

EFICIENCIA DEL MERCADO CAMBIARIO EUROPEO: Un Análisis de Cointegración con Datos de Alta Frecuencia

JOSE MIGUEL GREDILLA [†]

*Universidad Técnica Federico Santa María
Departamento de Industrias*

MANUEL MADRID-ARIS [†]

*Universidad Técnica Federico Santa María
Departamento de Industrias*

MARCELO VILLENA

*Universidad Adolfo Ibáñez
Facultad de Ciencias y Tecnología*

*** Fecha de este Borrador: 2 de Mayo, 2006.**

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es analizar la eficiencia en los mercados de divisas europeas después de la entrada en vigencia del euro. Utilizando técnicas econométricas se contrasta la existencia de una relación de largo y corto plazo entre el precio spot del Euro con intervalos temporales al minuto, y otras monedas de naciones europeas tales como la Corona Danesa, la Corona Noruega, la Libra Esterlina y el Franco Suizo. Mediante el uso de tests estándares de cointegración se concluye la existencia de una relación de largo plazo entre la Corona Danesa y el Euro, y entre la Corona Noruega y el Euro, vulnerándose de esta forma la hipótesis de eficiencia de los mercados. Esta relación se mantiene cuando se tranzan altos volúmenes de estas divisas en el mercado internacional. Adicionalmente, se realizaron análisis de cointegración para ciertos horarios específicos del día, concluyendo la presencia de cointegración para las mismas monedas. Finalmente se analiza el poder predictivo de distintos modelos de vectores autoregresivos (VAR) con horizontes temporales de una semana y un mes, para las Coronas Danesa y Noruega, respecto del Euro.

Clasificación JEL: F31, G10, G14, G15.

Keywords: Eficiencia de Mercados, Mercado de Divisas, Tipos de Cambio, Divisas Europeas, Cointegración, Modelo VAR.

[†] Los autores agradecen enviar comentarios y correspondencia a Manuel Madrid (manuel.madrid@usm.cl) y José Miguel Gredilla (josegredilla@vtr.net), Departamento de Industrias, Universidad Técnica Federico Santa María, Santiago, Chile.

Introducción

El análisis de eficiencia de los distintos mercados de moneda, es una de las áreas de investigación de las finanzas internacionales de gran actividad, donde se han desarrollado innumerables estudios que tienen por objeto rebatir las teorías de eficiencia de mercados propuestas originalmente por Samuelson (1965), Roberts (1967) y Fama (1970), entre otros. En este ámbito destaca el trabajo de Granger (1986), quien señaló que dos activos financieros en un mercado eficiente no pueden estar cointegrados,¹ porque si lo estuvieran, el precio de un activo podría ser utilizado para predecir el precio del otro activo.

A pesar de este interés, una gran mayoría de estos trabajos se han centrado en contrastar la eficiencia de los mercados financieros con observaciones de baja frecuencia, esto es análisis con datos trimestrales, mensuales o diarias. Una excepción interesante es el estudio elaborado por Engle y Russell (2004), quienes hacen una revisión muy completa con respecto a los datos financieros de alta frecuencia que es posible obtener en la actualidad.

El objetivo principal de este estudio es analizar cuantitativamente la hipótesis de eficiencia en los mercados de divisas europeas para aquellos países que no han adoptado el Euro como moneda única, a la luz de datos de alta frecuencia.² Específicamente se analizará la presencia de cointegración entre distintos pares cambiarios, en un mercado altamente desarrollado y automatizado, considerando distintos criterios tales como: i) altos volúmenes transados, y ii) distintos horarios diarios. Adicionalmente, se aplican modelos de vectores autoregresivos (VAR), testeando su poder predictivo. El análisis permitirá verificar la posibilidad de obtener ganancias sobrenormales con estas divisas, utilizando estrategias de compra y venta.

Esta investigación está organizada en cinco secciones. La primera sección presenta la revisión de la literatura, que muestra estudios similares realizados en esta área. La segunda sección muestra la metodología utilizada en el estudio. En la tercera sección se describen los datos utilizados y se exponen los principales hallazgos y resultados del análisis de cointegración. En la cuarta sección se presentan los modelos VAR para aquellas divisas que presentan relaciones de cointegración con el Euro, analizándose el poder predictivo de las mismas. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones de este estudio.

¹ Se dice que dos o más series de precios están cointegradas si se mueven conjuntamente a lo largo del tiempo y las diferencias entre ellas son estables, aún cuando sean no estacionarias. De aquí que la cointegración refleja la presencia de un equilibrio a largo plazo hacia el cual converge el sistema económico en el tiempo.

² Suiza, Noruega y Gran Bretaña no son parte de la Unión Europea, en tanto, Dinamarca si es miembro de la comunidad pero no ha adoptado al Euro como moneda oficial.

1.- Revisión de la Literatura

Existen múltiples investigaciones que hacen referencia a la eficiencia de los mercados y sus comportamientos. En general, se han desarrollado variados estudios internacionales referentes al tema de cointegración entre diferentes instrumentos financieros, obteniendo resultados disímiles.

Fama (1970), un trabajo clásico en este tema, señala que un mercado en el cual los precios reflejan completamente la información disponible, es denominado “*eficiente*”. Distingue en su investigación tres formas de eficiencia de mercado; la “*débil*” (weak form) que contempla la información histórica de los precios, la “*semi-fuerte*” (semi-strong form) que considera además la información pública, y la “*fuerte*” (strong form) que incluye también el acceso monopólico de los agentes de mercado a cierta información privada. Estas tres formas de eficiencia de mercado conforman la conocida hipótesis de mercado eficiente (EHM). Fama realiza tests para contrastar las hipótesis de las distintas formas de eficiencia, utilizando datos diarios de los precios de treinta acciones estadounidenses desde fines de 1957 hasta septiembre de 1962. Concluyendo la existencia de eficiencia en las tres formas antes propuestas.

Engle y Granger (1987) desarrollan procedimientos de estimación, pruebas y ejemplos empíricos para establecer relaciones de largo plazo entre series de tiempo, lo que se conoce como cointegración; además de elaborar modelos de corrección de errores (MCE) que permitan representar las dinámicas de corto plazo de estas series. Para esto desarrolla una metodología para contrastar la hipótesis de cointegración entre dos series. Estos procedimientos utilizan pruebas de raíces unitarias para verificar la no estacionariedad de las series y la correspondiente estacionariedad de sus combinaciones lineales³, y así comprobar la existencia de cointegración. Además realiza ejemplos empíricos para probar el desempeño de los tests en la práctica, utilizando datos trimestrales del consumo personal y el ingreso (Trimestre I - 1947 hasta Trimestre II - 1981), demostrando la existencia de cointegración entre estas dos variables. A continuación se revisan algunos estudios más actuales relacionados con la presente investigación.

Zivot (1998) investiga la relación entre modelos de cointegración relacionados con el precio spot actual (S_t) de cierta divisa y su correspondiente precio forward (f_t), y modelos que utilizan el precio spot a futuro (S_{t+1}) y el precio forward actual (f_t). Utilizando para sus pruebas y formulación de modelos datos mensuales, de la Libra Esterlina, del Yen y del Dólar Canadiense, con respecto al Dólar Norteamericano. La conclusión principal del estudio dice relación con que la formulación de un modelo simple de cointegración entre los precios spot y forward actuales capturan con mayor facilidad aquellos hechos estilizados de los tipos de cambio y sus comportamientos, en comparación a modelos que utilizan precios spot rezagados en un periodo.

³ Sean $\{X_t\}$ e $\{Y_t\}$ dos series de tiempo que luego de diferenciarlas d veces se convierten en estacionarias, entonces tanto $\{X_t\}$ como $\{Y_t\}$ son integradas de orden d , esto es $I(d)$. Entonces $\mu_t = Y_t - \beta \cdot X_t$ debería ser $I(d - b)$, con $b > 0$, para que ambas series estén cointegradas.

