

# Econometría Financiera<sup>\*</sup>

## Parcial 3

Carlos Galindo, Germán Rodríguez y Santiago Hernández

1. Suponga que ustedes son analistas del mercado financiero en una entidad privada que invierte en Bolsa. Con el fin de guiar su política de inversión, la mesa de dinero requiere un análisis del comportamiento de la tasa de cambio del dólar americano USD frente a un conjunto de monedas del mundo: euro, yen japones, libra esterlina, dólar canadiense, dólar australiano, franco suizo, peso mexicano, peso colombiano y real brasileño (disponibles en <https://finance.yahoo.com/>). En consecuencia, le piden que realice un análisis incluyendo datos diarios desde enero de 2005 y hasta Agosto del 2021 el cual debe dar cuenta de:
  - 1.1. Estadística descriptiva (Además de otros análisis calcule la desviación estándar anualizada para los años de crisis (2008 y 2009), también la del año 2020 y compárela con la de la muestra completa.)

Es importante resaltar que para el desarrollo de este parcial se eligió la divisa USD/CHF. Para esta divisa se tienen las siguientes estadísticas descriptivas:

### Gráfica del precio histórico

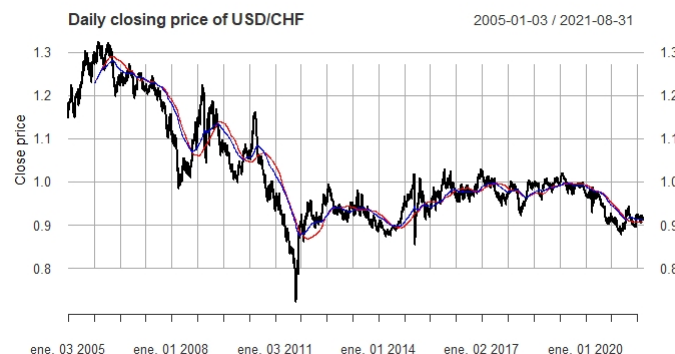


Figura 1: Precio histórico de la divisa USD/CHF

---

<sup>\*</sup>Todo el análisis econométrico se realizó por medio del lenguaje de programación estadístico R y el código realizado se encuentra en el script *Parcial 3 - EF.R*

En la gráfica histórica del precio de la divisa desde el año 2005, se observa una tendencia decreciente desde el año 2005 hasta mediados del 2011; donde a partir de ahí el comportamiento ha sido en su mayoría lateral. Así mismo, observamos la media móvil tradicional y exponencial que suavizan el comportamiento de la divisa a lo largo del tiempo.

### Gráfica de los retornos diarios

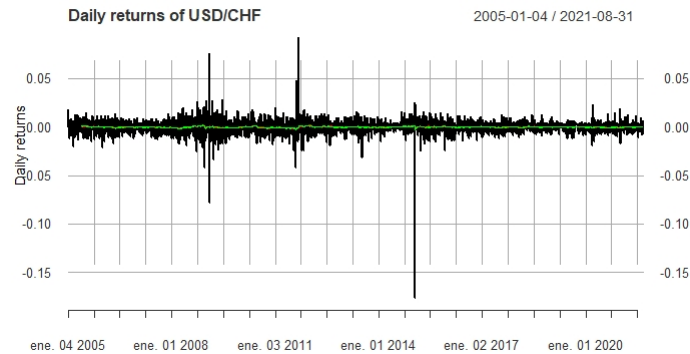


Figura 2: Retornos diarios de la divisa USD/CHF

Se pueden observar retornos con una media cercana a cero y clústers tanto de alta como de baja volatilidad. Los de alta volatilidad muy relacionados con crisis económicas o alta incertidumbre en los mercados como en la crisis financiera del 2008.

