



Universidad de
San Andrés

Universidad de San Andrés

Escuela de Negocios

Trabajo de Licenciatura en Finanzas

**Eficiencia de Mercado en los Tipos de Cambio
Nominales: El caso de Estados Unidos con Europa y
Latinoamérica**

Autor: Mateo Sasse Mugica

Legajo: 24196

Mentor: Alejandro Loizaga

Buenos Aires, Octubre 2019

Resumen

La hipótesis de los Mercados Eficientes desarrollada por Eugene Fama (1970) postula que el precio de un activo o instrumento financiero refleja las expectativas de todos los agentes operando en el mercado, en otras palabras, en un mercado eficiente toda la información pública actualmente disponible es instantáneamente incorporada al precio. Por lo tanto, toda información posterior es independiente del precio hoy. Y, a su vez, esto significa que la mejor predicción del precio de mañana es simplemente el precio hoy. En términos econométricos, el precio sigue un proceso estocástico denominado un Random Walk, en el cual toda nueva información actúa como un shock independiente sobre el precio del período anterior.

Ahora bien, esta idea engloba a *todos* los precios del mercado, sean precios de acciones, bienes, servicios, o, el caso que es de particular interés para nosotros, los tipos de cambios nominales. Éstos últimos son precios también, el precio de una moneda respecto del otro, que a su vez representan la capacidad de adquirir bienes y servicios en el otro país. Pero, ¿se cumplirá efectivamente esto en la realidad? ¿Seguirán los tipos de cambios en mercados eficientes un Random Walk? El presente trabajo se enfocó en realizar un análisis econométrico de dicho fenómeno, siendo la hipótesis de la tesis que dicho fenómeno se observará en los mercados desarrollados pero estará ausente en los latinoamericanos. Una vez demostrado esto, el objetivo siguiente consistió en analizar estrategias de arbitraje estadístico cointegrando diferentes pares de tipos de cambios.

Hemos podido demostrar que, si bien las monedas seleccionadas son procesos no estacionarios, no necesariamente son Random Walks, y este resultado se observa tanto en los mercados desarrollados como en los latinoamericanos. De los cuatro tipos de cambio analizados solo en un caso hay suficiente evidencia como para afirmar que es un Random Walk. A su vez, también hemos demostrado que no se puede cointegrar dos pares de tipos de cambio con el objetivo de realizar estrategias de arbitraje estadístico basados en la reversión a la media del spread entre las dos series debido a que el análisis del spread entre dos tipos de cambio implica, con algunas alteraciones algebraicas, otro tipo de cambio, el cual ya hemos demostrado no ser un proceso estacionario.

Índice

PARTE I: Introducción.....	3
1.1. Hipótesis.....	3
1.2. Justificación de las razones del estudio.....	3
1.4. Literatura sobre eficiencia en los mercados de tipos de cambio.....	4
1.4. Estrategia metodológica.....	4
PARTE II: Análisis de Raíz Unitaria.....	7
2.1. GBP/USD.....	7
2.1. GBP/EUR.....	10
2.3. USD/CHP.....	11
2.4. USD/MXP.....	12
PARTE III: Análisis de Cointegración.....	14
3.1. Cálculo de cointegración.....	14
3.2. Interpretación de resultados.....	15
PARTE IV: Conclusión.....	18
Líneas de profundización propuestas.....	19
Bibliografía.....	20
Anexos.....	21

PARTE I: Introducción

1.1. Hipótesis

Yo espero que los tipos de cambio nominales de mercados desarrollados serán Random Walks, mientras que los mercados Latinoamericanos serán procesos estocásticos no estacionarios, pero no necesariamente Random Walks.

A su vez, espero que, dado que ciertos pares de tipos de cambio no serán Random Walks, se podrán desarrollar estrategias de arbitraje estadístico mediante la cointegración de un par de tipos de cambio, haciendo uso de la ineficiencia de los mercados tal como es entendido en este trabajo.

