

## Aplicación de modelo ARCH para estimar un intervalo del valor del bitcóin

### *Application of ARCH model to estimate a range of bitcoin value*

**Franklin Iván Argueta Bermúdez**

Licenciado en Matemáticas por la Universidad de El Salvador.  
Investigador del Centro de Modelaje Matemático “Carlos Castillo-Chavez” en la Universidad Francisco Gavidia.  
[fargueta@ufg.edu.sv](mailto:fargueta@ufg.edu.sv)  
<https://orcid.org/0000-0001-9798-8120>

**James Edward Humberstone Morales**

Ingeniero en Ciencias de la Computación por la Universidad Francisco Gavidia.  
Maestro en Informática Aplicada a Redes por la Universidad Francisco Gavidia.  
Docente de la Facultad de Ingeniería y Sistemas de la Universidad Francisco Gavidia.  
Investigador del Centro de Modelaje Matemático “Carlos Castillo-Chavez” en la Universidad Francisco Gavidia.  
[jhumberstone@ufg.edu.sv](mailto:jhumberstone@ufg.edu.sv)  
<https://orcid.org/0000-0001-6782-5347>

Fecha de recepción: 13 de septiembre de 2021  
Fecha de aprobación: 24 de enero de 2022  
DOI: <https://doi.org/10.5377/ryr.v1i55.14410>

## RESUMEN

Desde septiembre de 2021, El Salvador se convirtió en el primer país en adoptar bitcoin como moneda de curso legal, la cual podrá ser utilizada como un instrumento de inversión. La volatilidad del valor del bitcoin es un riesgo que debe asumir el inversionista; pero a la vez abre las puertas para realizar *trading*. Sin embargo, hacer *trading* requiere conocimiento de múltiples técnicas para el análisis del mercado bursátil, y de la ejecución de una estrategia para las operaciones de compra y venta en el momento oportuno. Según las encuestas realizadas por universidades privadas del país, la población desconoce sobre el bitcoin y por consiguiente cómo invertir en él. Ante esta situación, este estudio discute la creación de un modelo matemático para estimar el intervalo del precio del bitcoin, con la finalidad de que los salvadoreños identifiquen los valores óptimos con los que puede operar para obtener un beneficio.

**Palabras clave:** bitcoin, *trading*, Box-Jenkins, ARCH, estimación.

## ABSTRACT

*Since September 2021, El Salvador became the first country to adopt bitcoin as legal tender, which can be used as an investment instrument. The volatility of the bitcoin value is a risk that the investor must assume; but at the same time it opens the doors for trading. However, trading requires knowledge of multiple skills for the analysis of the stock market and the execution of a strategy for buying and selling operations at the right time. According to surveys conducted by private universities in the country, the population does not know about bitcoin and therefore how to invest in it. Given this situation, this study discusses the creation of a mathematical model to estimate the bitcoin price interval with the aim that salvadorans identify the optimal values with which it can operate to obtain a profit.*

**Key words:** *bitcoin, trading, Box-Jenkins, ARCH, estimation.*

## Introducción

El 7 de septiembre de 2021 entró en vigencia la Ley Bitcóin en El Salvador, convirtiéndolo en el primer país del mundo en adoptar la criptomoneda bitcóin (BTC) como moneda de curso legal. En el dictamen sobre el anteproyecto de esta ley, se señala que el “BTC es un instrumento financiero de inversión que sirve de apalancamiento o negociación para diferentes inversionistas y que se adecua a los diferentes perfiles de inversionista” (Comisión Financiera de la Asamblea Legislativa de El Salvador, 2021, p.3).

Las inversiones se pueden realizar en corto o largo plazo. En los mercados de valores se conoce como *trading* a la estrategia de inversión a corto plazo, que consiste en la especulación sobre instrumentos financieros con la finalidad de obtener un beneficio, ya sea comprando el activo antes que aumente su valor o vendiendo el activo antes que pierda parte de su valor.

Tanto en BTC como en cualquier inversión existe un riesgo que debe asumir el inversionista. En el caso del bitcóin es la volatilidad en su valor. El sitio web de Yahoo! Finanzas muestra el historial del precio de bitcóin desde octubre 2014 hasta la fecha. El 11 de abril de 2021 el precio de BTC subió hasta USD 63,780; un mes y medio después, el precio cayó a menos de USD 40,000. El día 6 de septiembre de 2021, el presidente Nayib Bukele compartió en su cuenta de Twitter que se adquirieron 440 BTC, y en la mañana del siguiente día informó que se adquirieron 150 BTC más. Un par de horas después de la última adquisición, el valor del BTC cayó de USD 52,172.34 a USD 47,144.56.