### Gráfica de los retornos al cuadrado

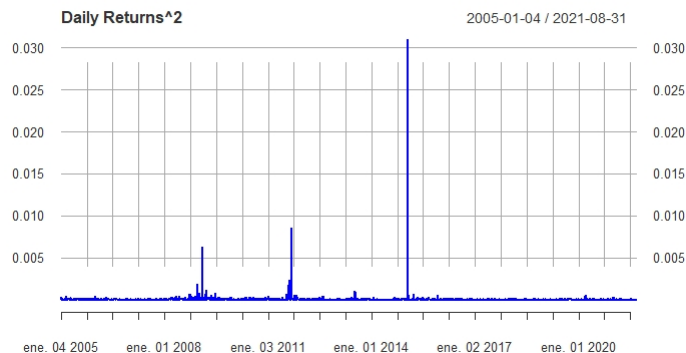


Figura 3: Retornos al cuadrado de la divisa USD/CHF

En línea con la gráfica anterior, se observan tres períodos con unos retornos al cuadrado más altos de lo normal. Se destaca el alto nivel de los retornos al cuadrado el 16 de enero del año 2015.

### Gráfica de ACF y PACF

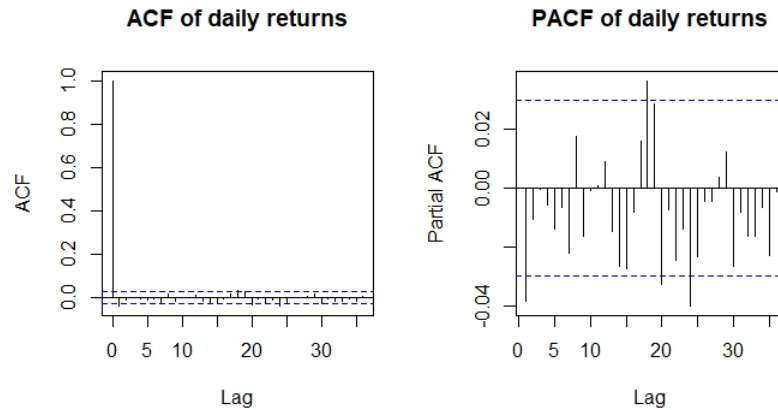


Figura 4: ACF y PACF para los retornos diarios de la divisa USD/CHF

Se puede observar una muy débil autocorrelación serial dado que las gráficas caen muy rápido a cero, por lo que sería casi imposible predecir los retornos a partir de su histórico.

### Distribución de los retornos

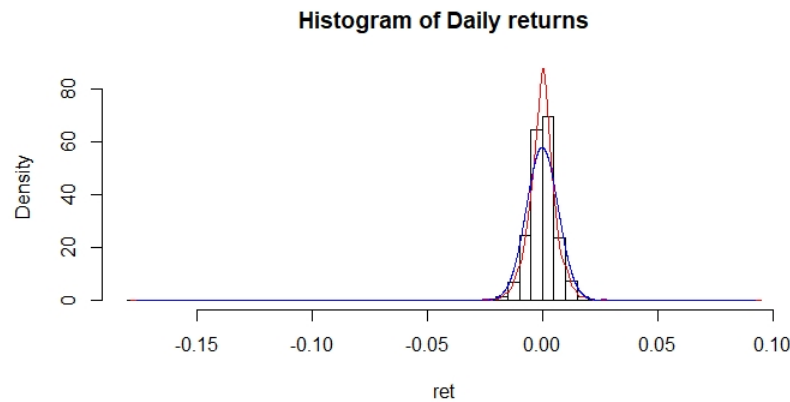


Figura 5: Histograma de los retornos USD/CHF

Se puede observar que los retornos no siguen una distribución normal. Por el contrario, tienden a seguir una distribución leptocúrtica, con colas pesadas y asimetría hacia los valores negativos. Dado lo anterior, se considera que la mejor distribución que representa los retornos de la divisa USD/CHF es una distribución *t* de student asimétrica.

