
Análisis de volatilidad de los precios de cierre de la acción de ECOPETROL 2016-2018

Volatility analysis of ECOPETROL's closing share price 2016-2018

Adriana Leguizamón^a
aleguizamom1@ucentral.edu.co

Diego Maca^b
dmacag@ucentral.edu.co

Resumen

En el presente trabajo se hace un modelamiento de la serie de tiempo correspondiente al precio diario de cierre de la acción de Ecopetrol entre los años 2016 a 2018. La metodología usada es la de Box y Jenkins, la cual es desarrollada paso a paso con el objetivo de conseguir un modelo de la serie mencionada que permita hacer pronóstico del valor de la acción a corto plazo. Inicialmente se hace una descripción de componentes básicos de la serie como lo son su tendencia, ciclos y la volatilidad; obteniendo que la serie es estacionaria en media es constante a través del tiempo. Luego, con el uso de las gráficas de las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial, se postula un primer modelo ARIMA(2,0,1), observando que en los residuos no son independientes entre si y en conclusión este modelo no captura bien la dependencia. El estudio de los residuos se hace con el fin de analizar la varianza, para ello se usa la serie de los residuos al cuadrado, siendo estos los estimadores de las varianzas condicionales, obteniendo que el modelo es bueno para la media pero no para la varianza. Posteriormente, se busca modelar la varianza, analizando las graficas de autocorrelaciones al cuadrado se puede determinar a partir de la prueba de Ljuan Box que existe heteroscedasticidad en los residuos. Teniendo en cuenta lo anterior se busca un modelo ARCH o GARCH para modelar la serie de precios de Ecopetrol, por medio del ARCH test, se confirma que si existe efecto de esta naturaleza.

Palabras clave: Series de Tiempo, Metodología Box-Jenkins, Modelos ARIMA, Modelos GARCH.

Abstract

In this paper a modeling of the time series corresponding to the daily closing price of the Ecopetrol share between 2016 and 2018 is made. The methodology used is

^aUniversidad Central

^bUniversidad Central

that of Box and Jenkins, which is developed step by step with the objective of obtaining a model of the mentioned series that allows forecasting the value of the share in the short term. Initially, a description of the basic components of the series such as its trend, cycles and volatility is made; obtaining that the series is stationary in average is constant through time. Then, with the use of the graphs of the autocorrelation and partial autocorrelation functions, a first ARIMA(2,0,1) model is postulated, observing that the residuals are not independent of each other and in conclusion this model does not capture the dependence well. The study of the residuals is done with the purpose of analyzing the variance, for which the series of squared residuals is used, being these the estimators of the conditional variances, obtaining that the model is good for the mean but not for the variance. Subsequently, the variance is modeled, analyzing the squared autocorrelation graphs, it can be determined from the Ljuan Box test that there is heteroscedasticity in the residuals. Taking into account the above, an ARCH or GARCH model is sought to model the Ecopetrol price series, by means of the ARCH test, it is confirmed that there is an effect of this nature.

Keywords: Time Series, Box-Jenkins Methodology, ARIMA Models, GARCH Models.

1. Introducción

Ecopetrol S.A. opera como una empresa integrada de petróleo y gas. La empresa interviene a través de tres segmentos: Exploración y Producción; Transporte y Logística; y Refino, Petroquímica y Biocombustibles. Se dedica a la exploración, producción y venta de petróleo y gas; exploración costa afuera; servicios de suministro de energía; servicios de gestión especializados; y actividades de distribución de gas natural y GLP. También transporta y distribuye hidrocarburos y productos derivados. Al 31 de diciembre de 2020, la empresa contaba con aproximadamente 9.127 kilómetros de oleoductos y oleoductos multipropósito (ECOPEPETROL, 2020). Además, la empresa fabrica y comercializa resinas, compuestos y masterbatches de polipropileno; y ofrece productos refinados, petroquímicos y biocombustibles, así como ventas de servicios industriales a los clientes. Tiene operaciones en Colombia, Estados Unidos, Asia, Centroamérica y el Caribe, Europa, Sudamérica e internacionalmente. Ecopetrol S.A. tiene una alianza estratégica con Occidental Petroleum Corporation. La empresa se conocía anteriormente como Empresa Colombiana de Petróleos y cambió su nombre a Ecopetrol S.A. en junio de 2003. Ecopetrol S.A. fue constituida en 1948 y tiene su sede en Bogotá, Colombia. El conjunto de datos que se estudia en este trabajo corresponde a la base de datos del precio diario de la acción de Ecopetrol, se incluyen variables como precio de apertura, precio mínimo, precio máximo, precio de cierre y ajuste. Este se encuentra en el repositorio de Yahoo Finance ¹ el cual es un servicio de Yahoo que proporciona información financiera y comentarios con un enfoque en los mercados de los Estados Unidos.