1.2. Justificación de las razones del estudio

Si bien el Random Walk ha sido por décadas un fin en sí mismo, después del cual todo análisis técnico resultaría innecesario o contribuiría escasamente a obtener conclusiones financieras adicionales, en las últimas dos décadas se han hechos considerables avances en la cointegración. Esta metodología, ingresa en las finanzas por su capacidad de desarrollar el denominado Arbitraje Estadístico, es decir, el desarrollo de estrategias de corto plazo con un nivel tecnológico, técnico y matemático sofisticado, que se enfocan en realizar ganancias aprovechando procesos que presentan una reversión a la media. ¿Qué rol tiene la cointegración dentro de esto? Bueno, su principal tarea es analizar relaciones de largo plazo entre procesos integrados o no estacionarios, tales como dos canastas de activos, y determinando de este modo la existencia o no de un spread estacionario entre ambos procesos con un proceso de reversión a la media. Es decir, si dos series se encuentran cointegradas, entonces su spread es estacionario y presenta una reversión a la media, por lo cual uno podría aprovecharse de desviaciones de corto plazo respecto de la media. Entonces, la siguiente sección del trabajo se enfocará en analizar la posibilidad de cointegrar las diferentes series de tipos de cambios mencionadas, y evaluar la posibilidad de realizar estrategias previamente mencionadas.

1.3. Literatura sobre eficiencia en los mercados de tipos de cambio

El estudio de la eficiencia de mercado en los mercados de tipos de cambio se ha proliferado en las últimas décadas, y los estudios más recientes presentan evidencia mixta sobre la eficiencia de este mercado. Sin embargo, las metodologías y monedas utilizadas para evaluar la eficiencia del mercado difieren. Fama (1984) examina la eficiencia de nueve monedas contra el dólar, llegando a la conclusión de que no se acepta la hipótesis de mercados eficientes debido a una prima de riesgo variable en el tiempo. Hakkio y Rush (1989) examinan la hipótesis de mercados eficientes para la libra y el marco alemán, encontrando la cointegración de tipos de cambio spot y forward dentro de un país, lo cual consideran consistente con la eficiencia de mercado. Wu and Chen (1998) analizan la eficiencia de las monedas de nueve países de la OCDE. Zivot (2000) examina la libra, el yen y el dólar canadiense contra el dólar americano en busca de analizar la eficiencia de estas monedas, utilizando el análisis de cointegración, llegando a la conclusión de que ninguna moneda analizada es eficiente. Finalmente, tanto Meese y Singleton (1982), Corbae y Ouliaris (1986) y Coleman (1990) encuentran raíces unitarias en las principales monedas mundiales, y afirman que los tipos de cambio siguen un proceso Random Walk, mientras que Liu y He (1991) rechazan la hipótesis de Random Walk para las principales monedas mundiales y Ajayi y Karemera (1996) la rechazan para los mercados asiáticos.

1.4. Estrategia Metodológica

Base de Datos

En el presente trabajo se analizaron dos pares de tipos de cambio de mercados desarrollados y dos de mercados latinoamericanos, seleccionando dentro de cada grupo las monedas más líquidas contra el dólar americano. Se utilizó una base de datos de la serie diaria de precios de cierre desde diciembre 2002 a agosto 2016 de los siguientes tipos de cambio:

- Dos pertenecientes a mercados desarrollados:
 - . El Dólar y la Libra Esterlina (GBP/USD)
 - . El Euro y la Libra Esterlina (GBP/EUR)
- Dos pertenecientes a mercados Latinoamericanos:
 - . El Peso Chileno y el Dólar (USD/CHP)

. El Peso Mexicano y el Dólar (USD/MXP)

Es necesario mencionar que la manera de citar el tipo de cambio en este trabajo, y en la estimación de modelos econométricos, no ha seguido la convención de poner la moneda más fuerte en el denominador debido a que esta notación permite derivar conclusiones interesantes cuando analicemos la cointegración de series.

A su vez, los precios utilizados son los bids existentes en el Mercado Interbancario de Monedas al cierre de la Bolsa de Nueva York (si bien estas monedas cotizan 24 horas al día, durante la operación de este mercado es cuando mayor volumen se opera). También, tendrán una frecuencia diaria dado que consideramos que las estrategias de arbitraje dependen del Trading, el cual se observa mejor con esta frecuencia. Finalmente, para las regresiones se utilizarán los valores nominales y no los retornos debido a que las estrategias de arbitraje de interés buscan aprovechar oportunidades en los spreads de los activos y su reversión a la media, una relación mejor capturada utilizando las variables nominales.

Debo aclarar que resultados no se podrán tomar en cuenta como la garantía de una ganancia por arbitraje debido a que en el estudio no se han tomado en cuenta costos de transacciones directos (tal como comisiones) e indirectos (tal como el spread).