### Desviación estándar domina la media

Divisa	Media	Desviación estándar
USD/CHF	-0.000052	0.0069

Cuadro 1: Desviación estándar y media de la divisa USD/CHF

En la tabla anterior, se puede observar que en frecuencia diaria para USD/CHF la desviación estándar

es mayor y domina a la media.

### Desviación estándar anualizada

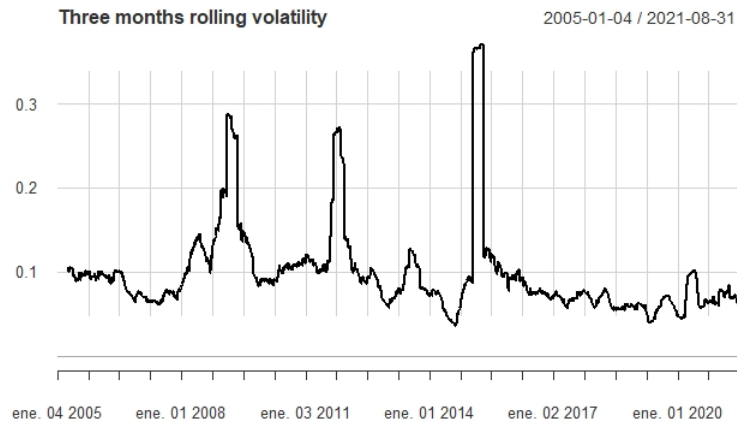


Figura 6: Desviación estándar anualizada de la divisa USD/CHF

Calculando la desviación estándar anualizada con una ventana móvil de tres meses, se puede observar que la media no es constante, la volatilidad no es constante y se presentan clústers de volatilidad. Se destacan tres picos de la volatilidad, entre ellos la crisis financiera del 2008 y 2009, mediados del 2011 y principios del 2015. Es importante resaltar que en 2020 por la crisis generada por el COVID-19, no se presentan niveles muy altos de volatilidad en la divisa de USD/CHF.

### 1.2. Modelación de la media condicional. ¿Es la media condicional igual a cero?

Iniciamos estimando diferentes modelos ARMA para modelar la *media condicional* y a partir de los *criterios de información* se elige modelo que mejor se ajusta al proceso generador de datos. Utilizando el criterio *AIC*, se encuentra que el mejor modelo es un ARMA(0,1) y utilizando el *BIC* se elige el modelo ARMA(0,0) o ruido blanco.

Modelo	AIC	BIC
ARMA(0,1)	-30667.75	-30648.64
ARMA(0,0)	-30663.15	-30650.41

Cuadro 2: Criterios de información

Posteriormente, para contrastar si la *media condicional* es igual a cero, se pronostican 10 días hacia adelante y se encuentra que efectivamente son aproximadamente igual a cero para ambos modelos elegidos:

Pronóstico	ARMA(0,1)	ARMA(0,0)
T+1	-0,0002	-0,0001
T+2	-0,0001	-0,0001
T+3	-0,0001	-0,0001
T+4	-0,0001	-0,0001
T+5	-0,0001	-0,0001
T+6	-0,0001	-0,0001
T+7	-0,0001	-0,0001
T+8	-0,0001	-0,0001
T+9	-0,0001	-0,0001
T+10	-0,0001	-0,0001

Cuadro 3: Pronóstico de los siguientes 10 días

Por lo anterior, se concluye que la media condicional es igual a cero.

Finalmente, se decide modelar la media condicional de los subsecuentes *modelos de volatilidad* como un proceso ARMA(0,1) basándose en el *criterio de información AIC* y en las *gráficas de la ACF y PACF* para los *retornos de la tasa de cambio nominal USD/CHF*.

### 1.3. Modelación de la varianza condicional (verifique la existencia de efecto leverage o asimetrías comparando diferentes especificaciones usando criterios de información). ¿Cuál es el modelo que mejor se ajusta al proceso de volatilidad de la tasa de cambio?