Dutt y Ghosh (1999) examinan las formas débil y fuerte de eficiencia en el mercado de divisas utilizando un procedimiento alternativo al propuesto por Engle y Granger. Para esto realizan la tradicional prueba de estacionariedad de Dickey-Fuller, para ciertas monedas europeas como la Corona Danesa, el Franco Francés, el Marco Alemán, el Franco Belga, la Lira Italiana y el Florín Holandés, comparando los precios spot y forward de las divisas⁴, medidas con respecto al Dólar Norteamericano y utilizando datos mensuales. Posteriormente se realizan las pruebas propuestas por Harris e Inder (1994) para las mismas monedas. Para ambos métodos se obtienen como resultado principal la no existencia de cointegración entre los precios spot de las monedas y sus correspondientes precios forward, lo que teóricamente se interpreta como ineficiencia en el mercado de divisas en el largo plazo.

Kellard, Newbold y Rayner (2001) proponen que el hecho de encontrar cointegración entre el precio spot y forward de alguna cierta divisa refleja la existencia de cobertura en arbitraje de tasas de interés, y no necesariamente implica eficiencia en el mercado. Esta teoría de arbitraje en tasas de interés se basa en el hecho de que la tasa real esperada sobre el capital es la misma en diferentes países, y por ende el capital se mueve de países de bajo retorno a países con altos rendimientos. La metodología utilizada en esta investigación tiene relación con la formulación de dos modelos, uno bivariado que incluye el precio spot de una divisa y su precio forward rezagado en un periodo, analizados ambos con las pruebas de Johansen, y de Brenner y Kroner (1995). El otro modelo es trivariado, ya que considera además la variable diferencial de tasas de interés (también rezagada en un periodo). Para este análisis considera datos diarios (desde Mayo de 1984 hasta Octubre de 1995) para la Libra Esterlina, el Yen y el Marco Alemán, respecto al Dólar Norteamericano. Esta investigación concluye que los precios spot de las divisas no sólo se relacionan con los precios forward rezagados de las mismas, sino que también con los diferenciales rezagados de las tasas de interés correspondientes.

Trapletti *et al* (2002) presentan un análisis de cointegración para tres pares de monedas, siendo uno de los pocos estudios que utiliza datos de alta frecuencia. Testeando la hipótesis de eficiencia de mercado en horizontes temporales cortos para los precios spot del Yen Japonés, del Marco Alemán y del Dólar Norteamericano. La data considera precios a la hora desde el 1 de Octubre de 1992 hasta el 30 de Septiembre de 1993, los cuales son calculados como el promedio entre los precios de compra y venta de cada una de las tasas. Al realizar un análisis de estacionariedad se estableció que el orden de integración de cada una de las series de tiempo involucradas en el estudio presentaban raíces unitarias. Por otro lado, es importante destacar que mediante las pruebas de cointegración de Traza y de Valor Propio de Johansen se obtuvo evidencia fuerte de cointegración entre las monedas.

Trapletti *et al* (2002) realiza además un análisis del poder predictivo de los distintos modelos econométricos planteados, fundamentalmente modelos VAR y procesos de Martingala. Este ejercicio se realiza con la segunda mitad de la data y evaluando las predicciones en base al cuadrado medio del error de predicción (MSPE) y a la media absoluta del error de predicción (MAPE). Al comparar las predicciones realizadas con modelos VAR y procesos de

⁴ Se dice que cuando hay presencia de cointegración entre los precios spot y forward de alguna divisa, esto se interpreta como que el correspondiente mercado es eficiente en el largo plazo.

Martingala, se tiene que el primero es más eficiente debido a que se presentan errores de predicción menores. Los principales hallazgos de esta investigación rechazan igualmente la hipótesis de eficiencia de mercado al menos en su forma débil. Aún así, una versión más robusta de la EHM que considere los costos de transacción no puede ser completamente aceptada. Este estudio representa una clara referencia para el análisis de esta investigación, y es muy considerado en la presente propuesta metodológica.

Wickremasinghe (2004) examina las formas débil y semi-fuerte de la hipótesis de mercado eficiente (EHM), utilizando en su análisis la moneda de Sri Lanka como base para seis divisas internacionales. Para examinar la forma débil considera las tradicionales pruebas de raíces unitarias, mientras que para contrastar la forma semi-fuerte de eficiencia utiliza la metodología de Engle y Granger, en el cual se aplican las pruebas de Dickey-Fuller aumentadas (ADF) y de Phillips-Perron (PP) sobre los residuos de las ecuaciones de cointegración. Por otro lado, lleva a cabo las pruebas de Johansen, de causalidad de Granger y un análisis de descomposición de varianza. En este estudio se utilizan precios spot mensuales del Yen Japonés, de la Libra Esterlina, del Dólar Norteamericano, del Franco Francés, del Rupia de la India y del Marco Alemán, relativos a la Rupia de Sri Lanka, para el periodo de enero de 1986 hasta noviembre del 2000. Los principales resultados apuntan a que existe evidencia para rechazar la versión semi-fuerte de la EHM, puesto que mediante las pruebas de cointegración utilizadas es posible aseverar que algunas monedas tienen una dependencia de largo plazo, y más aún, una relación de causalidad como en el caso del Dólar Norteamericano y la Rupia de la India, y del Yen con la Libra Esterlina.

En general se debe destacar que la mayoría de las publicaciones antes mencionadas usan datos trimestrales, mensuales o diarios en sus metodologías, y eso es justamente el principal factor común existente en todos los estudios relacionados al análisis de cointegración entre precios de divisas, ya sean spot o forward. Es importante señalar que al utilizar esa metodología no existe un alineamiento perfecto en el tiempo de los datos utilizados, en el sentido de que los mercados cambiarios tienen distintas horas de cierre en los diversos países del mundo. Complementándose esto con el hecho de que el tratamiento que se le da a los precios en las distintas bases de datos existentes es diverso. El precio diario en algunas bases de datos puede reflejar el valor medio del día y en otras puede considerar el valor de cierre en el correspondiente mercado. Por ende, pudiera darse fácilmente una inconsistencia en los datos, lo que podría conllevar a resultados inexactos.

Hace diez años, los datos disponibles poseían en el mejor de los casos un horizonte temporal diario, lo que implicaba que 20 años de data se podían reflejar en alrededor de 7300 observaciones. En la actualidad se tiene datos al *Tick*, es decir a nivel de transacción. Contando de esta manera con la posibilidad de enfocar los análisis de una manera mucho más completa y precisa.

Es así como Engle y Russell (2004) hacen una revisión de los datos financieros de alta frecuencia disponibles hoy en día en las distintas bases de datos existentes, analizando las características de estos datos (irregularidad, variabilidad, patrones y dependencia temporal),

así como también el marco econométrico que hay detrás. Recalcando nuevos e interesantes desafíos para los investigadores⁵.

La metodología de esta investigación utiliza datos de divisas al minuto alineadas temporalmente, vale decir, se analizarán tipos de cambio alineados con respecto al día, hora y minuto de otro par cambiario. Por ejemplo, se tiene información de la Corona Danesa para el día 10 de Mayo del año 2005, a las 15:00 hrs. y el respectivo precio del Euro para la misma fecha y hora antes señalada (y así para las 15:01, 15:02, etc.)⁶.

De esta manera, la presente investigación buscará comprobar la hipótesis de eficiencia del mercado cambiario europeo después del ingreso del Euro, utilizando en el análisis datos de alta frecuencia para los precios spot de países que no han incorporado al Euro como moneda única. Y así realizar las pruebas de cointegración, y los correspondientes modelos de vectores autoregresivos (VAR) con un horizonte temporal más cortoplacista (meses y semanas).

2.- Metodología

Fama (1970) estableció que en mercados eficientes la diferencia entre el precio real y el esperado, basado en una información dada, es cero. Lo cual se puede ser descrito matemáticamente de la siguiente manera:

$$E(\tilde{p}_{j,t+1} | \Phi_t) = [1 + E(\tilde{r}_{j,t+1} | \Phi_t)] \cdot p_{j,t} \quad (1)$$

Donde E es el operador de Valor Esperado; $p_{j,t}$ es el precio del instrumento j en el periodo t; $p_{j,t+1}$ es el precio del instrumento j en el periodo t+1; $r_{j,t+1}$ es el retorno porcentual $(p_{j,t+1} - p_{j,t}) / p_{j,t}$ de un instrumento j en un periodo t; Φ_t es una simbología general para representar cualquier set de información reflejada completamente en el precio del periodo t⁷.