¹<https://finance.yahoo.com/quote/EC/history?p=EC>

2. Metodología

En este estudio se aplica la técnica de Box-Jenkins (Makridakis and Hibon, 1997), Box y Jenkins (1976, edición original de 1970) estandarizaron el uso de modelos ARMA mediante la siguiente serie de atributos en el proceso:

1. Proporción de pautas para que la serie sea estacionaria tanto en su media como su varianza,
2. La sugerencia del uso de autocorrelaciones y coeficientes de autocorrelación parcial para determinar los valores adecuados de p y q (y sus equivalentes estacionales P y Q cuando las series presentaban estacionalidad),
3. La proporción de un conjunto de programas informáticos para ayudar a los usuarios a identificar los valores adecuados de p y q , así como de P y Q , y estimar los parámetros implicados y,
4. Una comprobación de diagnóstico para determinar si los residuos, e_t , eran o no ruido blanco, en cuyo caso el orden del modelo se consideró definitivo (en caso contrario, se determinó otro modelo mediante (2) y se repitieron los pasos (3) y (4)).

Si la comprobación del diagnóstico mostraba residuos aleatorios, el modelo desarrollado se utilizaba con fines de previsión o de control, suponiendo, por supuesto, la constancia, es decir, que el orden del modelo y su comportamiento no estacionario, si lo hubiera, seguirían siendo los mismos durante la fase de previsión, o de control.

Adicional a lo anterior, la modelación de pronósticos volátiles es la estructura de la covarianza del retorno de un activo (Lecca et al., 2012). Las observaciones de serie de tiempos han sido modeladas usando la metodología ARCH.

3. Resultados

3.1. Precios de cierre de la acción de ECOPETROL 2016-2018

La serie de tiempo corresponde al precio de cierre de la acción de Ecopetrol registrado diariamente entre el 1 de Enero del 2016 y el 31 de Diciembre de 2018. Se observa en la gráfica que los precios de cierre presentan un leve aumento en el primer semestre del año 2016, posteriormente este se mantiene estable con un precio medio aproximado de \$10 USD. A partir del segundo semestre del 2017 se presenta una tendencia al alza en el precio de la acción alcanzando un pico a inicios del 2018, con un precio aproximado de \$20 USD. Durante el primer semestre de este año presenta oscilaciones pero mantiene su tendencia al alza hasta la mitad del

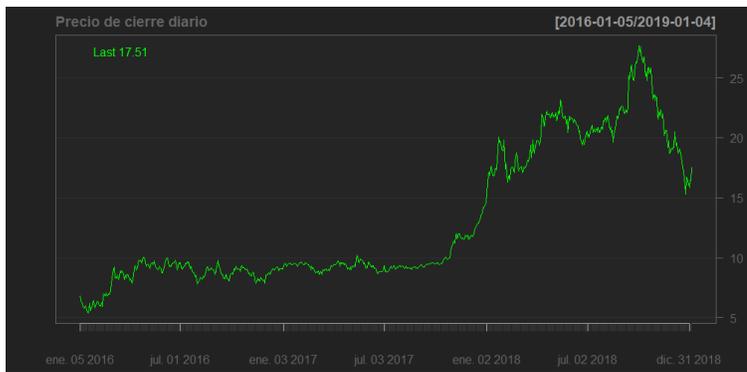


Figura 1: Precio de cierre diario 2016-2018

segundo semestre del 2018 donde presenta su máximo histórico en este intervalo de tiempo correspondiente a \$27 USD aproximadamente, en el final del año 2018 se evidencia una tendencia marcada a la baja. En esta serie de tiempo que evidencia volatilidad alta, no se presentan ciclos ya que es muy raro que se repita el patrón. Para ver si existen señales de volatilidad, se visualiza el comportamiento de los rendimientos de la serie, por medio de la figura 2