Para modelar la varianza se estimó un modelo GARCH(1,1), un GARCH(0,1) y un GARCH(1,0)<sup>1</sup> teniendo en cuenta el análisis de las gráficas ACF y PACF para los *retornos al cuadrado*.

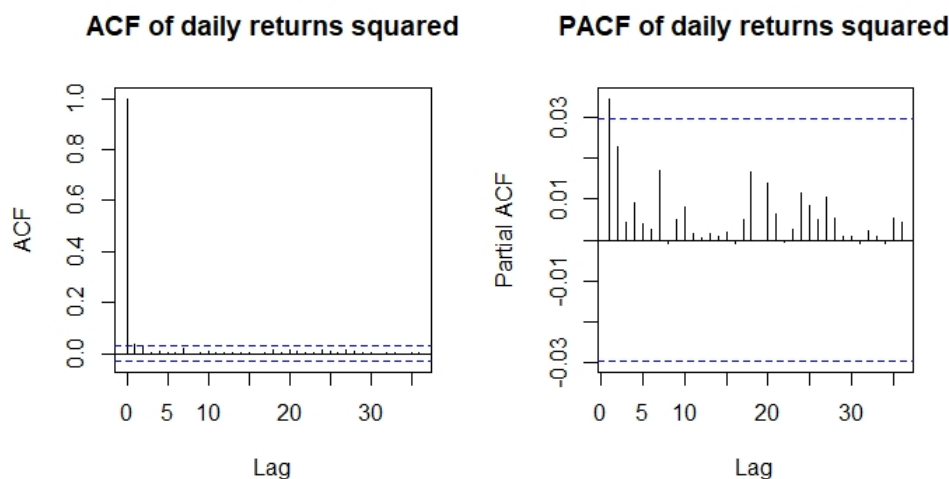


Figura 7: ACF y PACF para los retornos al cuadrado de la divisa USD/CHF

Posteriormente, usando criterios de información como el *AIC* se encuentra que el mejor modelo es el GARCH(1,1), y se destaca la alta significancia de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ . Adicionalmente, se encuentra que este proceso es estacionario dado que  $\alpha + \beta < 1$ . Es importante resaltar que el parámetro de *media móvil*

<sup>1</sup>En todos los tres modelos de *volatilidad condicional* estimados se modeló la *media condicional* de los retornos de la *tasa nominal USD/CHF* como un modelo ARMA(0,1) dado los resultados del literal anterior del informe.

asociado al modelo de la media condicional del ARMA(0,1)-GARCH(1,1) seleccionado es significativo al 10 %.

```

*-----*
*               GARCH Model Fit               *
*-----*

Conditional variance Dynamics
-----
GARCH Model      : sGARCH(1,1)
Mean Model       : ARFIMA(0,0,1)
Distribution      : sstd

Optimal Parameters
-----

```

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
mu	-0.000055	0.000075	-0.72960	0.465632
ma1	-0.026165	0.014955	-1.74961	0.080186
omega	0.000000	0.000001	0.21291	0.831397
alpha1	0.038142	0.014094	2.70636	0.006803
beta1	0.954164	0.012092	78.90828	0.000000
skew	0.939970	0.019524	48.14468	0.000000
shape	6.223271	1.468825	4.23691	0.000023

Figura 8: Salida del modelo GARCH(1,1)

Así mismo, se encuentra la existencia de un *efecto leverage*, es decir, la mayor afectación de las noticias negativas sobre las noticias positivas en la volatilidad de los retornos de la tasa nominal USD/CHF. Verificando el *Sign bias Test* se observa que no se rechaza la *hipótesis nula* de *efecto leverage* por lo que es recomendable estimar modelos que sean capaces de captar esa asimetría de la nueva información en la volatilidad de los retornos como lo son los modelos TGARCH y EGARCH.