La alta volatilidad que tiene el valor del bitcóin abre las puertas para realizar trading, sin embargo, hacer *trading* requiere conocimiento de múltiples técnicas para el análisis del mercado bursátil, y de la ejecución de una estrategia para las operaciones de compra y venta en el momento oportuno, con la finalidad de maximizar los beneficios. Según la encuesta “Los salvadoreños opinan sobre la Ley Bitcóin: ¿aceptan y reciben?” (Universidad Francisco Gavidia, 2021), el 55.7 % de la población entiende poco o no entiende el riesgo de invertir en BTC. La encuesta “La población salvadoreña opina sobre el bitcóin y la situación económica del país” (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, 2021), revela que nueve de cada diez salvadoreños no tienen claro qué es el bitcóin.

En términos generales, la población desconoce sobre el BTC y por consiguiente de cómo invertirlo. Ante esta situación surge la pregunta: ¿se puede construir un modelo matemático que determine un intervalo del valor del bitcóin, para que los salvadoreños puedan decidir cuándo comprar BTC y cuando venderlos, sin necesidad que sean expertos en *trading*?

Para determinar si se puede crear el modelo matemático se ha evaluado el comportamiento histórico de la volatilidad del precio del bitcóin con la finalidad de: a) Definir la estacionariedad; b) Estimar los parámetros; y c) Definir el modelo.

## Metodología

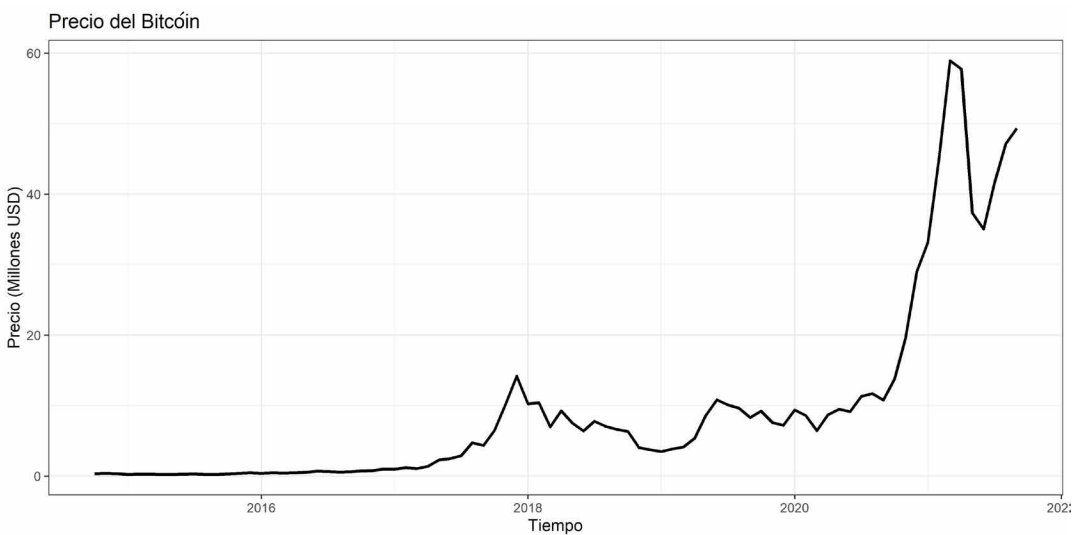
El estudio persigue como **objetivo**: construir un modelo matemático que estime un intervalo en el que oscilara el valor del bitcoin, para que los salvadoreños cuenten con una herramienta de fácil interpretación, que les ayude a visualizar los momentos oportunos para realizar operaciones de compra y venta de BTC, sin necesidad de ser expertos en *trading*.

El bitcoin es una moneda virtual que permite adquirir productos y servicios como cualquier otra moneda, tiene como característica principal que es descentralizada, es decir, que no existe una autoridad o ente de control que sea responsable de su emisión y registro de sus movimientos. Para poder hacer operaciones con ella se le asocia a un monedero virtual.

Para el desarrollo de esta investigación, se utilizó la base de datos de **Yahoo! Finanzas**<sup>1</sup> que tiene la información del precio mensual del bitcoin desde octubre de 2014 hasta septiembre de 2021. La Figura 1 resume los datos en una gráfica que presenta el precio del BTC con respecto al tiempo.

### Figura 1

*Precio del bitcoin en dólares desde octubre 2014 hasta septiembre 2021.*



Fuente: elaboración propia.