De esta manera, se está en condiciones de señalar que una “*paseo aleatorio*” conocido en inglés como “random walk” es un caso especial de un proceso de Markov, donde sólo la información actual de una variable es relevante para predecir el futuro. Y de esta manera, la data histórica de una variable y la forma en cómo el presente se ha manifestado desde el pasado, no tienen importancia alguna.

Una aplicación directa para verificar el cumplimiento de la EHM, es considerando el caso del mercado de divisas a nivel internacional. Es así como en un mercado especulativo eficiente, los precios de los pares cambiarios deben reflejar completamente la información disponible en el mercado, y por ende sería prácticamente imposible para los inversionistas obtener retornos excesivos a causa de la especulación.

⁵ Tal como lo han hecho Trapelitti, Geyer y Leisch (2002), Brooks y Hinich (2004), entre otros.

⁶ Para poder tener la certeza de que los datos representan el mismo instante temporal, se utiliza el horario EST (Eastern Standard Time) de New York.

⁷ El tilde (~) indica que $p_{j,t+1}$ y $r_{j,t+1}$ son variables pronosticadas.

En el caso del mercado de divisas(S)⁸ muchos estudios concluyen que no existe una relación estable entre S_t y S_{t-1} . e incluso, numerosas investigaciones han concluido que los pares de divisas cambian aproximadamente como un paseo aleatorio. De esta manera, los pares cambiarios pueden seguir un paseo aleatorio sólo si se encuentran en un mercado eficiente. Dado lo anterior, se debe mencionar que los pronósticos de precios de divisas no funcionarán si se cumplen las teorías de eficiencia en los mercados.⁹

Por otro lado, en lo que respecta al análisis de series temporales (ST), se debe señalar que existen dos tipos de ST, aquellas estacionarias y las no estacionarias. Se dice que un proceso estocástico¹⁰ es estacionario si su media y su varianza son constantes en el tiempo, y si el valor de la covarianza entre dos periodos depende únicamente de la distancia (rezago) entre estos dos periodos y no del tiempo en el cual se ha calculado, vale decir, la media, la varianza y la covarianza son invariantes respecto al tiempo. Una ST estacionaria tenderá a regresar a su media y las fluctuaciones alrededor de esta media tendrán una amplitud constante¹¹.

La mayoría de las ST presentan fuertes tendencias, entonces si se realiza una regresión entre dos (o más) variables no estacionarias $I(1)$ ¹², se podría concluir erróneamente que existe una fuerte relación entre ellas. Suponga que se tienen las series integradas de primer orden $I(1)$ $Y_t=Y_{t-1}+\mu_t$ y $X_t=X_{t-1}+v_t$, y que se realiza la regresión de Y_t sobre X_t , aún cuando no exista una fuerte relación entre ambas series, es posible obtener estadísticos t muy significativos y un R^2 muy alto, ya que las tendencias crecientes de ambas variables podrían indicar una fuerte relación estadística entre ambas series, pero tal correlación sería *espuria*.

Granger (1986) argumenta que si un par de monedas se encuentran en un mercado eficiente, entonces las series de precios de estas divisas no pueden estar cointegradas. Si (X_t, Y_t) son un par de precios de monedas de un mercado especulativo eficiente, entonces no pueden estar cointegradas, porque si lo estuvieran el precio de un activo podría ser utilizado para predecir el precio del otro activo, lo que contradice la EHM¹³.

En esta investigación se verificará la existencia de una relación de largo entre las distintas divisas (Corona Danesa, Libra Esterlina, Franco Suizo y Corona Noruega) y el Euro (todas versus el Dólar Norteamericano). El primer test a utilizar para verificar cointegración es la denominada prueba de Engle y Granger, la cual contrasta la existencia de estacionariedad de los residuales de una regresión de cointegración. Para esto se utilizará la prueba de ADF sobre los errores de esta ecuación (ver ecuación 3), considerando los valores críticos tabulados por MacKinnon (1991). La segunda prueba a utilizar para comprobar la existencia de cointegración entre las divisas es la llamada prueba de Johansen, la cual considera modelos de

⁸ El mercado de divisas será caracterizado por S_t , donde t representa el periodo temporal en cuestión.

⁹ Este tipo de mercados se caracterizan porque la llegada de nueva información (relevante para el ajuste de precios en los mercados) es aleatoria, y porque un extenso número de participantes tendrán igual acceso a esa nueva información, así cada uno de estos inversionistas comercializarán con la misma información, y de esta manera se ajustarán los precios Esta descripción caracterizaría a los mercados de divisas según Bishop y Dixon (1992).

¹⁰ Un proceso estocástico es una colección de variables aleatorias ordenadas en el tiempo.

¹¹ El cumplimiento de esas condiciones asegura que $\{Y_t\}$ sea débilmente estacionario.

¹² Se dice que una serie es integrada de orden d, esto es $I(d)$, si se vuelve estacionaria luego de diferenciarla d veces.

¹³ Una completa revisión de la hipótesis de eficiencia de mercados puede ser encontrada en "The Efficient Market Hypothesis: A Survey", Estudio elaborado por Beechey, Gruen y Vickery.

vectores autoregresivos (VAR) para su análisis. Los procedimientos de ambas pruebas se encuentran descritos a continuación.

▪ Test de Engle y Granger

El procedimiento para verificar la existencia de cointegración utilizando esta prueba se detalla a continuación:

1. Suponga que se tienen dos series temporales $\{Y_t\}$ y $\{X_t\}$, y que se hace una regresión de Y sobre X de la siguiente forma:

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 \cdot X_t + \mu_t \quad (2)$$

2. Ahora se expresa el residuo como combinación lineal de las series, es decir, se formula como:

$$\mu_t = Y_t - \beta_1 - \beta_2 \cdot X_t \quad (3)$$

3. Y por último se debe aplicar la prueba de ADF a los valores de μ_t . Si se descubre que la serie de los residuos es estacionaria, es decir $I(0)$, entonces se podría concluir que estas dos variables (X_t , Y_t) están cointegradas.

▪ Test de Johansen

En lo que respecta a la prueba de Johansen propiamente tal, la regresión a utilizar es la siguiente:

$$\Delta Y_t = \alpha + \Pi \cdot Y_{t-1} + \sum_{j=1}^k \Gamma_j \cdot \Delta Y_{t-j} + \mu_t \quad (4)$$

Donde Y_t es un vector de n variables, α es un vector de n constantes, Π y Γ_j ($j=1, \dots, k$) son matrices de parámetros de orden $n \times n$, y μ_t es el vector de n residuales. Hay presencia de cointegración si la matriz Π tiene un rango mayor que cero, es decir la hipótesis nula (H_0) es que el $\text{rango}(\Pi)=h$, y la alternativa (H_1) es que el $\text{rango}(\Pi)=n$, donde h representa el número de vectores de cointegración. Bajo la hipótesis alternativa, el rango de Π es n, lo cual sólo podría ocurrir si las n variables contenidas en el vector Y_t son estacionarias, es decir $I(0)$.

▪ Modelos de Vectores Autoregresivos (VAR)

Por último, tal como se señaló anteriormente, el experimento de predicción buscará contrastar dos tipos de modelos VAR (semanal y mensual) para aquellas divisas que tengan relaciones de largo plazo significativas. El mejor modelo será elegido de acuerdo al que tenga menores *errores de predicción absolutos*, es decir, si se tiene un valor real Y_t y un valor pronosticado \tilde{Y}_t , entonces se escogerá aquel modelo que tenga en promedio un $|Y_t - \tilde{Y}_t|$ menor.

La metodología VAR es una generalización de los modelos autoregresivos univariados, puesto que considera un sistema de regresiones compuestas por variables endógenas¹⁴ explicadas por sus valores rezagados en el tiempo.

Por ejemplo si se asumen dos variables X e Y, y se tiene que Y afecta a X y ésta a su vez influye en Y, se tendría una situación ideal para la aplicación de un modelo VAR de la siguiente forma:

$$Y_t = \alpha + \sum_{j=1}^k \beta_j \cdot Y_{t-j} + \sum_{j=1}^k \gamma_j \cdot X_{t-j} + \mu_t \quad (5)$$

$$X_t = \alpha' + \sum_{j=1}^k \theta_j \cdot Y_{t-j} + \sum_{j=1}^k \gamma_j \cdot X_{t-j} + \mu'_t \quad (6)$$

Donde μ son los términos de error, llamados también impulsos, innovaciones o shocks; y k es la longitud del rezago a utilizar.

