

Causalidad y Función de Transferencia. Enfoques Temporal y Espectral. Tipos de Interés - Tipos de Cambio.

Francisco José Cabo García.

Dpto. Economía Aplicada (Matemáticas).

Universidad de Valladolid.

1.- Introducción

En el presente trabajo se estudia la eficiencia de los mercados considerando datos de frecuencia diaria. Se contrasta si el arbitraje de los agentes se produce de forma lo suficientemente rápida como para mantener paridad cubierta y descubierta día a día.

En primer lugar, bajo los supuestos de neutralidad ante el riesgo y expectativas racionales, se trazan las líneas fundamentales del modelo de paridad cubierta y descubierta que muestran la relación, tanto del tipo de cambio spot como a plazo, con el diferencial de intereses nacional - extranjero. Posteriormente se presentan los conceptos de Eficiencia Débil e Incremental que van a ser contrastados.

En la segunda parte del trabajo se muestra el modelo de Función de Transferencia que va a recoger la relación lineal que liga tipos de cambio y tipos de interés. Tras definir los datos con los que se trabaja, se exponen los resultados empíricos obtenidos, que indican que la desviación típica de los errores de predicción no disminuye al pasar de considerar un modelo de paseo aleatorio para los tipos de cambio spot y el premio a las divisas, a usar su modelización ARIMA y por último, emplear el modelo de Función de Transferencia con el diferencial de intereses como input. Se concluye la imposibilidad de rechazar la hipótesis de Eficiencia Débil ni la de Eficiencia Incremental respecto al conjunto de información que suministra la relación entre tipo de interés interno y externo.

2.- Paridad cubierta y paridad descubierta en el mercado de Eurodepósitos.

Cuando se pretende estudiar los mecanismos de formación de tipos de interés y tipos de cambio en un mercado tan integrado como es el Euromercado, puede suponerse que se trata de un mercado eficiente. El arbitraje se llevará a cabo cuando el diferencial

de intereses¹ entre dos activos financieros idénticos, pero referidos a dos monedas distintas, sea de tal forma que se puedan obtener beneficios inusuales comprando activos que reporten un mayor interés y endeudándose en los que menor tipo presenten. Este arbitraje obligará a que el diferencial de intereses entre dos activos similares, negociados en diferente moneda, equivalga a la variación esperada en el tipo de cambio entre dichas monedas. Esto lleva aparejado el supuesto de que los activos en el mercado de Eurodepósitos son homogéneos.

Lo que obtenga un agente invirtiendo 1 unidad en activo nacional debe equipararse a lo que espera obtener invirtiendo $\frac{1}{S_t}$ en el activo extranjero,

$$E(s_{t+1}) - s_t = \log(1 + i_t) - \log(1 + i_t^*) \approx i_t - i_t^* \quad (1.1)$$

Si se supone adicionalmente, individuos con expectativas racionales sobre el tipo de cambio futuro y neutrales ante riesgo de cambio² se tiene,

$$E(s_{t+1}) = s_t + e_t, \quad e_t \sim \text{RB} \quad (1.2)$$

de (1.1) y (1.2) se concluye la ecuación de la paridad descubierta,

$$s_{t+1} - s_t = (\log(1 + i_t) - \log(1 + i_t^*)) + u_t \approx (i_t - i_t^*) + u_t, \quad u_t \sim \text{RB}. \quad (1.3)$$

Manteniendo el supuesto de neutralidad ante el riesgo, cuando se tiene en cuenta el mercado a plazos,

$$E(s_{t+n}) = f_t^{t+n} + h_t, \quad h_t \sim \text{RB} \quad (1.4)$$

(1.1) y (1.4) establecen la ecuación que refleja la paridad cubierta o con garantía, que implica una relación entre el premio a la divisa ($f_t^{t+n} - s_t$) y el diferencial de intereses.

$$f_t^{t+n} - s_t = \log(1 + i_t) + \log(1 + i_t^*) + v_t, \quad v_t \sim \text{RB} \quad (1.5)^3$$

¹ En este caso se trabaja con el diferencial de intereses nominales sin tener en cuenta el diferencial de inflación debido a la inexistencia de datos diarios para dicha variable.