Test a Realizar

Para analizar la presencia o no de un Random Walk, uno debe comprender la teoría detrás de los procesos no estacionarios. De manera resumida, un proceso estocástico estacionario se encuentra contenido en el tiempo, y por lo tanto realizar predicciones o intervalos de confianza respecto de sus futuros valores tiene sentido. En cambio, un proceso estocástico Integrado (también denominado no estacionario) no tiene ninguna limitación en los posibles valores que puede obtener en el futuro, por lo cual resulta imposible realizar predicciones fiables. Sin embargo, para poder comenzar a analizar procesos integrados, es necesario primero mencionar la raíz unitaria. No es de nuestro interés entrar en la matemática compleja, y simplemente diremos que es el elemento que determina si un proceso es estacionario o integrado y, mediante sucesivas aplicaciones, el grado de Integración (es decir, cuantas veces hay que diferenciar la serie para hacer la serie estacionaria). A su vez, se puede analizar la existencia o no de una raíz unitaria mediante diferentes tests y metodologías, y nosotros hemos utilizado el "Augmented Dickey-

Fuller” test, ya que resulta ser un método simple e intuitivo (si bien en cuanto tal no es el más poderoso), y las series en cuestión no presentan errores particularmente complejos (por ejemplo, no presentan variaciones grandes y diversas), por lo cual simplemente eliminaremos distorsiones por autocorrelación. A continuación, analizaremos los resultados de dichos tests sobre los cuatro tipos de cambios, y concluiremos si efectivamente son procesos Integrado y, aún más, si se asemejan a Random Walks. Definimos como un proceso Random Walk a la siguiente serie de tiempo:

$$X_t = X_{t-1} + e_t$$

X_t = valor de la serie de tiempo en el momento t

X_{t-1} = valor de la serie de tiempo en el momento $t - 1$

e_t = shock aleatorio en el momento t con distribución i.i.d con media 0 y varianza θ^2

Para demostrar que hay un Random Walk la serie de tiempo debe poseer raíz unitaria, ser un proceso integrado de orden uno (referido de ahora en adelante como un proceso $I(1)$), y no debe poseer autocorrelación significativa.

También, siempre que mencionamos que un coeficiente es estadísticamente significativo, lo hacemos con referencia a un nivel de significación del 1%, dado nuestra selección de un criterio estricto de aceptación.

PARTE II: Análisis de Raíz Unitaria

En la siguiente sección analizaremos si los cuatros tipos de cambio seleccionados son procesos integrados, y si específicamente son procesos Random Walk. En el primer caso se detallarán los pasos utilizados para realizar el test de raíz unitaria, mientras que en los activos restantes se presentarán directamente los resultados dado que el proceso es el mismo en los cuatro, cambiando solamente la serie de datos involucrada.

2.1. GBP/USD

En primer lugar, nos encontramos con unas de las monedas más cotizadas en el mundo, y un tipo de cambio cuyo alcance es global. El análisis consistió primero en calcular la serie de primeras diferencias (cotización de hoy menos la de ayer) y segundas diferencias (primera diferencia de hoy menos la primera diferencia de ayer). Luego, se realizó una regresión ADF(2) en la cual la variable dependiente es la primera diferencia de la moneda, y las variables independientes son el precio de cierre con lag de un día, la primera diferencia con lag de un día, y la primera diferencia con lag de dos días. De tal modo, la ecuación de la regresión es:

$$\Delta \frac{GBP}{EUR}_t = \beta \frac{GBP}{EUR}_{t-1} + \gamma_1 \Delta \frac{GBP}{EUR}_{t-1} + \gamma_2 \Delta \frac{GBP}{EUR}_{t-2} + e_t$$

$\Delta \frac{GBP}{EUR}_t$ = valor de la primera diferencia de la serie de tiempo en el momento t

β = coeficiente sobre el cual se realizará el test de raíz unitaria

γ_q = coeficiente que captura la autocorrelación de la serie

e_t = shock aleatorio en el momento t i.i.d con media 0 y varianza θ^2

A su vez, el test de hipótesis a realizar sobre la regresión es el siguiente:

$$H_0: \beta = 0 \quad vs \quad H_A: \beta < 0$$

Siendo la hipótesis nula la presencia de raíz unitaria. Si algún otro coeficiente resulta estadísticamente significativo, entonces la serie tendría la presencia de autocorrelación, la cual es

una característica inconsistente con nuestra definición de Random Walk tal como se detalló en la sección 1.4 del trabajo. De tal modo, si bien la serie fuese un proceso integrado de primer orden, no podríamos decir que es un Random Walk.