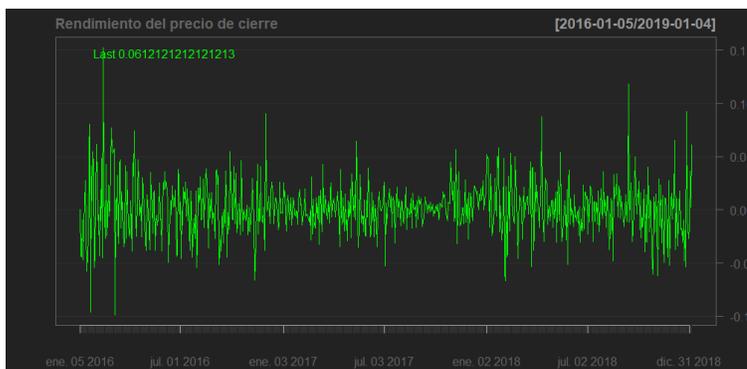


Figura 2: Rendimiento del precio de cierre diario 2016-2018

Con el fin de indentificar si la serie de rendimientos de la figura 2 es estacionaria o no, realizamos la prueba de hipótesis para la existencia de raíces unitarias *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) en donde su procedimiento establece en su hipótesis nula H_0 la existencia de raíces unitarias y la hipótesis alternativa H_a que no la tiene.

Como se menciona en Vivanco Garzón (2021), la prueba ADF no es una prueba directa para estacionalidad, pero indirectamente a través de la existencia (o ausencia) de una raíz unitaria. Además, ADF incorpora un tendencia determinística (y tendencia al cuadrado), entonces esto permite que el proceso de tendencia es-

tacionaria ocurra.

Augmented Dickey-Fuller Test

```
data: RendimientoEC
Dickey-Fuller = -8.149,
Lag order = 9,
p-value = 0.01
alternative hypothesis:
stationary
```

Según el p -valor = 0.01 tenemos que se da el indicio que la serie de rendimientos si es estacionaria, estacionaria en medias ya que los retornos, según la figura 2, se mueven alrededor de 0 así, podemos mencionar que la media es constante a través del tiempo.

3.2. Modelo ARIMA

Tenemos que la media es constante a través del tiempo, sin embargo debemos ver si la varianza también lo es. Para ver esto debemos ver que sucede con los errores, luego vamos a ajustar un modelo autoregresivo para la serie de rendimientos de la figura 2 de la página 70 a ver que tal funciona.

Para encontrar el mejor modelo hacemos uso de un autoarima, si nuestro resultado captura bien la estructura de dependencia de la serie, entonces esto debería verse reflejado en los residuales(errores) del modelo.

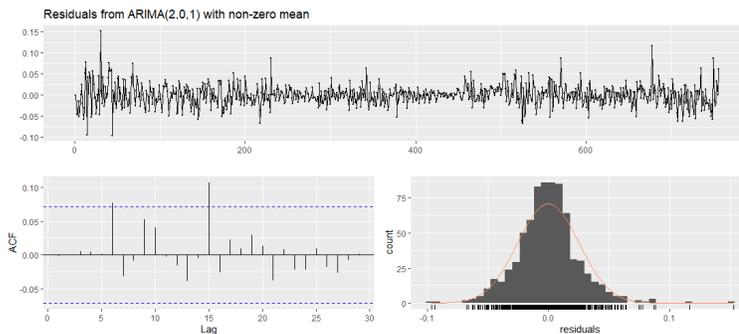


Figura 3: Residuales del Modelo ARIMA(2,0,1)

Según la figura 3 podemos concluir lo siguiente: Los residuales se mantienen alrededor de 0, entonces la hipótesis de que los errores tienen media 0, se mantiene. La función de autocorrelación (ACF), muestra que los residuales no son independientes, ya que se salen rezagos de las bandas, lo que indica autocorrelaciones

significativas. Esto resulta ser evidencia de que el modelo ARIMA(2,0,1) no captura bien la dependencia. Respecto a la gráfica inferior derecha, debemos verificar el supuesto de normalidad.