² Si bien la hipótesis de Neutralidad no es habitualmente admitida, si se admite un riesgo cambiario moderado dentro del SME, debido a la fácil diversificación del riesgo en este contexto. De este modo aún cuando se rechaza la hipótesis de neutralidad ante el riesgo, se puede mantener la hipótesis de que la teoría de la paridad descubierta, constituye una buena aproximación a la relación entre tipos de cambios y tipos de interés dentro del SME.

³ Variables medidas en escala logarítmica: s_t , tipo de cambio en el instante t ; i_t^* , tanto de interés a 3 meses de la divisa en el Euromercado; i_t , tanto de interés a 3 meses de la pts en el Euromercado; f_t^{t+n} , tipo de cambio forward en t plazo n , en nuestro caso 3 meses.

2.- Eficiencia Débil y Eficiencia Incremental.

La definición de mercado eficiente⁴ en el mercado de cambio supone que todos los agentes económicos actúan utilizando toda la información disponible de tal forma que los tipos de cambio spot ya contienen toda la información disponible, que podría haber sido utilizada para desarrollar técnicas de mercado que permitan beneficios inusuales. De este modo, si los mercados son eficientes, los agentes que actúan a partir del precio de mercado (el tipo de cambio), aseguran una colocación eficiente de los recursos.

La contrastación de eficiencia en el mercado de cambios se llevará a cabo en dos etapas:

1. En principio, se contrastará la forma débil de eficiencia, la cual sólo examina la hipótesis de que la historia pasada de las series de tipos de cambio spot y del premio a la divisa, ya está reflejada en sus valores corrientes. Esto implica que las predicciones sobre los valores futuros de ambas variables, que se obtienen considerando la información pasada de la serie, utilizando para ello un modelo ARIMA, no mejoren las predicciones que obtendría un modelo de RB que no tiene en cuenta esta información.
2. No obstante, en las teorías de determinación del tipo de cambio se introduce información adicional a la historia pasada de los tipos de cambio. Para dar cabida al estudio de la eficiencia a partir de estas teorías se propone el concepto de Eficiencia Incremental⁵. De modo que los mercados exteriores de cambios se dice que son incrementalmente eficientes con respecto a algún tipo de información, si la utilización de tal conjunto de información no puede mejorar la predicción de los tipos de cambios futuros, frente a la obtenida cuando éstos estaban condicionados únicamente a su historia pasada. Cuando los mercados son incrementalmente eficientes con respecto a un conjunto de información, ello indica que ésta ya está incorporada en el tipo de cambio corriente.

En el mercado exterior de cambios se define arbitraje como la oportunidad de inversión que ofrece a los inversores ganancia carente de riesgo. En el caso de que el mercado sea eficiente las posibilidades de beneficio inusuales se deben eliminar

⁴ Véase Eugene Fama. Efficient Markets, Review of Theory and Empirical Work.

rápidamente. El proceso de arbitraje es el que posibilita el mantenimiento de la paridad descubierta y cubierta, de forma que plantear el estudio de la eficiencia incremental del mercado de tipos de cambio spot, así como de tipos de cambio forward, suponiendo un intervalo temporal diario e introduciendo como información adicional el diferencial entre el interés de la moneda nacional y el interés de la divisa, equivale a contrastar si el mercado se ajusta (arbitra) con la suficiente rapidez como para que el conocimiento del diferencial de intereses de una jornada no permita una mejor predicción de los tipos spot o del premio forward de la jornada subsiguiente, consiguiendo así beneficios inusuales.

Este concepto se relaciona directamente con el concepto de causalidad de Granger según el cual una variable X causa a otra Y si la varianza del error de predicción de Y disminuye al incluir como conjunto de información los valores pasados de X ⁶.

Para contrastar la eficiencia incremental, en primer lugar hay que establecer la relación dinámica que liga tanto al tipo de cambio spot como al premio forward, con el diferencial de intereses. De esta forma, tras estimar un modelo dinámico de Función de Transferencia incluyendo como variable input el diferencial de intereses, se comprueba si mejoran las predicciones frente a las obtenidas cuando únicamente se utilizaba como información la historia pasada de la serie. Midiendo esta mejora de las predicciones como una reducción en la varianza del error de predicción frente a la obtenida a partir de las modelizaciones univariantes.

3.- Modelización.