Debajo se encuentra un cuadro con los resultados de la regresión utilizando la metodología OLS (Ordinary Least Squares):

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	0.0005	0.0005	1.0517	0.2930
GBP/USD(-1)	(0.0008)	0.0008	(1.0025)	0.3161
D GBP/USD(-1)	(0.0596)	0.0142	(4.1848)	0.0000
D GBP/USD(-2)	(0.0113)	0.0142	(0.7937)	0.4274

GBP/USD(-1) = valor de la serie de tiempo con lag de un día

D GBP/USD(-1) = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de un día

D GBP/USD(-2) = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de dos días

Como se puede observar, tanto el estadístico t como el p-value para el coeficiente de la variable *GBP/USD(-1)* nos indican que no es estadísticamente significativo, por lo que no hay suficiente evidencia como para rechazar la hipótesis nula de que la serie posee raíz unitaria, siendo así un proceso Integrado la serie.

Es de interés notar también que el estadístico t del coeficiente de la variación del primer lag (*D GBP/USD(-1)*) es estadísticamente significativo, lo cual representa una elevada correlación entre los cambios diarios de la serie. Por lo tanto, si el proceso es integrado de primer orden, no será un Random Walk. Para analizar esto realizamos la misma regresión que la detallada al inicio de esta sección, pero utilizando la primera diferencia de la serie como variable inicial. Es decir, utilizamos la siguiente ecuación de regresión ADF (1):

$$\Delta^2 \frac{GBP}{EUR}_t = \beta \Delta \frac{GBP}{EUR}_{t-1} + \gamma_1 \Delta^2 \frac{GBP}{EUR}_{t-1} + e_t$$

$\Delta^2 \frac{GBP}{EUR_t}$ = valor de la segunda diferencia de la serie de tiempo en el momento t

$\Delta \frac{GBP}{EUR_t}$ = valor de la primera diferencia de la serie de tiempo en el momento t

β = coeficiente sobre el cual se realizará el test de raíz unitaria

γ_q = coeficiente que captura la autocorrelación de la serie

e_t = shock aleatorio en el momento t i.i.d con media 0 y varianza θ^2

Debajo se pueden observar los resultados de la regresión:

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	0.0000	0.0001	0.7562	0.4496
D GBP/EUR(-1)	(1.0048)	0.0201	(50.0888)	-
D2 GBP/EUR(-1)	0.0098	0.0142	0.6921	0.4889

$D GBP/USD(-1)$ = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de un día

$D2 GBP/USD(-1)$ = segunda diferencia de la serie de tiempo con lag de un día

Tal como se observa, el coeficiente de la primer diferencia ($D GBP/USD(-1)$) ahora sí resulta ser estadísticamente significativo, por lo que podemos concluir que el tipo de cambio sigue un proceso I(1) (técnicamente, hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que la primera diferencia de la serie no posee una raíz unitaria), pero no es generado por un Random Walk debido a la elevada correlación de los cambios diarios de la serie. Esto resulta interesante cuando se lo compara con lo que postula la hipótesis del mercado eficiente, ya que son las monedas de los centros de las finanzas mundiales y de mercados muy líquidos y, en principio, eficientes.

2.2. GBP/EUR

En segundo lugar, analizamos una serie que no se distancia en mucho del caso anterior, y que esperaríamos que tuviese las mismas características. Y, efectivamente eso es lo que sucede cuando analizamos los resultados de los tests.

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	0.0012	0.0006	2.1210	0.0340
GBP/EUR(-1)	(0.0015)	0.0007	(2.0540)	0.0400
D GBP/EUR(-1)	0.0057	0.0142	0.4016	0.6880
D GBP/EUR(-2)	(0.0092)	0.0142	(0.6478)	0.5172

$GBP/EUR(-1)$ = valor de la serie de tiempo con lag de un día

$D GBP/EUR(-1)$ = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de un día

$D GBP/EUR(-2)$ = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de dos días

Nuevamente la serie es un proceso Integrado, ya que el estadístico t del coeficiente del primer lag nos informa que el coeficiente no es estadísticamente significativo. Y, es necesario observar que los estadísticos t de los coeficientes de las variaciones de los lags no son estadísticamente significativos, por lo que si el proceso es $I(1)$, la serie sigue un Random Walk. Esto se puede ver en el siguiente cuadro, en el cual realizamos un test ADF(1). El coeficiente de interés dio notablemente significativo, por lo cual podemos afirmar que el proceso es Integrado de orden 1. Por lo tanto, la serie sigue un Random Walk.