3.- Resultados del Análisis de Cointegración

▪ Sobre los Datos

Esta investigación utiliza datos sumamente desagregados, con intervalos temporales de un minuto entre dato y dato, y por ende tiene implicaciones en la metodología a utilizar y en los resultados que se esperan.

Las divisas analizadas en esta investigación están medidas en la misma zona horaria (EST), para así tener la certeza de que los precios representan exactamente el mismo periodo temporal, y al mismo tiempo se utilizan datos completamente alineados unos con otros. El periodo de análisis considera precios spot de las divisas desde el 10 de Mayo hasta el 10 de Agosto del 2005.¹⁵

Un paso importante para este análisis tiene relación con exponer hechos estilizados, como es la estadística descriptiva de los precios y volúmenes transados de cada una de las monedas involucradas en este estudio, es decir, para la Corona Danesa (USD/DKK), la Libra Esterlina (GBP/USD), la Corona Noruega (USD/NOK), el Franco Suizo (USD/CHF) y el Euro (EUR/USD), la cual es presentada en el anexo de este estudio¹⁶.

¹⁴ Usualmente no se incorporan variables exógenas en el modelo.

¹⁵ Debido al corto intervalo temporal utilizado en cada una de las variables, es que en determinadas ocasiones fue necesario eliminar datos de alguna de las dos divisas en comparación, ya que de otra forma se desalinearían completamente las series de precios.

¹⁶ Además se presentan en el anexo los resultados de las pruebas de estacionariedad de ADF sobre cada una de las series, de las cuales se concluye que todas presentan raíces unitarias, es decir, son I(1).

▪ **Pruebas de Dickey-Fuller Aumentadas (ADF) sobre los Residuos (ADF)**

El test de ADF exige que se escoja una variable dependiente en la ecuación de cointegración. Los resultados del test no son inmunes a tal elección. Sin embargo, fundamentos teóricos pueden avalar la elección de una determinada relación de causalidad. En particular, se escogió en todos los casos como variable independiente al Euro, debido a que no es lógico pensar que, por ejemplo, la Corona Danesa “mueva” al Euro. Es decir, de esta forma se puede contrastar si efectivamente el precio de estas monedas extranjeras (Franco Suizo, Corona Danesa, Corona Noruega y Libra Esterlina) es neutral a aumentos (o disminuciones) en el precio spot del Euro.

Tabal 1 muestra los resultados de la pruebas de ADF para las series completas, con el fin de verificar la presencia de una relación de largo plazo entre las divisas en cuestión.

Tabla 1: Resultados de ADF sobre los Residuos¹⁷

Ecuación de Cointegración	Prueba ADF
Ln(Euro) y Ln(DKK)	-8,750**
Ln(Euro) y Ln(NOK)	-2,451*
Ln(Euro) y Ln(CHF)	-1,759
Ln(Euro) y Ln(GBP)	-1,047

*Nota: *(**) representan estadísticos de prueba significativos al 5%(1%).*

En cada una de las pruebas se incluyeron 5 rezagos, y las ecuaciones de cointegración de cada uno de los casos incorporaron tantos rezagos como el Criterio de Información de Akaike (AIC)¹⁸ lo determinara. En lo que sigue se expondrán los resultados obtenidos para los casos en que se tranzan altos volúmenes de estas divisas en el mercado internacional¹⁹.

Tabla 2: Resultados de Cointegración para Altos Volúmenes Tranzados

Ecuación de Cointegración	Prueba ADF
Ln(Euro) y Ln(DKK)	-3,772**
Ln(Euro) y Ln(NOK)	-2,482*
Ln(Euro) y Ln(CHF)	-1,172
Ln(Euro) y Ln(GBP)	-0,862

*Nota: *(**) representan estadísticos de prueba significativos al 5%(1%).*

En lo que respecta al objetivo de establecer criterios temporales para probar las hipótesis de cointegración, se realizan los tests de ADF en los siguientes horarios: 8:40 a 9:30 horas, y de 9:50 a 10:40 horas, según el horario de Nueva York (Eastern Standard Time).

¹⁷ Se testeó cointegración utilizando las ecuaciones de cointegración con las series de precios completas, es decir, datos al minuto desde el 10 de Mayo al 10 de Agosto del 2005.

¹⁸ El problema de cuántos rezagos incluir implica la especificación del modelo. El criterio AIC selecciona rezagos adicionales hasta que el coeficiente de determinación (R^2) deja de incrementarse.

¹⁹ Se consideró un volumen alto, cuando las transacciones superaban en un 80% la media de los volúmenes tranzados para cada una de las monedas.

Los resultados para cada una de las divisas se muestran a continuación²⁰:

Tabla 3: Resultados de Cointegración para Horarios Específicos

Ecuación de Cointegración	Prueba ADF	
	Horario 8:40 a 9:30	Horario 9:50 a 10:40
Ln(Euro) y Ln(DKK)	-2,092*	-1,673
Ln(Euro) y Ln(NOK)	-1,951*	-1,878
Ln(Euro) y Ln(CHF)	-1,037	-0,950
Ln(Euro) y Ln(GBP)	-0,903	-1,035

*Nota: *(**) representan estadísticos de prueba significativos al 5%(1%).*

Al observar los valores de los estadígrafos de ADF para cada una de las ecuaciones de cointegración mostradas en las tablas anteriores se puede concluir que las divisas que cointegran con el Euro (EUR/USD) son la Corona Danesa (USD/DKK) y la Corona Noruega (USD/NOK), pero no se puede aseverar que el grado de cointegración aumente cuando existe una alta demanda por estas divisas en el mercado internacional, ni cuando se consideran los volúmenes tranzados desde las 8:40 hasta 9:30 hrs., y desde las 9:50 a las 10:40 hrs. Puesto que incluso los estadígrafos ADF disminuyen cuando se prueba cointegración ante estas dos situaciones.

▪ Prueba de Johansen

Como una forma alternativa de testear la existencia de cointegración entre las divisas estudiadas en esta investigación, se realizará la prueba de traza propuesta por Johansen (1985). Esta metodología entrega la forma de determinar el número de vectores de cointegración, su identificación y la forma de su inclusión en una estimación general.

Básicamente en esta sección se plantearán modelos bivariados para los precios spot de la Corona Danesa (USD/DKK), la Corona Noruega (USD/NOK), el Franco Suizo (USD/CHF) y la Libra Esterlina (GBP/USD), cada uno versus el precio del Euro (EUR/USD). De acuerdo al test de traza de Johansen, existiría una relación de cointegración cuando no se rechace H_0 : A lo más existe una relación de cointegración; versus la alternativa H_1 : Existen dos relaciones de cointegración (Esto sólo puede ocurrir si las dos variables contenidas son estacionarias, es decir $I(0)$).

A continuación se presentan los resultados de la prueba de Johansen para las series completas (es decir, todo el periodo) de cada una de las divisas analizadas.

²⁰ Por otro lado, se debe señalar que los valores críticos (CV) utilizados no son aquellos estimados por Dickey-Fuller, sino que los CV apropiados han sido tabulados por MacKinnon (1991).

Tabla 4: Resultados del Test de Johansen para las Series Completas

Divisas	Valor Propio	Test de Traza	Valor Crítico al 5%	Valor Crítico al 1%	Número de Relaciones de Cointegración (H ₀)
EUR/USD v/s USD/DKK	0,002699	261,218	15,410	20,040	Ninguna **
	6,45E-05	6,088	3,760	6,650	A lo más 1 *
EUR/USD v/s USD/NOK	0,000112	16,661	15,410	20,040	Ninguna *
	6,42E-05	6,072	3,760	6,650	A lo más 1 *
EUR/USD v/s USD/CHF	9,53E-05	15,371	15,410	20,040	Ninguna
	6,20E-05	6,061	3,760	6,650	A lo más 1 *
EUR/USD v/s GBP/USD	7,46E-05	10,114	15,410	20,040	Ninguna
	2,90E-05	2,829	3,760	6,650	A lo más 1

Nota: (**) indica el rechazo de H₀ al 5%(1%) de significancia.