Se pretende estudiar la importancia que, en la formación de los tipos de cambio spot y forward del dólar, marco y franco, tiene el diferencial entre el interés de la pts. y estas tres divisas. Por esta razón, se busca estudiar la significatividad, tanto para el tipo de cambio spot como para el forward, de un modelo bivariante en el que el tipo de cambio dependa de sus valores pasados, así como de los valores pasados (y corriente) del diferencial de intereses, pudiendo contrastar la existencia de causalidad en el sentido

⁵ Caves, Douglas W. & Feige, Edgar L. (March, 1980). "Efficient Foreign Exchange Markets and the Monetary Approach to Exchange-Rate Determination". The American Economic Review. Vol. 70, N° 1, pp.120-134.

⁶ X causa "instantáneamente" a Y si la varianza del error de predicción, obtenida teniendo en cuenta los valores pasados de la variable X , se ve reducida al incluir adicionalmente el valor "actual" de X en el conjunto de información.

del diferencial de intereses hacia el tipo de cambio. Dicha causalidad implicaría ineficiencia en el mercado de tipos de cambio cuando se incluye como información los intereses.

Para el tipo spot, de (1.3) se deduce,

$$I(B)\nabla s_t = w(B) \cdot B^b \cdot \nabla \text{dif}_t + a_t, \text{ siendo } \text{dif}_t = \log(1 + i_t) - \log(1 + i_t^*)$$

$$\text{y } I(B) = (1 - I_1 B - I_2 B - \dots - I_r B), w(B) = (w_0 + w_1 B + w_2 B + \dots + w_s B) \text{ y } b \geq 0. \quad (1.6)^7$$

La tasa de variación diaria del tipo de cambio spot, se expresa como función de sus valores pasados, así como de los valores actual (si $b = 0$) y pasados de la tasa de variación del diferencial de intereses nacional y extranjero.

Para el premio forward a tres meses a una divisa, de (1.5) se obtiene,

$$I'(B)\nabla p_t = w'(B) \cdot B^{b'} \cdot \nabla \text{dif}_t + e_t, \text{ siendo } p_t = f_t^{t+90} - s_t$$

$$I'(B) = (1 - I'_1 B - I'_2 B - \dots - I'_r B), w'(B) = (w'_0 + w'_1 B + w'_2 B + \dots + w'_s B) \text{ y } b' \geq 0. \quad (1.7)^8$$

la tasa de variación diaria que experimenta el premio a la divisa a 3 meses, se expresa como función de sus valores pasados, así como de los valores actual (si $b' = 0$)⁹ y pasados de la tasa de variación del diferencial de intereses nacional y extranjero.

4.- Datos:

Se trabajará con las siguientes variables: tipos de cambio vendedor de dólar, marco y franco medidos en el mercado entre las 14:30 y las 15:30, de modo que se encuentran abiertos los mercados Asiático, Americano y Europeo; los tipos de cambio forward vendedor del dólar, marco y franco; y el tipo de interés a tres meses de las cuatro monedas en el Euromercado, mercado en el que los activos negociados pueden considerarse homogéneos excepto por la moneda en que se negocian.

Los datos con los que se trabaja son series de frecuencia diaria, de lunes a viernes, medidos desde el 25/06/81 al 31/03/95.

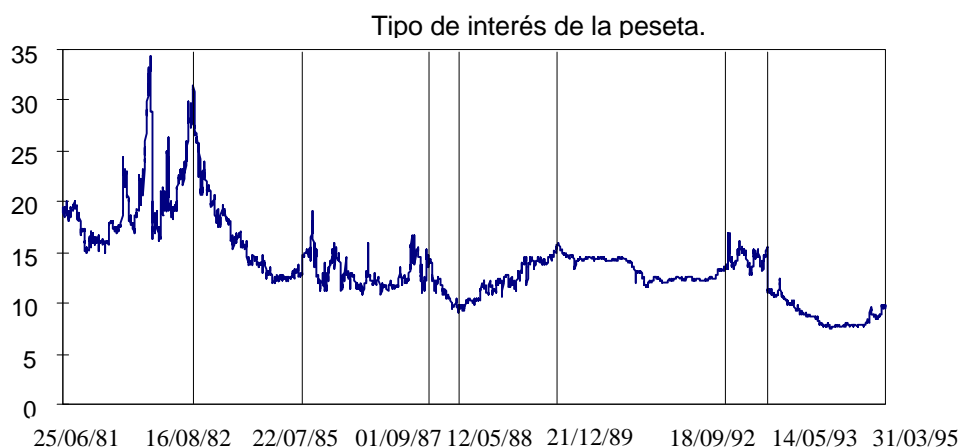
⁷ En la serie “dif” se han tomado primeras diferencias por ser una serie integrada de orden 1, al contrario que ∇s_t que ya es integrada de orden 0.