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	0.0000	0.0001	0.7562	0.4496
D GBP/EUR(-1)	(1.0048)	0.0201	(50.0888)	-
D2 GBP/EUR(-1)	0.0098	0.0142	0.6921	0.4889

$D GBP/EUR(-1)$ = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de un día

$D2 GBP/EUR(-1)$ = segunda diferencia de la serie de tiempo con lag de un día

2.3. USD/CHP

En tercer lugar, nos enfocamos en una serie que esperaríamos obtenga resultados diferentes a las dos anteriores, si bien Chile ha podido desarrollar una economía poderosa en las últimas décadas. Analizando los resultados del primer test, podemos observar nuevamente que la serie es generada por un proceso no estacionario, e interesantemente nos encontramos nuevamente con otro coeficiente de variación de lag significativo, por lo que si la serie es un I(1) no será un Random Walk.

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	0.0000	0.0000	1.8876	0.0592
USD/CHP(-1)	(0.0019)	0.0010	(1.8864)	0.0593
D USD/CHP(-1)	(0.2098)	0.0153	(13.7386)	0.0000
D USD/CHP(-2)	(0.0463)	0.0153	(3.0307)	0.0025

USD/CHP(-1) = valor de la serie de tiempo con lag de un día

D USD/CHP(-1) = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de un día

D USD/CHP(-2) = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de dos días

Como muestra el siguiente cuadro, la serie es un proceso Integrado de orden 1, por lo cual es generada por un proceso Integrado diferente al Random Walk.

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	0.0000	0.0000	0.1238	0.9015
D USD/CHP(-1)	(1.2578)	0.0237	(53.1517)	-
D2 USD/CHP(-1)	0.0470	0.0153	3.0765	0.0021

D USD/CHP(-1) = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de un día

D2 USD/CHP(-1) = segunda diferencia de la serie de tiempo con lag de un día

2.4. USD/MXP

Finalmente, nos encontramos con una serie que, luego de analizar los resultados de los tests, obtiene similares conclusiones al caso anterior. Es generada por un proceso Integrado, pero a su vez presenta un coeficiente significativo en la primera variación de lag, y el test sobre la primera diferencia nos informa que es un proceso Integrado de orden 1. Por lo tanto, esta serie tampoco sigue un Random Walk, si bien es generada por un proceso estocástico Integrado de orden 1.

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	0.0000	0.0001	0.2697	0.7874
USD/MXP(-1)	(0.0004)	0.0009	(0.4211)	0.6737
D USD/MXP(-1)	(0.2284)	0.0156	(14.6307)	0.0000
D USD/MXP(-2)	(0.0414)	0.0155	(2.6772)	0.0075

$USD/MXP(-1)$ = valor de la serie de tiempo con lag de un día

$D USD/MXP(-1)$ = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de un día

$D USD/MXP(-2)$ = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de dos días

Intercept	(0.0000)	0.0000	(1.1019)	0.2706
D USD/MXP(-1)	(1.2703)	0.0242	(52.4218)	-
D2 USD/MXP(-1)	0.0416	0.0154	2.6944	0.0071

$D USD/MXP(-1)$ = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de un día

$D2 USD/MXP(-1)$ = segunda diferencia de la serie de tiempo con lag de un día

Entonces, las cuatro series son procesos I(1), pero solo una de ellas sigue efectivamente un Random Walk, algo que resulta de interés en particular tomando en cuenta el tipo de cambio GBP/USD. De esto podemos derivar o mencionar dos ideas adicionales: Por un lado, si asumimos que Estados Unidos y Gran Bretaña son mercados eficientes (sin mencionar el caso de los países latinos, cuyo desarrollo es más reciente), entonces no necesariamente todo precio en un mercado

eficiente debe seguir estrictamente un Random Walk. Por otro lado, si asumimos la veracidad de la hipótesis del mercado eficiente, entonces solamente la Unión Europea y Gran Bretaña han desarrollado mercados eficientes en el sentido estricto dentro de los países de nuestra muestra.