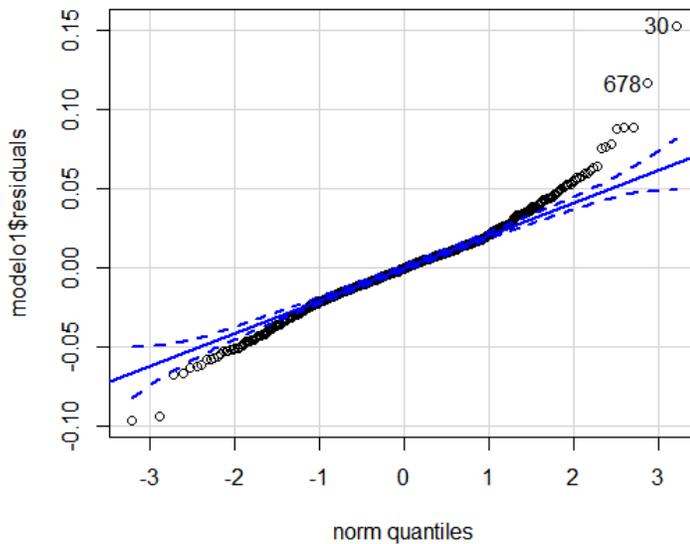


Figura 4: QQ-plot de los residuos

Se observa en la gráfica 4 que la distribución de los residuales tiende a tener colas pesadas, por lo cual se intuye que la distribución de los residuales se aproxima a una *t*-student.

Ahora debemos ver que pasa con los residuales, con el fin de analizar la varianza, si resulta constante o no, para esto se hace necesario ver el comportamiento de los residuales al cuadrado, siendo estos estimadores de las varianzas condicionales, aportando a señalar si hay o no volatilidad en la serie.

La figura 5 presenta picos, estos cambios desmesurados indican que el modelo implementado resulta ser bueno para la media pero no para la varianza, ya que se evidencia que la varianza no resulta ser constante a través del tiempo.

Lo que sigue es, cómo modelar la varianza, para así poder capturar la dependencia que no se captura con este modelo.

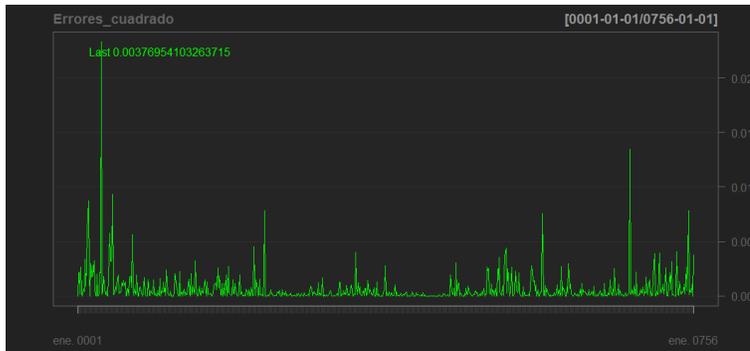


Figura 5: Errores al cuadrado del modelo ARIMA(2,0,1)

3.3. Heterocedasticidad

Realizando un análisis gráfico de autocorrelaciones de los residuales al cuadrado, podemos determinar la heterocedasticidad de estos errores, además de la prueba de *Ljung-Box*.

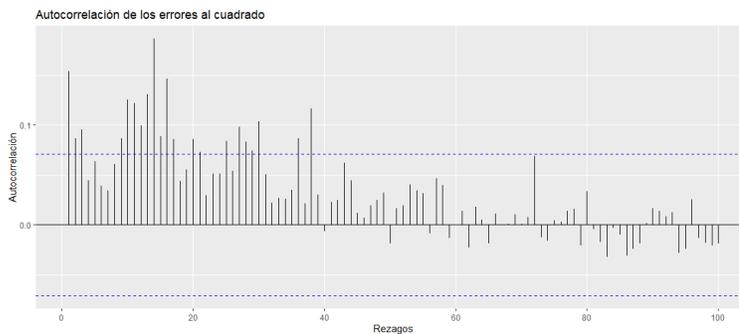


Figura 6: Autocorrelaciones de los errores al cuadrado del modelo ARIMA(2,0,1)

Las figuras 6 y 7 muestran que las primeras autocorrelaciones son significativas, mostrando dependencia de los residuales al cuadrado del modelo, evidenciando heterocedasticidad.