⁸ En este caso tanto el premio a la divisa como el diferencial de intereses son series integradas de primer orden por lo que en ambas se han tomado primeras diferencias.

⁹ Cuando b' o b son nulas, se incluye como variable explicativa, el valor corriente del diferencial de intereses, lo que implica asimismo tener en cuenta la existencia de causalidad “instantánea”.

Atendiendo al comportamiento del tipo de interés de la pts. que, lejos de ser homogéneo durante todo el período presenta diferente variabilidad y tendencia, se dividirá la muestra en 8 subperíodos:

- 1.- 25/06/81 - 12/08/83. Período de una gran inestabilidad, con altos tipos y tendencia creciente (devaluación Boyer en Diciembre del 82).
- 2.- 16/08/82 - 19/07/85. Durante estos tres años se produce una bajada casi ininterrumpida y con reducida volatilidad, desde niveles del 30% al 13-14%.
- 3.- 22/07/85 - 06/03/87. Muy alta volatilidad durante todo el período, sin mostrar una tendencia clara.
- 4.- 01/09/87 - 11/05/88. Corto período en que los tipos caen del 14,8% al 9,5%.
- 5.- 12/05/88 - 20/12/89. La dispersión se mantiene en los bajos niveles del período anterior, pero la tendencia es opuesta, recuperándose a final del período la cota del 15%.
- 6.- 21/12/89 - 17/09/92. Prolongada etapa de estabilidad, terminando con la devaluación de la peseta.
- 7.- 18/09/92 - 12/05/93. Coincide con el momento de mayor inestabilidad del SME, salida de la Libra Esterlina y la Lira Italiana. Termina con una nueva devaluación de la moneda nacional.
- 8.- 14/05/93 - 31/03/95. Suave caída del tipo de interés con un repunte al final del intervalo.



5.- Resultados Empíricos.

1. Para llevar a cabo el contraste de Eficiencia Débil, se identificarán los modelos ARIMA univariantes tanto de la tasa de variación del tipo de cambio como de la tasa de variación del premio a cada divisa. La estimación de estos modelos no tendrá en cuenta los 10 últimos datos de cada subperíodo. Con los modelos univariantes estimados se calculan las predicciones para los 10 valores que no se han incluido en la muestra, obteniéndose los errores de predicción y su correspondiente desviación típica. La variabilidad de las series explicada a través de la modelización ARIMA es escasa, observándose en general valores de R^2 muy bajos, a menudo inferiores menores a 0.1.

Si se utilizase el modelo de RB, las predicciones vendrían dadas por la esperanza de la serie que en ambos casos es igual a cero, con lo que la desviación típica de los errores de predicción es la que presentan los 10 datos reales.

Las desviaciones típicas en ambos casos se muestran en la tabla I. Observándose que, en general, la variabilidad del error de predicción no disminuye al utilizar el modelo univariante, y en los periodos en que si lo hace es en magnitudes insignificantes. Por tanto, no se puede rechazar la hipótesis de Eficiencia Débil, es decir que la historia pasada de la serie ya esté reflejada en el valor corriente del premio y del tipo spot.

2. En segundo lugar se contrasta la hipótesis de Eficiencia Incremental, al incluir como nueva información los tipos de interés. Se identifican, estiman y finalmente se obtienen las predicciones de modelos de Función de Transferencia de la forma (1.6) y (1.7), presentándose las desviaciones típicas de los errores de predicción en la tabla I.

En la etapa de identificación se utilizan como herramientas, por un lado la *función de correlación cruzada* de ∇s_t y ∇P_t con ∇dif_t , alisando input y output siguiendo la metodología Box-Jenkins, buscando coeficientes positivos significativos, que indicarían causalidad en el sentido del input ∇dif_t al output ∇s_t o ∇P_t ; en general, estas gráficas o no muestran relación dinámica, o tienen el retardo cero como coeficiente significativo y si hay otros significativos, no siempre son únicamente los coeficientes positivos sino también de signo negativo, esto indica la existencia de una relación feedback y no en el único sentido antes aludido. Por tanto no conviene olvidar que modelos de la forma (1.6) y (1.7) serán una mala especificación del modelo real cuando se produce esta relación en ambos sentidos.