Por lo anterior, se procede a estimar un proceso EGARCH(1,1) para modelar el efecto leverage.

```

*-----*
*               GARCH Model Fit               *
*-----*

Conditional variance Dynamics
-----
GARCH Model      : eGARCH(1,1)
Mean Model       : ARFIMA(0,0,1)
Distribution      : sstd

Optimal Parameters
-----

```

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
mu	-0.000081	0.000082	-0.98691	0.32369
ma1	-0.025676	0.004906	-5.23331	0.00000
alpha1	-0.007036	0.006001	-1.17239	0.24104
beta1	0.996050	0.000031	32103.71641	0.00000
gamma1	0.072856	0.002971	24.52326	0.00000
skew	0.935865	0.020526	45.59486	0.00000
shape	5.767365	0.492433	11.71198	0.00000
omega	-0.039317	NA	NA	NA

Figura 9: Salida del modelo EGARCH(1,1)

Finalmente, revisando los criterios de información se puede observar que el modelo EGARCH(1,1) posee un menor criterio de información que el modelo GARCH(1,1):

Modelo	AIC	BIC
GARCH(1,1)	-7.5635	-7.5531
EGARCH(1,1)	-7.5736	-7.5633

Cuadro 4: Criterios de información

Por tanto, comparando las diferentes especificaciones para los distintos *modelos de volatilidad condicional*, y usando tanto *gráficas de ACF y PACF* como criterios de información, se concluye que el mejor modelo para los *retornos de la tasa de cambio nominal USD/CHF* es un *modelo ARMA(0,1)-EGARCH(1,1)*.

#### 1.4. Pronóstico de la volatilidad a 10 días.

En el pronóstico de la volatilidad en los próximos 10 días, se puede observar una tendencia creciente en la volatilidad.

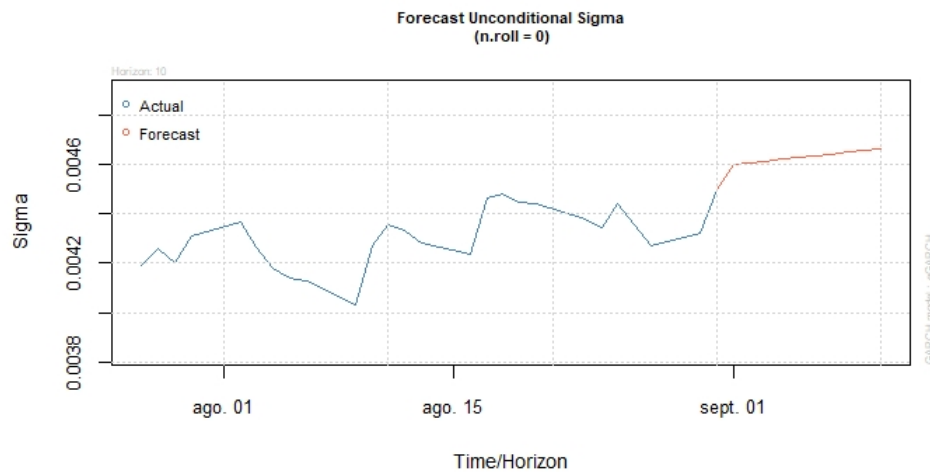


Figura 10: Pronóstico de volatilidad para los siguientes 10 días

Haciendo una inspección más detallada a dicho *pronóstico de volatilidad* dado por la gráfica anterior, se tiene que el pronóstico de volatilidad en los siguientes 10 días es:

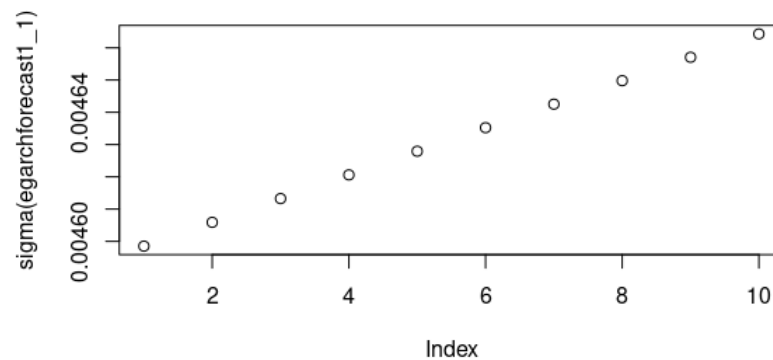


Figura 11: Pronóstico de volatilidad para los siguientes 10 días

De las dos gráficas anteriores, se concluye que a fecha del 31 de Agosto del 2021, en los siguientes 10 días, es decir, en los primeros 10 días del mes de Septiembre del 2021, habrá un aumento en la volatilidad de los retornos de la *tasa de cambio del USD/CHF* lo que indica que va a aumentar un poco el riesgo asociado a la tenencia del Franco Suizo, o cualquier inversión que se realice en esta divisa. No obstante, si bien, se pronostica un aumento en dicha volatilidad asociada a los retornos de la tasa nominal USD/CHF, dicho aumento no es muy grande y no parece exceder el *VaR* a un nivel de significancia del 99 %, como se puede observar en la siguiente sección del informe, lo que significa que la tenencia de franco suizo en los primeros 10 días no parece generar un riesgo adicional significativo para la empresa.

### 1.5. ¿Cuál es la probabilidad de tener pérdidas con el 99 % de confianza en un horizonte de día (use los resultados de su modelación para el cálculo).

La medida del *VaR* es la *máxima pérdida* que es esperada dado un *nivel de confianza* y un *horizonte temporal previsto* de una inversión. Para un nivel de confianza del 99 %, el *VaR* se define como el cuantil de una distribución empírica<sup>2</sup> que satisface :

$$P(r_{t+1} > VaR_{t+1}^{0,99} = 0,99)$$

Para retornos de la *tasa de cambio USD/CHF*, utilizando un nivel de confianza del 99 %, se estimó el *VaR*. Ahora bien, como el interés se centrará en ver la probabilidad de pérdida del 99 % con un horizonte de tiempo de un día, hay que utilizar el modelo *ARMA(0,1)-EGARCH(1,1)* para los *retornos de la tasa de cambio USD/CHF*, dado que este modelo es capaz de hacer *ajuste en muestra y pronóstico* de la varianza condicional de dichos retornos de carácter diarios. Por tanto, para calcular el *VaR* fue necesario primero realizar un *rolling volatility prediction*<sup>3</sup> para estimar adecuadamente dicha volatilidad diaria.

Para conducir el *rolling volatility prediction*, se utilizó un punto de inicio de 1500 días en el pasado frente a la última fecha y una *ventana de tiempo móvil* para el *rolling* de 90 días.

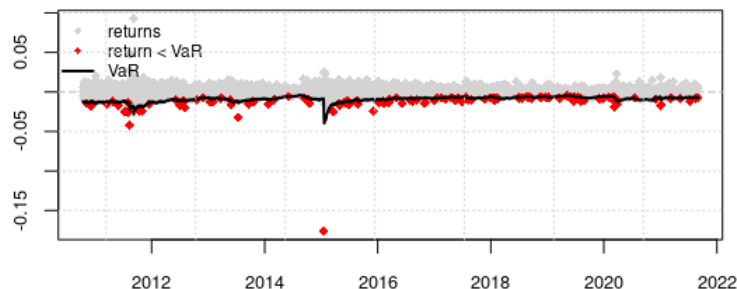


Figura 12: Gráfica del *VaR* asociado al modelo *ARMA(0,1)-EGARCH(1,1)* para los retornos de la tasa de cambio USD/CHF

Cómo lo muestra la gráfica anterior, se puede observar que en el 2011 y en el 2015, hubo fuertes aumentos en la volatilidad de los retornos de la tasa de cambio USD/CHF. De igual forma, en el 2015 hubo una inmensa pérdida capturada por ese punto rojo. Además, hay que tener en cuenta que todos los puntos rojos representan

<sup>2</sup>La *P* que está en la fórmula denota la probabilidad dado el *VaR*. No obstante, es importante aclarar que esa probabilidad va a depender de la función de densidad que se escoga, en este caso se está modelando dichos retornos como si siguieran una distribución *t* con asimetría, es decir, *skew t-student distribution*

<sup>3</sup>Para ello se utilizó el comando *ugarchroll* del paquete *rugarch*



retornos de la tasa de cambio nominal USD/CHF menores a el VaR a un nivel de confianza del 99% para dicho periodo de tiempo.