Finalmente, aplicamos la prueba de *Ljung-Box*, cuya hipótesis nula es que los datos son homocedásticos.

Box-Ljung test

```
data: modelo1$residuals^2
X-squared = 17.991,
df = 1,
```

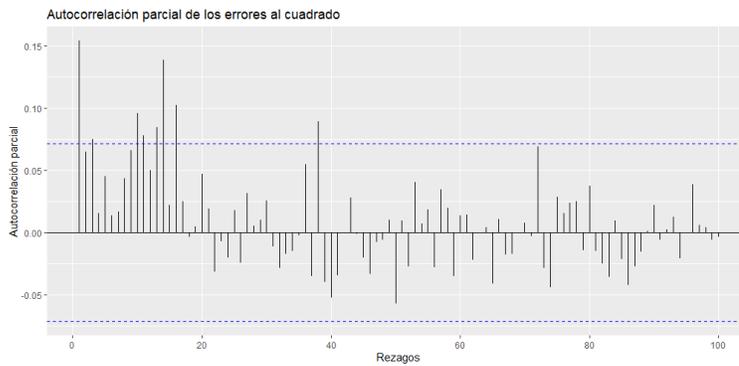


Figura 7: Autocorrelaciones parciales de los errores al cuadrado del modelo ARI-MA(2,0,1)

p-value = 2.219e-05

Como podemos ver, el p -valor < 0.01 , por lo que podemos decir con un 99% de confianza que la serie de los residuales al cuadrado del modelo no es puro ruido blanco (?), luego hay heterocedasticidad.

Vamos a verificar si existen o no efecto ARCH sobre los rendimientos de la figura 2. Aplicamos la prueba *ArchTest* cuya hipótesis nula es que no hay efectos ARCH, a 1 rezago el cual incluye la volatilidad del día anterior y a 2 rezagos que incluye la volatilidad de dos días atrás:

```
ARCH LM-test;
Null hypothesis:
  no ARCH effects

data: RendimientoEC
Chi-squared = 17.673, df = 1,
p-value = 2.624e-05
---
```

```
ARCH LM-test;
Null hypothesis:
  no ARCH effects

data: RendimientoEC
Chi-squared = 21.342, df = 2,
p-value = 2.321e-05
```

confirmando así que si estamos ante efectos ARCH en ambos casos, ya que ambos

p – valor son menores a 0.01. Luego, si tiene sentido que empecemos a formular modelos de este tipo.

Empezamos a formular modelos ARCH puros, analizamos un modelo ARCH(1) junto con el modelo para la media, en este caso vamos a suponer que para nuestra serie de rendimientos la media es cercana a 0, entonces no vamos a modelar la media, por ello se emplea el modelo ARMA(0,0) en nuestro modelo ARCH(1), lo que nos indica que el modelo para la varianza condicional de manera general lo tenemos como:

$$\hat{\sigma}_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i Z_{t-i}^2, \quad \alpha_0 > 0 \quad y \quad \alpha_i \leq 0$$

el modelo ARCH(1) para la serie de rendimientos de la figura 2 resulta ser:

$$\hat{\sigma}_t^2 = 0.000406 + 0.415001 Z_{t-1}^2 \quad (1)$$

en donde los parámetros $\alpha_0 = 0.000406$ y $\alpha_1 = 0.415001$ con una prueba t, tenemos que son significativos para el modelo 1, luego este modelo tiene sentido. Teniendo en cuenta que el intervalo de confianza para la variable se determina a partir de $y_t \pm 1.96\sqrt{\hat{\sigma}_t^2}$, entre más volatilidad, este intervalo será más amplio.

Para ver que tan bueno resulta ser nuestro ajuste de los datos mediante el ARCH(1), realizamos la gráfica 8 presentando un buen ajuste.