Como segunda herramienta, tras estimar los cross-espectros entre input y output utilizando la ventana de Bartlett, se construirá el *espectro de fase* cuya pendiente muestra, para cada frecuencia (en el eje de abscisas), cual es el retardo temporal entre las variables. Este diagrama se hace difícil de interpretar cuando la relación no es de un único retardo distribuido. En el presente estudio, como ya mostraba la función de correlación cruzada, la relación no es tan sencilla, por tanto, su interpretación se hace muy complicada. A esto hay que añadir la baja coherencia del cross-espectro que implica una alta varianza en las estimaciones del espectro de fase y por ello una baja significatividad de las mismas.

Empero lo antes mencionado, se procede a la estimación de los modelos de Función de Transferencia¹⁰ y al cálculo de las predicciones.

La desviación estándar de los errores de predicción no disminuye respecto a la obtenida cuando se utilizaba la modelización univariante, no pudiéndose por esta razón rechazar la hipótesis de eficiencia incremental, respecto a la información suministrada por el diferencial de intereses.

Tabla I.

Desviación Típica del error de predicción.						
Modelo	RB	ARIMA	FT	RB	ARIMA	FT
	Tasa de variación del tipo de cambio.			Premio a la divisa.		
Dólar						
1°	.0044131	RB	-	.0011203	.0012799	-
2°	.0080956	RB	-	.0012513	.0012483	-
3°	.003968	=.003968	X	.0012962	.0012264	.0014177
4°	.0038435	.0037505	.0037201	.0012986	.0013164	.0014197
5°	.0078576	.007837	.0078547	.0010874	.0010874	.0010834
6°	.0220778	Casi RB	.0201208	.0061577	.0067548	X
7°	.0060423	Casi RB	.0063436	.0015606	.0016528	.0015438
8°	.0107766	Casi RB	X	.0056047	.0058035	.0060744

¹⁰ Al llevar a cabo la verificación de dichos modelos, en algunos casos la función de correlación cruzada entre el residuo del modelo y el input filtrado muestra la existencia de relación entre ambas constatando la mala especificación de los modelos debido a la existencia de feedback

Marco						
1°	.0014880	RB	.0031154	.0005527	.0005527	.0023379
2°	.0012281	.0007546	-	.0006786	=.0006786	-
3°	.0011697	.0011048	.0010593	.0000289	.0000289	x
4°	.0021613	.0021988	.0023286	.000054	.0000981	.000175
5°	.0015391	RB	-	.0004923	=.0004923	-
6°	.01645555	.0164555	.0164992	.0009543	=.0009543	.0009543
7°	.0019537	.0019224	X	.0000419	.0000415	.0001261
8°	.0053795	.0051775	.0055022	.0053797	.0057274	X
Franco						
1°	.0033591	RB	-	.0024628	=.0024628	-
2°	.0022309	=.0022309	=.0022309	.0028855	=.0028855	X
3°	.0026838	=.0026838	.0027788	.0020534	RB	.0019854
4°	.0032479	.0033	.0033467	.0007354	.000736	.0007198
5°	.0024876	.0024878	.0024936	.0028331	=.0028331	.0027936
6°	.0136662	=.0136662	.0139348	.0040002	.0039785	.0041734
7°	.0033927	.0039179	.0039159	.0013698	.0013667	.0014899
8°	.003401	RB	.0037606	.0069304	.0069631	.0076876

6.- Conclusiones

La imposibilidad de predecir variaciones en los tipos de cambio, se puede interpretar como un síntoma de la eficiencia de los mercados financieros. Entendiéndose ésta como eficiencia en sentido débil y eficiencia incremental al introducir los tipos de interés. La primera indica que los tipos de cambio ya reflejan en su precio actual la información anterior de la serie. Y el segundo tipo de eficiencia implica que el utilizar como información el diferencial de intereses entre la moneda nacional y la divisa, no mejora las predicciones sobre el tipo de cambio futuro, es decir, los mercados financieros consiguen que en plazos inferiores a un día se mantenga la paridad tanto cubierta como descubierta, arbitrando cualquier oportunidad de beneficio rápidamente.

Como futura línea de investigación, resultaría interesante contrastar la eficiencia del mercado utilizando datos con frecuencia superior a la diaria, para tratar de establecer como es el proceso de arbitraje en intervalos de hora/s o incluso de minutos.