Es relevante señalar que el test asume la presencia de tendencias determinísticas en las series, y se utilizan dos rezagos en el modelo VAR. Esta condición se utiliza en todas las pruebas efectuadas, puesto que según el criterio de Akaike (AIC) no era óptimo incluir más variables rezagadas.

En la Tabla 4 se puede apreciar que el test indica únicamente la presencia de una relación de cointegración entre la Corona Danesa (USD/DKK) y el Euro (EUR/USD), con un nivel de confiabilidad del 99%, la cual esta dada por²¹:

$$\begin{aligned} \text{Ln(USD / DKK)} &= 2,0128 - 1,0241 \cdot \text{Ln(EUR / USD)} & (7) \\ & (59186) \quad (-6127) \\ R^2 &= 0,9975 \\ n &= 94389 \end{aligned}$$

A continuación se expondrán los resultados obtenidos por la prueba de traza de Johansen cuando se tranzan volúmenes altos de estas divisas en el mercado internacional²².

Nuevamente se debe señalar que el test asume la presencia de tendencias determinísticas en cada una de las series en estudio, y se utilizaron dos rezagos en el VAR.

²¹ Los valores entre paréntesis son los estadísticos t de cada uno de los coeficientes.

²² Se consideró un volumen alto según el mismo criterio utilizado en las pruebas ADF, es decir, cuando las transacciones superaban en un 80% la media de los volúmenes transados para cada una de las monedas.

Tabla 5: Resultados del Test de Johansen cuando se Tranzan Altos Volúmenes de estas Divisas en el Mercado Internacional

Divisas	Valor Propio	Test de Traza	Valor Crítico al 5%	Valor Crítico al 1%	Número de Relaciones de Cointegración (H ₀)
EUR/USD v/s USD/DKK	0,004436	58,640	15,410	20,040	Ninguna **
	9,86E-04	10,652	3,760	6,650	A lo más 1 **
EUR/USD v/s USD/NOK	0,001427	20,416	15,410	20,040	Ninguna **
	3,83E-04	4,319	3,760	6,650	A lo más 1 *
EUR/USD v/s USD/CHF	0,000954	16,495	15,410	20,040	Ninguna *
	3,00E-04	3,948	3,760	6,650	A lo más 1 *
EUR/USD v/s GBP/USD	7,73E-04	13,529	15,410	20,040	Ninguna
	1,27E-04	1,907	3,760	6,650	A lo más 1

Nota: (**) indica el rechazo de H₀ al 5%(1%) de significancia

De la Tabla 5 se puede concluir que no es posible rechazar, a un 1% de significancia, la hipótesis de que a lo más existe una relación de cointegración entre la Corona Noruega (USD/NOK) y el Euro (EUR/USD), según la condicionante de altos volúmenes tranzados internacionalmente, por ende existiría una dependencia de largo plazo entre estas dos monedas.

Esto mencionado anteriormente se puede representar a través de la siguiente ecuación de cointegración²³:

$$\ln(\text{USD} / \text{NOK}) = 2,0273 - 0,7848 \cdot \ln(\text{EUR} / \text{USD}) \quad (8)$$

$$(-201,5) \quad (2638,6)$$

$$R^2=0,7826$$

$$n=11278$$

Por último, se contrastará la hipótesis de cointegración en ciertos horarios del día, al igual que como se hizo con las pruebas de ADF, los horarios propuestos son de las 8:40 a las 9:30 hrs., y de las 9:50 a las 10:40 (Eastern Standard Time). Resultados que se muestran a continuación:

²³ Los valores entre paréntesis son los estadísticos t de cada uno de los coeficientes.

Tabla 6: Resultados del Test de Johansen cuando se Tranzan Divisas en Ciertos Horarios Específicos

Divisas	Horario	Valor Propio	Test de Traza	Valor Crítico	Valor Crítico	Número de Relaciones de Cointegración (Ho)
				al 5%	al 1%	
Corona Danesa v/s Euro	8:40 - 9:30	0,004805	22,526	15,410	20,040	Ninguna **
		1,78E-03	6,082	3,760	6,650	A lo más 1 *
v/s Euro	9:50 - 10:40	0,004727	21,944	15,410	20,040	Ninguna **
		1,69E-03	5,766	3,760	6,650	A lo más 1 *
Corona Noruega v/s Euro	8:40 - 9:30	0,002518	12,746	15,410	20,040	Ninguna
		1,21E-03	4,140	3,760	6,650	A lo más 1 *
v/s Euro	9:50 - 10:40	0,002041	10,490	15,410	20,040	Ninguna
		1,03E-03	3,516	3,760	6,650	A lo más 1
Franco Suizo v/s Euro	8:40 - 9:30	2,16E-03	10,607	15,410	20,040	Ninguna
		9,47E-04	3,235	3,760	6,650	A lo más 1
v/s Euro	9:50 - 10:40	2,36E-03	11,478	15,410	20,040	Ninguna
		1,00E-03	3,429	3,760	6,650	A lo más 1
Libra Esterlina v/s Euro	8:40 - 9:30	2,37E-03	10,104	15,410	20,040	Ninguna
		6,25E-04	2,107	3,760	6,650	A lo más 1
v/s Euro	9:50 - 10:40	2,65E-03	11,164	15,410	20,040	Ninguna
		6,20E-04	2,117	3,760	6,650	A lo más 1

Nota: (**) indica el rechazo de H_0 al 5%(1%) de significancia.

De la Tabla 6 se puede apreciar la existencia de cointegración entre la Corona Danesa y el Euro, para ambos horarios en estudio, es decir existe una relación de largo plazo para estos dos pares desde las 8:40 a las 9:30 y de las 9:50 a las 10:40 hrs. con un nivel de confiabilidad del 99%.

Las ecuaciones que relacionan estas dos monedas en esos horarios específicos son las siguientes:

$$\ln(\text{USD} / \text{DKK}) = 2,0126 - 1,0228 \cdot \ln(\text{EUR} / \text{USD}) \quad (9)$$

(11356) (-1174)

$$R^2=0,9975$$

$$n=3417$$

$$\ln(\text{USD} / \text{DKK}) = 2,0128 - 1,0237 \cdot \ln(\text{EUR} / \text{USD}) \quad (10)$$

(11274) (-1165)

$$R^2=0,9975$$

$$n=3417$$

De manera general, se puede concluir la existencia de una relación de cointegración significativa entre la Corona Danesa y la Corona Noruega versus el Euro. Por esta razón, a modo de complementar esta investigación, se realizará un experimento de predicción para la Corona Danesa y otro para la Corona Noruega, utilizando las series de precios completas, ya que si bien, cuando se tranzaban altos volúmenes en el mercado internacional y/o se testeaba cointegración en ciertos horarios específicos se encontró evidencia de una relación de largo plazo, se obtuvieron relaciones más fuertes cuando se contrastaron las series de precios completas²⁴.

4.- Modelos VAR

En esta sección se plantean distintos modelos VAR, de forma de poder analizar el poder de pronóstico de cada modelo para el precio spot de la Corona Danesa (USD/DKK) versus el Euro (EUR/USD), dadas las relaciones de cointegración encontradas en la sección anterior. La data utilizada en este ejercicio de predicción se considera desde el 2 de Octubre hasta el 30 de Diciembre del 2005.

Se llevarán a cabo seis modelos diferentes, utilizando datos con una frecuencia de 10, 30 y 60 minutos y con horizontes temporales de 1 y 2 meses de data en los modelos. Y se compararán la calidad de las predicciones utilizando el criterio de la Raíz del Cuadrado Medio del Error (RMSE) y del Error Absoluto Medio (MAE), para así conocer cuál modelo explica de mejor manera el comportamiento del precio spot de la Corona Danesa.

Es relevante señalar que se utilizarán en los modelos datos de octubre y noviembre, para predecir precios de diciembre, y así contar con una base de comparación.

Es importante mencionar que los modelos VAR que serán estimados son de la siguiente forma:

$$\text{LN(DKK)}_t = \theta_0 + \sum_{i=1}^k \theta_i \cdot \text{LN(DKK)}_{t-i} + \sum_{i=1}^k \phi_i \cdot \text{LN(EUR)}_{t-j} + v_t \quad (11)$$

Donde k es el número de rezagos incluidos, θ y ϕ son los coeficientes del modelo y v_t es el término de error.