Calculando el *cubrimiento del VaR* dado por la media de los retornos que satisfacen  $r_t < VaR_t$  se tiene que dicho cubrimiento es:

$$mean(r_t < VaR_t) = 0,04482391$$

Dado que el cubrimiento del VaR es mayor al nivel de significancia utilizado para calcular el VaR, es decir  $0,04482391 > \alpha$ , donde  $\alpha = 0,01$ , entonces se concluye que hay muchos valores de los retornos de la tasa de cambio USD/CHF que exceden la *máxima pérdida* que es esperada dado un *nivel de confianza* del 99% y el cuantil predicho debería ser más negativo. Es decir, el riesgo de perder dinero se ha *subestimado*.

### 1.6. ¿Cambió la pandemia del COVID-19 la estructura de la volatilidad de la tasa de cambio? (para eso use datos desde enero del 2018)

Usando los retornos desde enero del 2018 y calculando el mejor modelo ARMA con ayuda de los criterios de información, se encuentra que el mejor modelo es el ARMA(0,0). Se elige este modelo tanto para el criterio AIC como el criterio BIC:

Modelo	AIC	BIC
ARMA(0,0)	-7616.329	-7606.646

Cuadro 5: Criterios de información

Posteriormente, revisando el pronóstico hacia 10 días adelante, se encuentra que son muy cercanos a cero y por lo tanto, la media condicional es igual a cero.

	2021-08-31
T+1	-0,0001
T+2	-0,0001
T+3	-0,0001
T+4	-0,0001
T+5	-0,0001
T+6	-0,0001
T+7	-0,0001
T+8	-0,0001
T+9	-0,0001
T+10	-0,0001

Cuadro 6: Pronóstico a 10 días

Luego, para seleccionar el modelo de volatilidad se utilizan nuevamente los criterios de información y se hayan los siguientes resultados:

Modelo	AIC	BIC
GARCH(0,1)	No aplica	No aplica
GARCH(1,0)	No aplica	No aplica
GARCH(1,1)	-8.2229	-8.1919

Cuadro 7: Criterios de información

Se encuentra que el modelo GARCH(1,0) y GARCH(0,1) no convergen a un valor cuando se estiman por máxima verosimilitud. Dado lo anterior, se elige el modelo GARCH(1,1), se destaca la alta significancia de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ . Adicionalmente, se encuentra que este proceso es estacionario dado que  $\alpha + \beta < 1$ .

Sin embargo, se observa que existe un efecto leverage puesto que no se rechaza la hipótesis nula (existencia de efecto leverage).

```
Sign Bias Test
-----
          t-value    prob sig
Sign Bias      0.4296 0.66760
Negative Sign Bias 1.7736 0.07645 *
Positive Sign Bias 0.1058 0.91578
Joint Effect    3.8632 0.27663
```

Figura 13: Test de existencia de efecto leverage

Para modelar el efecto leverage, se hace uso de un modelo EGARCH(1,1) y se encuentra que presenta un criterio de información AIC levemente menor (-8.2246). Teniendo en cuenta que los modelos de volatilidad fueron los mismos para el período de tiempo entre 2005 y 2021, comparado con el período de tiempo entre 2018 y 2021, consideramos que la pandemia del COVID-19 no afectó el comportamiento de la volatilidad en la divisa dólar estadounidense contra el franco suizo.