Bibliografía.

Ayuso, Juan y Restoy Fernando. (1992). *Eficiencia y Primas de Riesgo en los Mercados de Cambio*. Papeles de Trabajo N° 9225.

Cargill, Thomas F. C. (Dec, 1969). *An Empirical Investigation of the Wage-Lag Hypothesis*. American Economic Review, pp. 806-816.

Caves, Douglas W. and **Feige**, Edgar L. (March, 1980). *Efficient Foreign Exchange Markets and the Monetary Approach to Exchange-Rate Determination*. The American Economic Review. Vol. 70, No. 1, pp. 120-134.

Fama, E. F. (June, 1970). *Efficient Markets, Review of Theory and Empirical Work*. Journal of Finance, No. 25, pp. 383-417.

Michele **Frailianni**, Hyung-Doh **Hur** and Heejoon **Kang**. (1987). *Random Walk and Monetary Causality in five Exchange Markets*. Journal of International Money and Finance. No. 6, pp. 505-514.

Granger, C. W. (July, 1969). *Investigating Causal Relation by Econometrics Models and Cross-Spectral Methods*. Econométrica, Vol. 37, No. 3.

Granger and **Hatanaka**. (1964). *Spectral Analysis of Economic Time Series*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey.

Giovanninni, Alberto and **Jorion**, Philippe. (1987). *Interest Rates and Risk Premia in the Stock Market and in the Foreign Exchange Market*. Journal of International Money and Finance, No. 6, pp. 107-723.

Hannan, E. J. and **Thompson**, P. J. (1988). *Time Delay Estimation*. Journal of Time Series Analysis, Vol. 9, No. 1, pp. 21-33.

Hause, John C. (1971). *Spectral Analysis and the Detection of the Lead-Lag Relations*. The American Economic Review. No. 61-1, pp. 213-216.

Hause, John C. (Oct, 1964). *Lead, Lags and Spectral Analysis*. Econométrica, No. 32, pp. 687.

Levich, Richard M. (1985). *Empirical Studies of Exchange Rates: Price behaviour, Rate determination and Market Efficiency*. Handbook of International Economics, Chapter 19, Vol. II. R. W. Jones and P. B. Kenen.

Fuente de la que se han obtenido los datos de tipos de interés y tipos de cambio: **Banco de España**.

En los supuestos de partida se acepta la existencia de neutralidad ante el riesgo, si como es comúnmente admitido, esta premisa no se cumple sino que por el contrario se suponen individuos adversos al riesgo, que exigen una prima por el riesgo de cambio,

$$E(s_{t+n}) = f_t^{t+n} + h_t + PR(t), \quad h_t \sim RB \quad (1.8)$$

Transformándose por tanto (1.5) en,

$$PR(t) + f_t^{t+n} - s_t = \log(1 + i_t) + \log(1 + i_t^*) + v_t, \quad v_t \sim RB \quad (1.9)$$

De modo que el diferencial de intereses

Futuras líneas de investigación, tratar de contrastar la eficiencia del mercado utilizando datos de frecuencia mayor a la diaria.

En general el R2 de la FT es mayor para el premio que para la tasa de variación, pero además El R2 de las FT para el caso del premio al dólar es mucho mayor que para el resto ¿Tiene esto algo que ver con el hecho de que al no ser los agentes neutrales al riesgo, lo que se ha llamado premio al riesgo en realidad

incluya también una prima de riesgo y sobre todo para el dólar que no es una moneda del SME (ver nota 2)? ???

∇S_t no contiene ninguna prima de riesgo $\text{dif}_t = \log(1 + i_t) - \log(1 + i_t^*)$ si se rechaza la hipótesis de neutralidad si contiene dicha prima luego relación baja.

Por el contrario P_t al igual que $\text{dif}_t = \log(1 + i_t) - \log(1 + i_t^*)$ si contiene esta prima de riesgo por lo que la relación será mayor, y en mayor medida en el caso del dólar que es una moneda no perteneciente al SME y de ahí con mayor prima de riesgo.

-Las devaluaciones se producen:

6-Dic-1982 -----> Dato 343. (1ª submuestra)

17-Sep-92 -----> Dato 2548 **

23-Nov-92 -----> Dato 2590 (7ª submuestra)

14-May-93 -----> Dato 2702 ***

(**) y (***) No hay que modelizar estos atípicos ya que es por donde cortamos.