A continuación se muestran en la Tabla 7 el número de rezagos incluidos en los modelos VAR, seleccionados utilizando el Criterio de Schwarz (SC):

²⁴ En el Anexo de este estudio se presentan los gráficos de las series de precios de la Corona Danesa, la Corona Noruega y el Euro, para así tener una visión complementaria de los resultados de cointegración encontrados.

Tabla 7: Rezagos Incluidos según el Criterio de Schwarz

MODELO	Número de Rezagos en el VAR (K)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
I-A	-19,1008	-19,2278*	-19,1943	-19,1768	-19,1363	-19,1049	-19,0561	-19,0178
I-B	-19,2427	-19,3388*	-19,3329	-19,3382	-19,3231	-19,3059	-19,2981	-19,2733
II-A	-19,9321	-20,0586	-20,0990	-20,1115*	-20,1030	-20,0802	-20,0594	-20,0397
II-B	-20,0383	-20,1477	-20,1871	-20,2130	-20,2181*	-20,2090	-20,1984	-20,1943
III-A	-21,2339	-21,3930	-21,4501	-21,4880	-21,5009	-21,5163*	-21,5122	-21,5038
III-B	-21,2916	-21,4386	-21,5006	-21,5371	-21,5515	-21,5705	-21,5740*	-21,5737

*Nota: Los modelos I, II y III utilizan datos con una frecuencia de 60, 30 y 10 minutos respectivamente, en tanto A y B se interpretan como la incorporación de 1 y 2 meses de datos en los modelos VAR. *Mínimo.*

Por otra parte, los resultados de los pronósticos efectuados con los distintos modelos formulados se exponen a continuación:

Tabla 8: Comparación de los Modelos de Predicción

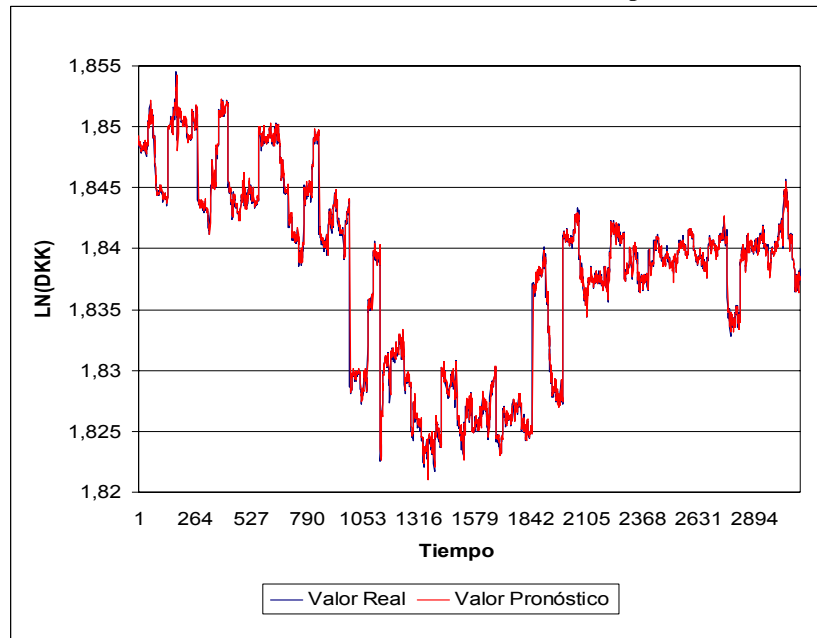
MODELO	Frecuencia de Datos (Minutos)	Data Incorporada (Meses)	RMSE ($\cdot 10^{-2}$)	MAPE ($\cdot 10^{-2}$)
I-A	60	1	0,1966	0,1205
I-B		2	0,1841	0,1007
II-A	30	1	3,2102	3,2042
II-B		2	1,4116	1,4043
III-A	10	1	0,0786	0,0380
III-B		2	0,0774*	0,0358*

*Nota: * Mínimo*

En la Tabla 8 se aprecia claramente que el mejor modelo para efectuar pronósticos es aquel que incorpora más información, es decir dos meses de precios históricos (Octubre y Noviembre) y que utiliza datos con una frecuencia de 10 minutos.

A continuación se puede apreciar en el Gráfico 1 las series de los precios reales (Serie Azul) y pronosticados (Serie Roja) para la Corona Danesa, utilizando el Modelo III-B (2 meses de datos con una frecuencia de 10 minutos).

Gráfico 1: Precios Reales vs. Pronósticos del Corona Danesa para Diciembre del 2005



En el Gráfico 1 se puede apreciar claramente la calidad del pronóstico utilizando ese tipo de modelo, confirmándose entonces la invalidez de la hipótesis de eficiencia de mercados para estos mercados de divisas, y la posibilidad concreta de predecir el valor de la Corona Danesa (USD/DKK), utilizando dos meses de datos del Euro (EUR/USD) con una frecuencia de 10 minutos.

Los resultados del modelo este modelo VAR (III-B) se presentan a continuación:

Tabla 15: Coeficientes Estimados para el Modelo III-B

VARIABLES	COEFICIENTE	ESTADISTICO T
Ln(DKK)_{t-1}	0,30976	3,29471
Ln(DKK)_{t-2}	0,10383	-1,20569
Ln(DKK)_{t-3}	0,10606	-0,47888
Ln(DKK)_{t-4}	0,08710	-0,97866
Ln(DKK)_{t-5}	0,10649	0,28465
Ln(DKK)_{t-6}	0,15772	0,48907
Ln(DKK)_{t-7}	0,03701	-1,19525
Ln(EUR)_{t-1}	0,68953	20,60381
Ln(EUR)_{t-2}	-0,09850	1,43791
Ln(EUR)_{t-3}	-0,10635	0,50346
Ln(EUR)_{t-4}	-0,08469	1,01518
Ln(EUR)_{t-5}	-0,12487	-0,80898
Ln(EUR)_{t-6}	-0,14567	-0,24537
Ln(EUR)_{t-7}	-0,04052	1,35843
Constante	0,18438	-0,25445
R^2	0,9951	

5.- Conclusiones

Esta investigación tuvo como principal objetivo desarrollar el problema de eficiencia en los mercados de divisas europeas después del ingreso del Euro, utilizando técnicas econométricas que permitieron contrastar la existencia de una relación de largo entre el precio spot del Euro (EUR/USD) y otras monedas europeas como la Corona Danesa (USD/DKK), la Corona Noruega (USD/NOK), la Libra Esterlina (GBP/USD) y el Franco Suizo (USD/CHF).

Antes de proceder con las pruebas de cointegración para las divisas en cuestión se realizó un análisis de estacionariedad mediante las pruebas de ADF para cada una de las series, demostrando en todos los casos la existencia de raíz unitaria, lo que concuerda con estudios clásicos que señalan que el movimiento de los precios spot de las divisas en el tiempo, no son procesos estacionarios.

Mediante las pruebas de cointegración de Johansen y de ADF, se concluye la significativa existencia de cointegración entre la Corona Danesa y el Euro, y entre la Corona Noruega y el Euro. Por otro lado, también se efectuaron pruebas de cointegración sosteniendo la hipótesis de que existe una relación de largo plazo común entre los pares cambiarios cuando se tranzan altos volúmenes de estos en el mercado internacional, obteniendo como principales resultados la existencia de cointegración entre las mismas divisas mencionadas anteriormente. Por último se realizaron los tests de cointegración para ciertos horarios específicos del día, concluyendo la presencia de cointegración para las mismas monedas entre las 8:40 y las 9:30 hrs., y entre las 9:50 y las 10:40 hrs. (según Eastern Standard Time).

Respecto a esto último, es importante destacar que si bien cuando se testeó cointegración en ciertos horarios específicos o cuando existían altos volúmenes tranzados en el mercado internacional, se encontró evidencia de una relación de largo plazo entre los pares cambiarios, se obtuvieron relaciones más fuertes cuando se contrastaron las series de precios completas. Es por esta razón que no es posible afirmar que exista un aumento en la integración de estas variables cuando existe una mayor demanda a nivel internacional.