Universidad de
San Andrés

PARTE III: Análisis de Cointegración

3.1. Cálculo de cointegración

En esta sección nuestro objetivo es analizar la posibilidad de establecer relaciones de largo plazo entre las diversas series Integradas analizadas en la sección anterior, mediante la Cointegración. Para obtener dicha relación utilizaremos la metodología de Engle-Granger. La metodología en cuestión consiste primero en realizar una regresión lineal entre las dos series no estacionarias, obtener los residuos de dicha regresión utilizando los coeficientes estimados, y luego realizar un test de raíz unitaria sobre la serie de los residuos. Para el último paso hemos recurrido a utilizar nuevamente el test Augmented Dickey-Fuller, proceso el cual ya se ha detallado en la sección anterior. A continuación, observaremos los resultados de realizar dicha metodología sobre tres combinaciones:

- GBP/USD - GBP/EUR
- GBP/USD - USD/CHP
- USD/MXP - USD/CHP

Con el fin de realizar un trabajo conciso, mencionaremos que en los tres casos la cointegración falló, es decir, la serie de residuos nunca resultó ser estacionaria, tal como se puede observar en los siguientes cuadros, al notar que el coeficiente del primer lag de las series de residuos siempre resultó no ser estadísticamente significativo, por lo cual en ningún caso hubo evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de presencia raíz unitaria sobre la serie de residuos.

GBP/USD - GBP/EUR

Debajo se puede observar los resultados del test ADF (2) para el par GBP/USD - GBP/EUR:

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	0.0000	0.0000	0.1530	0.8784
Residual(-1)	(0.0019)	0.0010	(1.9176)	0.0552
D Residual(-1)	(0.0609)	0.0142	(4.2835)	0.0000
D Residual(-2)	0.0093	0.0142	0.6559	0.5119

Residual(-1) = valor de la serie de tiempo con lag de un día

D Residual (-1) = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de un día

D Residual (-2) = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de dos días

Tal como se puede ver, el estadístico t del coeficiente del primer lag *Residual(-1)* resultó no ser significativo, por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula de presencia de raíz unitaria.

GBP/USD - USD/CHP

Debajo se puede observar los resultados del test ADF (2) para el par GBP/USD - USD/CHP:

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	0.0000	0.0001	0.5930	0.5532
Residual(-1)	(0.0012)	0.0010	(1.2262)	0.2202
D Residual(-1)	(0.0570)	0.0153	(3.7246)	0.0002
D Residual(-2)	(0.0056)	0.0153	(0.3647)	0.7153

Residual(-1) = valor de la serie de tiempo con lag de un día

D Residual (-1) = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de un día

D Residual (-2) = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de dos días

Tal como se puede ver, el estadístico t del coeficiente del primer lag *Residual(-1)* resultó no ser significativo, por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula de presencia de raíz unitaria

USD/MXP - USD/CHP

Debajo se puede observar los resultados del test ADF (2) para el par USD/MXP - USD/CHP:

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	0.0000	0.0000	0.4865	0.6267
Residual(-1)	(0.0027)	0.0011	(2.4221)	0.0155
D Residual(-1)	(0.1877)	0.0159	(11.8394)	0.0000
D Residual(-2)	(0.0243)	0.0158	(1.5338)	0.1252

Residual(-1) = valor de la serie de tiempo con lag de un día

D Residual (-1) = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de un día

D Residual (-2) = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de dos días

Tal como se puede ver, el estadístico t del coeficiente del primer lag *Residual(-1)* resultó no ser significativo, por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula de presencia de raíz unitaria