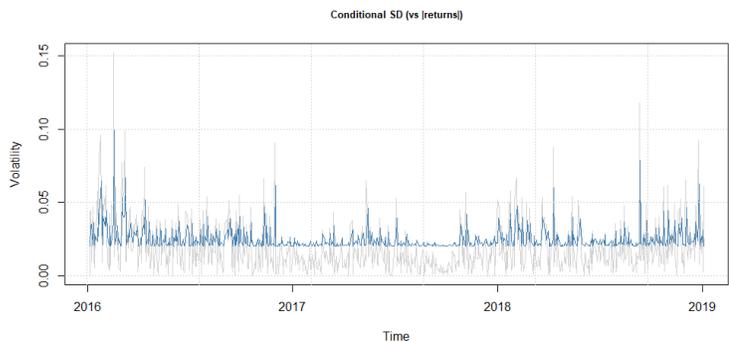


Figura 8: ARCH(1) vs Rendimientos

3.4. Pronóstico

Teniendo en cuenta nuestro modelo 1 de la página 75 tenemos el pronóstico de los próximos 10 valores futuros de los rendimientos de ECOPETROL.

Series	Sigma
T+1	0 0.04429
T+2	0 0.03493
T+3	0 0.03021
T+4	0 0.02802
T+5	0 0.02705
T+6	0 0.02665
T+7	0 0.02647
T+8	0 0.02640
T+9	0 0.02637
T+10	0 0.02636

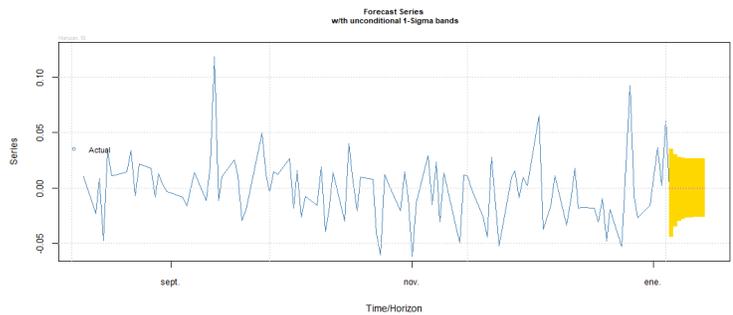


Figura 9: Pronóstico de los próximos 10 valores futuros de los rendimientos de ECOPETROL

4. Conclusiones

La gráfica de la serie de rendimientos presenta picos significativos, generando 4 clústeres de volatilidad. Lo anterior nos indica el uso de modelos no lineales, como los modelos ARCH y GARCH, para describir el comportamiento, con el fin de capturar la volatilidad que se evidencia en la figura 2.

La función de autocorrelación (ACF) de los residuales del modelo ARIMA(2,0,1), muestra que estos no son independientes, ya que se salen rezagos de las bandas, lo que indica autocorrelaciones significativas. Esto resulta ser evidencia de que el modelo ARIMA(2,0,1), seleccionado por el Autoarima, no captura bien la dependencia.

Aplicando el aumento de parámetros para los modelos puros ARCH, nos damos cuenta que al realizar dicho aumento los parámetros no resultan ser significativos, lo que nos deja el modelo ARCH(1) 1 como el mejor modelo, mostrando que la volatilidad de ECOPETROL se explica en un 41,5% por la volatilidad del día

anterior, además como estamos modelando rendimientos, ellos siempre estarán alrededor de cero, por ellos el punto de corte es tan pequeño.

Recibido:

Aceptado:

Referencias

- ECOPETROL. Reporte integrado 2020 de gestión sostenible, 2020. URL <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/sostenibilidad/reportes-estandares/Informesgestionsostenibilidad>.
- Y. Finance. Historical prices of ecopetrol shares., 2020. URL <https://finance.yahoo.com/quote/EC/history?p=EC>.
- E. R. Lecca, L. R. Guevara, and C. Q. Atúnar. Aplicación de la metodología garch al precio de cierre en la bolsa de valores de lima. *Industrial data*, 15(2): 96–105, 2012.
- S. Makridakis and M. Hibon. Arma models and the box-jenkins methodology. *Journal of forecasting*, 16(3):147–163, 1997.
- M. S. Vivanco Garzón. La apertura comercial y el crecimiento del sector manufacturero: un análisis empírico para ecuador durante el periodo 2000-2019. B.S. thesis, PUCE-Quito, 2021.