Es relevante señalar que las decisiones de políticas económicas, ya sean fiscales o monetarias, de países como Dinamarca²⁵, dependen directa e indirectamente del comportamiento del Euro. De hecho, la fuerte correlación (0,95 con datos al minuto y 0,99 con datos diarios) y cointegración existente entre la Corona Danesa (USD/DKK) y el Euro (EUR/USD) puede ser explicado como consecuencia de la política cambiaria adoptada por el Banco Central Danés (Danmarks Nationalbank), puesto que la Corona Danesa está fuertemente ligada al Euro a causa de la ERM II (Exchange Rate Mechanism II), cuyo propósito es asegurar la estabilidad entre el Euro y las monedas de aquellos países que no hayan adoptado al Euro como moneda única. La participación a este mecanismo es voluntaria y desde Enero del 2001 que Dinamarca es el único país que la utiliza.

²⁵ Que si bien son parte de la Unión Europea, no han adoptado al Euro como moneda oficial.

Básicamente el objetivo de política cambiaria del Banco Central Danés es mantener estable la relación entre la Corona Danesa y el Euro, objetivo que se basa en una banda de precios, que para el caso de Dinamarca fluctúa en un $\pm 2,25\%$, y que se mantiene vía intervención indirecta de la autoridad monetaria, es decir, compra y venta de divisas en el mercado cambiario, y ajustes de las tasas de interés.

Además es importante señalar que, tal como se mencionó anteriormente, la correlación entre estas dos divisas es muy cercana a uno (0,99) cuando se consideran precios diarios, pero baja un poco (0,95) al considerar datos al minuto, lo que implica que usando esta metodología existiría una posibilidad de arbitraje en el corto plazo (Intraday) puesto que los ajustes que realiza el Banco Central Danés no son instantáneos y tienen un pequeño rezago temporal. Así, en un mercado de divisas ineficiente, las autoridades gubernamentales deben determinar la mejor forma de intervenir los tipos de cambio, para así reducir la volatilidad de las series cambiarias.

En la sección 4 de esta investigación se presentaron 6 modelos predictivos diferentes, utilizando horizontes temporales de 1 y 2 meses, con frecuencias de 60, 30 y 10 minutos en la data. Es así como el mejor modelo VAR, según los criterios del mínimo RMSE y MAE, es aquel que incorporaba mayor información del mercado (2 meses) y con una frecuencia de 10 minutos entre dato y dato, logrando con este un gran poder predictivo para el precio de la Corona Danesa en función del Euro, permitiendo de esta manera a los inversionistas elaborar estrategias de arbitraje con estos dos pares de divisas.

Por último, es importante destacar que un enfoque alternativo para probar la eficiencia de mercados tiene relación con la existencia de cointegración entre el precio spot de una moneda y su correspondiente precio forward, donde el coeficiente de cointegración debiese ser igual a uno. Esta hipótesis de eficiencia implica que la tasa forward y la tasa de cambio spot de determinada divisa se muevan simultáneamente. Por lo anterior, es que se recomienda que futuras investigaciones podrían testear la presencia de cointegración entre el precio spot de alguna divisa como la Corona Danesa y el correspondiente precio forward de ésta, utilizando la misma metodología empleada en este estudio a modo de capturar desalineamientos que se puedan producir entre estos dos instrumentos financieros, y de esta forma modelar dinámicamente estos desajustes utilizando datos de alta frecuencia. Contando de esta manera con otro enfoque que pruebe la ineficiencia de mercados con ciertos activos financieros, y por ende exista la posibilidad de obtener retornos sobrenormales a causa del arbitraje.

Referencias

- Bachelier, Louis, "Theorie de la Speculation," *Annales Scientifiques de l'École Normale Supérieure*, pp 21-86, 1900.
- Beechey, M. and D. Gruen and J. Vickery, "The Efficient Market Hypothesis: A Survey," *Research Discussion Paper*, Reserve Bank of Australia, 2001.
- Brenner, R. and F. Kroner, "Arbitrage, Cointegration, and Testing the Unbiasedness Hypothesis in Financial markets," *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, Vol. 30, pp 23-65, 1995.
- Brooks, Chris. *Introductory Econometrics for Finance*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 2002.
- Dickey, D. and W. Fuller, "Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root," *Econometrica*, Vol. 49, pp 1057-1129, 1981.
- Dutt, S. and D. Ghosh, "A Note on the Foreign Exchange Market Efficiency Hypothesis," *Journal of Economics and Finance*, Vol. 23, pp 157-161. Summer 1999.
- Engle, R. and C. Granger, "Cointegration and Error Correction: Representation Estimation and Testing," *Econometrica*, Vol. 55, pp 251-276. March 1987.
- Engle, R. and J. Russell, "Analysis of High Frequency Financial Data," Working Paper, University of California, Department of Economics, December 21, 2004.
- Fama, Eugene, "Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Works," *Journal of Finance*, Vol. 25, 1970.
- Fama, Eugene "Efficient Capital Market II," *Journal of Finance*, Vol. 46, 1991.
- Geweke, J. and S. Porter-Hudak, "The Estimation and Application of Long Memory Time Series Models," *Journal of Time Series Analysis*, Vol. 4, pp 221-238, 1983.
- Granger, Clive, "Development in the Study of Cointegrated Economic Variables," *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol. 48, 1986.
- Harris, D. and B. Inder, "A Test of the Null Hypothesis of Cointegration," In *Non-stationary Time Series Analysis and Cointegration*, edited by Colin Hargreaves, Oxford University Press, pp. 133-52, 1994.
- Horvath, M. and M. Watson, "Testing for cointegration when some of the cointegrating vectors are prespecified," *Econometric Theory*, Vol. 11, pp 984-1015, 1995.
- Johansen, Soren, "Statistical analysis of cointegration vectors," *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 12, pp 231-285, 1988.
- Johansen, S. and K. Juselius, "Maximum likelihood estimation and inference on cointegration with applications to the demand for money," *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol. 52, pp 169-210, 1990.

Kellard, N. and P. Newbold and T. Rayner, "Evaluating Currency Market Efficiency: Are Cointegration Tests Appropriate?," *Applied Financial Economics*, Vol. 11, pp 681-691, 2001.

Kwiatkowski, D. and P. Phillips and P. Schmidt and Y. Shin, "Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root?," *Journal of Econometrics*, Vol. 54, pp 159-178, 1992.

MacDonald, R. and M. Taylor, "The Monetary Model of the Exchange Rate: Long-run Relationships, short-run Dynamics and How to Beat a Random Walk," *Journal of International Money and Finance*, Vol. 13, pp 276-366, 1994.

MacKinnon, James, "Critical values for cointegration tests in Long-Run Economic Relationships (eds) R. F. Engle and C. W. J. Granger," Oxford University Press, pp 267-343, 1991.

Masih, A. and R. Masih, "Fractional Cointegration, Low Frequency Dynamics and Long Run Purchasing Power Parity: An Analysis of the Australian Dollar Over its Recent Float," School of Finance and Business Economics, Working Papers Series, May 1998.

Naka, A. and G. Whitney, "The unbiased forward rate hypothesis re-examined," *Journal of International Money and Finance*, Vol. 14, pp 857-867, 1995.

Norrbin, S. and K. Reffett, "Exogeneity and forward rate unbiasedness," *Journal of International Money and Finance*, Vol. 15, pp 267-274, 1996.

Pindyck, R. and Rubinfeld, D. *Econometric Models and Econometric Forecasts*. McGraw-Hill, 4th ed, New York, 2004.

Roberts, Harry, "Statistical Versus Clinical Prediction of the Stock Market," Unpublished manuscript, CRSP, University of Chicago, 1967.

Samuelson, Paul, "Proof That Properly Anticipated Prices Fluctuate Randomly," *Industrial Management Review*, Vol. 6, pp 41, Spring 1965.

Taylor, Mark, "The Economics of Exchange Rates," *Journal of Economic Literature*, Vol. 33, pp 13-47, March 1995.

Trapletti, A. and A. Geyer and F. Leisch, "Forecasting Exchange Rates Using Cointegration Models and Intraday Data," *Journal of Forecasting*, Vol. 21, pp 151-166, 2002.