3.2. Interpretación de resultados

Ahora bien, de estos resultados podemos obtener dos conclusiones. Por un lado, al no poder realizar una exitosa cointegración de las series, no podemos establecer una relación de largo plazo entre ellas de tal modo que el spread resulte ser un proceso estacionario, por lo menos analizando una canasta de dos tipos de cambio nominales. Por lo tanto, no podemos realizar estrategias de arbitraje estadístico sobre el spread de dos series de tipos de cambios. Por otro lado, la incapacidad de cointegrar se debe a algo que hemos probado en la primera sección: si bien los tipos de cambio no necesariamente siguen un Random Walk, sí siguen un proceso estocástico Integrado. Ahora bien, tomemos en cuenta la siguiente idea: aplicar logaritmos sobre una serie simplemente escala la misma, por lo que si la serie original fuese Integrada también lo sería el log de la misma y viceversa. Ahora bien, la cointegración de los logs de dos series de tipo de cambio implica que el spread es la resta de los mismos, por lo que obtenemos el log del “cross rate”, es decir, obtenemos el log de un tipo de cambio diferente (Carol Alexander, 2013: 232). Por ejemplo:

$$\ln\left(\frac{USD}{MXP}\right) - \ln\left(\frac{USD}{CHP}\right) = \ln\left(\frac{USD}{MXP} * \frac{CHP}{USD}\right) = \ln\left(\frac{CHP}{MXP}\right)$$

Entonces, los residuos nunca resultaron ser no estacionarios porque siempre obteníamos una serie de otro tipo de cambio, en cuyo caso vimos que dicha serie sigue un proceso Integrado. Más aún, si nos remontamos al a hipótesis del mercado eficiente, nunca debería poderse cointegrar dos series de tipos de cambios de mercados eficientes porque eso implicaría que los cross rates de las mismas no siguen un Random Walk, y por ende no son mercados eficientes. Es necesario enfatizar que esta conclusión es una posible respuesta y no necesariamente la única a la incapacidad de cointegrar las series.

¿Qué si analizamos el caso de USD/MXP vs USD/CHP? En este caso, los residuos estarían conformados por el tipo de cambio CHP/MXP, y en el siguiente cuadro se puede observar los resultados de realizar un test de raíz unitaria sobre la serie histórica de este cross-rate.

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	0.0943	0.0353	2.6698	0.0076
CHP/MXP(-1)	(0.0024)	0.0008	(3.0416)	0.0024
D CHP/MXP(-1)	(0.2773)	0.0152	(18.2439)	0.0000
D CHP/MXP(-2)	(0.1026)	0.0152	(6.7489)	0.0000

$CHP/MXP(-1)$ = valor de la serie de tiempo con lag de un día

$D CHP/MXP(-1)$ = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de un día

$D CHP/MXP(-2)$ = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de dos días

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	(0.0114)	0.0062	(1.8325)	0.0669
D CHP/MXP(-1)	(1.3703)	0.0320	(42.8001)	-
D2 CHP/MXP(-1)	0.0935	0.0248	3.7763	0.0002
D2 CHP/MXP(-2)	(0.0072)	0.0153	(0.4692)	0.6389

$D CHP/MXP(-1)$ = primera diferencia de la serie de tiempo con lag de un día

$D2 CHP/MXP(-1)$ = segunda diferencia de la serie de tiempo con lag de un día

Como se puede observar, la serie es generada por un proceso I(1), pero no por un Random Walk. Es más, es la primera serie en la cual hay tanta autocorrelación en los errores, ya que es la primera en la cual el coeficiente de la primera diferencia con un lag de dos días resulta ser estadísticamente significativo al 1%.

PARTE IV: Conclusión

En resumen, nuestro trabajo tenía dos objetivos principales: El primer objetivo era analizar si se veía presente la hipótesis de mercados eficientes en los mercados de tipo de cambio, en particular, si las series de tipos de cambio siguen un proceso estocástico integrado, y si en aquellos mercados más desarrollados seguía un Random Walk. Utilizamos una muestra de cuatro series, y observamos que, si bien todas eran generadas por un proceso estocástico Integrado, sólo la serie de GBP/EUR seguía un proceso Random Walk. Este resultado puede ser utilizado como una medida del grado de eficiencia de los mercados respectivos de cada serie, o como una divergencia a la hipótesis de mercados eficientes tal como es definida en el trabajo.

El segundo objetivo se centraba en la posibilidad de hallar relaciones de largo plazo entre las series Integradas, de tal modo que se pudiese realizar estrategias de arbitraje estadístico sobre las propiedades de un spread estacionario con reversión a la media. Sin embargo, los resultados obtenidos probaron que nunca resultó factible la cointegración y, es más, esto se debió a las mismas características que buscamos probar en la primera sección: que las series de tipos de cambio en mercados desarrollados y eficientes siguen un proceso Integrado. Entonces, econométricamente resultará muy *complejo* cointegrar pares de series de tipos de cambios, en cambio, si se cumple la hipótesis de mercados eficientes resultará *imposible* cointegrar en estos mercados.

