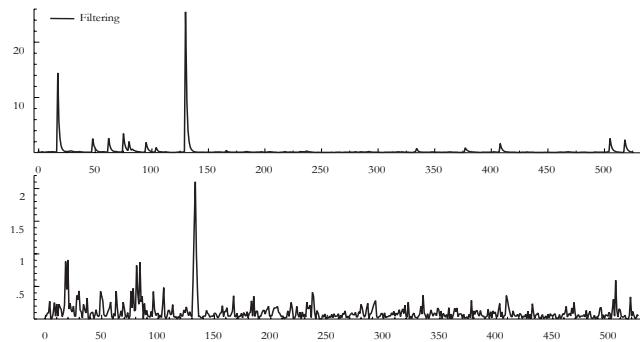
GRÁFICA 3

*Reino Unido*

GRÁFICA 4  
*República Sudafricana*



GRÁFICA 5  
*Venezuela*



menorizado de las características de la volatilidad de las series: no sólo si es elevada o no, sino también si su comportamiento se muestra errático.

El análisis concluye que los países con mayor volatilidad (ordenados de mayor a menor) han sido la República Sudafricana, Noruega, México y el Reino Unido. De ellos, el que muestra un comportamiento más errático parece ser Noruega y el más estable el Reino Unido. Venezuela, a pesar de tener una volatilidad bastante baja en la evolución de sus tipos de cambio, su comportamiento es muy poco predecible y altamente aleatorio. En el período analizado, los tipos de cambio en México se encuentran en una situación intermedia, con una volatilidad aceptable y no mucha inestabilidad.

Existen muchas posibles extensiones del modelo sv. Ejemplo de ello es la propuesta de Koopman y Uspensky (1999) de un modelo estocástico en media (SVM) donde la propia varianza se incluye en la ecuación de la media. Mediante la metodología del SVM, los autores muestran que la serie japonesa Topix es más volátil y menos fácil de predecir que las correspondientes a los mercados bursátiles estadounidense y británico. En este sentido, el trabajo aquí presentado podría ser revisado, en futuras investigaciones, con la aplicación de nuevas técnicas para el análisis de las volatilidades y ampliado con la inclusión de otros países en la comparación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bera, A.K. y M.L. Higgins, "ARCH Models: Properties, Estimation and Testing", *Journal of Economic Surveys*, núm. 7, 1993, pp. 305-362.
- Bollerslev, T., "Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity", *Journal of Econometrics*, núm. 51, 1986, pp. 307-327.
- Bollerslev, T., R.Y. Chou y K.F. Kroner, "ARCH Modelling in Finance: A Review of the Theory and Empirical Evidence", *Journal of Econometrics*, núm. 52, 1992, pp. 5-61.
- Bowman, K.O. y L.R. Shenton, "Omnibus Test Contours for Departures from Normality based on  $\sqrt{b_1}$  and  $b_2$ ", *Biometrika*, núm. 62, 1975, pp. 243-250.
- Chib, S., F. Nardari y N. Shephard, "Markov Chain Monte Carlo Methods for Stochastic Volatility Models", *Journal of Econometrics*, núm. 108, 2002, pp. 281-316.
- Côté, A., "Exchange Rate Volatility and Trade", *Working Paper* 94-5, Bank of Canada, 1994.
- Diebold, F.X y López J.A., "Modelling Volatility Dynamics", National Bureau of Economic Research Technical Paper, núm. 173, febrero de 1995. (También en K. Hoover (ed.), *Macroeconometrics: Developments, Tensions and Prospects*, Amsterdam, Kluwer Academic Press).
- Doornik, J.A., *Ox: An Object-Oriented Matrix Language*, 3ra. edición, Londres, Timberlake Consultants Press, 1999.
- Engle, R.F., "Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of the United Kingdom Inflation", *Econometrica*, núm. 50, 1982, pp. 987-1007.
- Frankel, A. y S.J. Wei, "Trade Blocks and Currency Blocks", *Working Paper*, núm. 4335, National Bureau of Economic Research, 1993.

- Ghysels, E., A.C. Harvey y E. Renault, "Stochastic Volatility", en G.S. Maddala y C.R. Rao (eds.), *Handbook of Statistics*, vol. 14, cap. 5, Amsterdam, Elsevier Science, 1996.
- Guérin, J.L. y A. Lahrèche-Révil, "Exchange Rate Volatility and Growth", *Working paper*, CEPPII, Paris, 2001.
- Harvey, A.C., E. Ruiz y N. Shephard, "Multivariate Stochastic Volatility Models", *Review of Economic Studies*, núm. 61, 1994, pp. 247-264. (También en R.F. Engle (ed.), *ARCH Models*, Oxford, Oxford University Press.
- Huerta, A.A. y Hernández-Trillo, F., "Comportamiento del tipo de cambio real y desempeño económico en México", *Economía Mexicana*, Nueva Época, vol. 4, núm. 2, 1995, pp. 239-263.
- Kakkar, V., "Long Run Real Exchange Rates: Evidence from Mexico", *Economics Letters*, núm. 72, 2001, pp. 79-85.
- Kim, S., N. Shephard y S. Chib, "Stochastic Volatility: Likelihood Inference and Comparison with ARCH Models", *Review of Economic Studies*, núm. 65, 1998, pp. 361-93.
- Koopman, S.J. y E. Hol Uspensky, "The Stochastic Volatility in Mean Model: Empirical Evidence for International Stock Markets", TI Discussion Paper, 1999.
- Koopman, S.J., N. Shephard y J.A. Doornik, "Statistical Algorithms for Models in State Space using SsfPack 2.2", *Econometrics Journal*, núm. 2, 1999, pp. 113-166.
- Ljung, G. y G. Box, "On a Measure of Lack of Fit in Time Series Models", *Biometrika*, núm. 65, 1978, pp. 297-303.
- Mahieu, R.J. y P.C. Schotman, "An Empirical Application of Stochastic Volatility Models", *Journal of Applied Econometrics*, núm. 13, 1998, pp. 333-360.
- Shephard, N., *SvPack 2.0: Software for Stochastic Volatility Models*, 1998
- Taylor, S.J., *Modelling Financial Time Series*, (Chichester: John Wiley), 1986.
- \_\_\_\_\_, "Modelling Stochastic Volatility", *Mathematical Finance*, núm. 4, 1994, pp. 528-550.
- Tenreyro, S., "On the Trade Impact of Nominal Exchange Rate Volatility", *Working paper* 03-2, Federal Reserve Bank of Boston, 2003.