Wickremasinghe, Guneratne, "Efficiency of Foreign Exchange Markets: A Developing Country Perspective," Department of Econometrics and Business Statistics, Working Paper, Monash University, Victoria, Australia, 2002.

Zivot, Eric, "Cointegration and Forward and Spot Exchange Rate Regressions," Department of Economics, Working Paper, University of Washington, 1998.

Anexo. Estadística Descriptiva, Análisis de Correlación, Pruebas de Estacionariedad.

Se presenta la estadística descriptiva de los precios y volúmenes transados de cada uno de los pares en estudio:

Tabla 9: Estadística Descriptiva de Precios y Volúmenes de las Divisas

	Corona Danesa		Libra Esterlina		Corona Noruega		Franco Suizo	
	Precio	Volumen	Precio	Volumen	Precio	Volumen	Precio	Volumen
Observaciones	94389	94389	94389	94389	94580	94580	97701	97701
Media	6,084	21,964	6,084	21,964	6,485	26,914	1,264	70,889
Mediana	6,120	19,000	6,120	19,000	6,472	24,000	1,270	58,000
Máximo	6,277	350,000	6,277	350,000	6,702	253,000	1,308	526,000
Mínimo	5,765	1,000	5,765	1,000	6,259	1,000	1,196	1,000
Desv. Standard	0,119	14,889	0,119	14,889	0,090	17,115	0,027	54,106
Curtosis	2,609	9,200	2,609	9,200	2,188	4,827	2,252	6,652

Es importante mencionar que como cada una de estas divisas está alineada perfectamente al Euro (EUR/USD), la estadística descriptiva de esta moneda varía levemente para cada uno de los casos en estudio. Por otro lado, a continuación se expone la estadística descriptiva del Euro:

Tabla 10: Estadística Descriptiva de Precios y Volúmenes del Euro

	Euro	
	Precio	Volumen
Observaciones	94389	94389
Media	1,22474	70,98734
Mediana	1,21760	60,00000
Máximo	1,29110	451,00000
Mínimo	1,18680	1,00000
Desv. Standard	0,023811	49,31607
Curtosis	2,71024	6,41066

Por último, a modo de referencia se presenta en la Tabla 11 una matriz de correlaciones con las cinco divisas involucradas en el estudio, el Euro, el Franco Suizo, la Corona Danesa, la Libra Esterlina y el Franco Suizo, medidos en Dólares Estadounidenses.²⁶

²⁶ Para elaborar esta matriz de correlaciones se consideraron los datos originales al minuto obtenidos a través de e-Signal.

Tabla 11: Matriz de Correlaciones de los Precios Spot de las Divisas

	Euro	Franco Suizo	Corona Danesa	Libra Esterlina	Corona Noruega
Euro	1				
Franco Suizo	-0,961	1			
Corona Danesa	-0,949	0,910	1		
Libra Esterlina	0,742	-0,874	-0,688	1	
Corona Noruega	-0,776	0,772	0,861	-0,591	1

De la Tabla 11 se puede apreciar el importante nivel de correlación del Euro con el Franco Suizo y la Corona Danesa. La Libra Esterlina y la Corona Noruega presentan un importante, pero menor nivel de correlación con el Euro.

▪ Pruebas de Estacionariedad

En esta investigación se realizaron pruebas formales de estacionariedad para cada una de las variables y sus respectivas primeras diferencias. A continuación se presenta una tabla con los resultados de la prueba de ADF para cada una de las series de tiempo y sus primeras diferencias:

Tabla 12: Resultados de Prueba de ADF

Variable	ESTADISTICO ADF	
	En Nivel	En Primeras Diferencias
USD/DKK	-1,483703	-154,8188**
USD/NOK	-1,96781	-158,2047**
USD/CHF	-1,260702	-151,1548**
GBP/USD	-1,27123	-149,178**
EUR/USD	-1,479827	-153,1881**

*Nota: ** indica un nivel de significancia al 1% según los estadísticos t-student.*

De la Tabla 12 se puede concluir que en todos los casos (es decir, USD/DKK, USD/NOK, USD/CHF, GBP/USD y EUR/USD) no es posible rechazar la hipótesis nula, y por ende al 99% de confianza se puede afirmar que se está en presencia de raíz unitaria. De este análisis se concluye rigurosamente que las cinco series son I(1).

Finalmente, a continuación se presentan los gráficos de las series de precios de la Corona Danesa, de la Libra Esterlina, de la Corona Noruega, del Franco Suizo y del Euro.

▪ **Gráficos de las Series en Estudio**

Gráfico 2: Evolución Temporal del Precio de la Corona Danesa

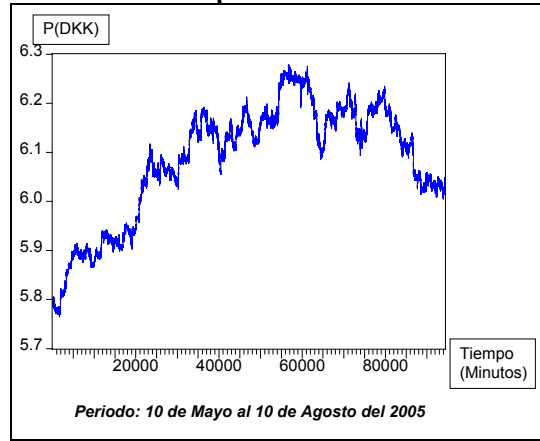


Gráfico 3: Evolución Temporal del Precio de la Libra Esterlina

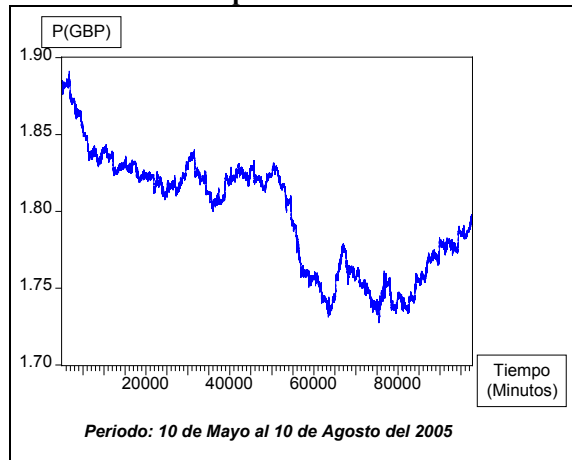


Gráfico 4: Evolución Temporal del Precio de la Corona Noruega

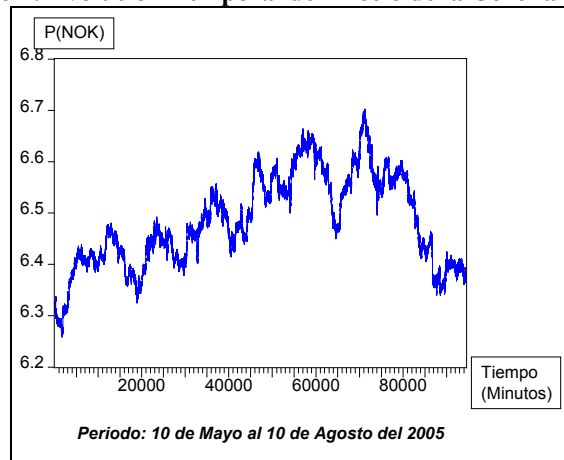


Gráfico 5: Evolución Temporal del Precio del Franco Suizo

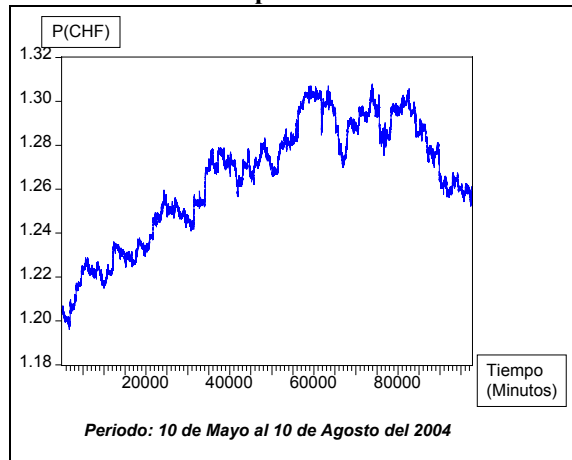


Gráfico 6: Evolución Temporal del Precio del Euro