Universidad de
San Andrés

Líneas de profundización propuestas

En base a los resultados del trabajo, se puede profundizar el análisis en tres aspectos principales: un aumento en la cantidad de monedas en la muestra, el análisis de las series en varios períodos temporales y un análisis más profundo de los procesos integrados que hemos demostrado no ser Random Walks. En primer lugar, una mayor muestra permitiría obtener conclusiones más generales sobre el comportamiento de las monedas en los mercados desarrollados y no desarrollados. En segundo lugar, el análisis de una moneda en varios períodos permitirá observar si las conclusiones obtenidas son fenómenos aislados o si son comportamientos que se pueden observar a lo largo de la serie entera, reforzando las conclusiones obtenidas. Finalmente, un análisis más detallado de los procesos integrados que se encuentran detrás de las series de tipos de cambio nominales permitirá una mayor comprensión de los movimientos de estos activos, permitiendo posiblemente ampliar la definición de eficiencia, por ejemplo, si se incluyese a aquellos procesos integrados que fuesen Random Walks con drift.



Bibliografía

- Ajayi, R.A., Karemera, D., (1996). A variance ratio test of random walks in exchange rates: evidence from Pacific Basin economies. *Pacific-Basin Finance Journal*, 4(1), 77–91.
- Carol, A. *Market Risk Analysis Volume II: Practical Financial Econometrics*. England: John Wiley & Sons Ltd. 2013. 201-252.
- Coleman, M. (1990). Cointegration-based tests of daily foreign exchange market efficiency. *Economics Letters*, 32(1), 53-59.
- Corbae, D., Ouliaris, S., (1986). Robust tests for unit roots in the foreign exchange market. *Economics Letters*, 22(4), 375-380.
- Fama, E.F., (1970). Efficient capital markets: a review of theory and empirical work. *Journal of Finance*, 25(2), 383-417.
- Fama, E., (1984). Forward and spot exchange rates. *Journal of Monetary Economics*, 14(3), 319-338.
- Hakkio, C., Rush, M., (1989). Market efficiency and cointegration: an application to the sterling and deutschemark exchange markets. *Journal of International Money and Finance*, 8(1), 75-88.
- Liu, C.Y., He, J., (1991). A variance ratio test of random walks in foreign exchange rates. *Journal of Finance*, 46(2), 773-785.
- Meese, R.A., Singleton, K.J., (1982). On the unit roots and the empirical modeling of exchange rates. *Journal of Finance*, 37(4), 1029-1034.
- Zivot, E., (2000). Cointegration and forward and spot exchange rate regressions. *Journal of International Money and Finance*, 19(6), 785-812.
- Wu, J.L., Chen, S.L., (1998), Foreign exchange market efficiency revisited, *Journal of International Money and Finance*, 17(5), 831-838.

Anexo

En la evaluación de la significatividad de los tests se utilizó tablas de Augmented Dickey-Fuller, las cuales varían del DF normal en cuanto que los valores críticos dependen de la cantidad de lags utilizados y de la cantidad de observaciones utilizadas.

El test Augmented Dickey-Fuller (q) se basa en la regresión:

$$\Delta X_t = \beta X_{t-1} + \gamma_1 \Delta X_{t-1} + \dots + \gamma_q \Delta X_{t-q} + e_t$$

ΔX_t = valor de la primera diferencia de la serie de tiempo en el momento t

β = coeficiente sobre el cual se realizará el test de raíz unitaria

γ_q = coeficiente que captura la autocorrelación de la serie

e_t = shock aleatorio en el momento t i.i.d con media 0 y varianza θ^2

De tal modo, el test de hipótesis a realizar sobre la regresión es el siguiente:

$$H_0: \beta = 0 \quad \text{vs} \quad H_A: \beta < 0$$

Siendo la hipótesis la presencia de raíz unitaria. A continuación, se puede observar los valores críticos del estadístico t :

Tabla Augmented Dickey-Fuller, Obs > 500

Number of Lags	Significance Level		
	1%	5%	10%
1	-3.43	-2.86	-2.57
2	-3.90	-3.34	-3.05
3	-4.30	-3.74	-3.45
4	-4.65	-4.10	-3.81
5	-4.96	-4.42	-4.13