1 La base de datos se puede descargar del enlace <https://es-us.finanzas.yahoo.com/quote/BTC-USD/history/>

Con estos datos se determinó el modelo probabilístico que rige el comportamiento del precio del BTC a lo largo del tiempo. Es preciso en este momento señalar la diferencia entre proceso y modelo. Según Pankratz (1983), “un proceso es lo real, es decir, el fenómeno en sí, del cual se desconoce su mecanismo generador. Por el otro lado un modelo es solo la imitación o representación del proceso” (p. 81).

Para elaborar el modelo matemático probabilístico que rige el comportamiento del precio del bitc oin a lo largo del tiempo, se utilizó la metodología **Box – Jenkins** (Box *et al.*, 1994). La Figura 2 muestra las etapas esenciales del modelo.

Para determinar si la serie es estacionaria hacemos uso de la Prueba de Dickey-Fuller (Dickey *et al.*, 1979), la cual indica que la serie no es estacionaria si cuando el resultado de p-value es mayor que 0.05, y es estacionaria si p-value es menor que 0.05. En caso de que la serie no sea estacionaria, entonces se deben aplicar diferentes métodos, tales como logaritmos o diferencias que induzcan la estacionariedad según Kwiatkowski *et al.* (1992). Una vez los datos se han transformado en una serie estacionaria, se debe aplicar uno de los modelos de serie temporal: ARMA, ARIMA o ARCH para crear el nuestro, dicha decisión se tomó en base a los resultados de la Prueba de Ljung – Box (Phillips *et al.*, 1988), la cual nos devuelve los parámetros que concluyen la existencia de ruido blanco, y el número de diferencias, medias móviles y autorregresivos que se le debe aplicar a la serie.

Tomando en cuenta lo anterior, se procedió a estimar los parámetros de nuestro modelo para comenzar a construirlo, tal como sugiere Markowitz (1952). Una vez construido el modelo se evaluaron los resultados, y se determinó a través de la prueba ARCH si el modelo cumple con los parámetros de la prueba, y así concluir que la varianza es heterocedástica (Engle, 1982). Si la varianza es heterocedástica significa que el precio del bitc oin presenta intervalos de volatilidad a lo largo del tiempo, y, por tanto, se pueden determinar cuáles serán dichos intervalos a futuro.

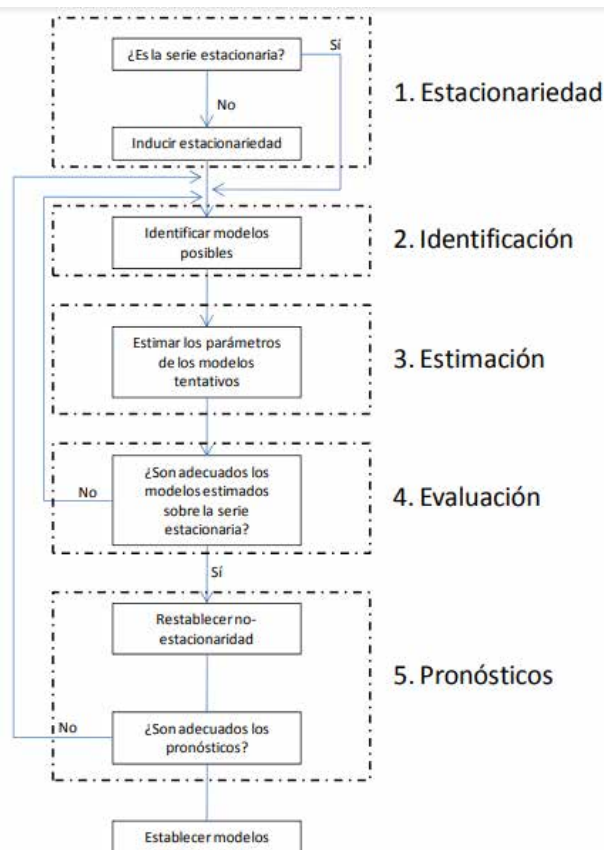
Finalmente, se compararon los resultados de nuestro pronóstico tomando en cuenta el histórico y los intervalos de volatilidad de la serie según Franses (1998), para realizar una proyección a futuro de 15 meses a partir de septiembre 2021. Es decir, la proyección abarca desde octubre 2021 hasta diciembre 2022. Ver figura 2.

## Resultados

La Figura 1 muestra la tendencia del valor en dólares del BTC, podemos suponer que la serie de datos del precio del bitc oin no es estacionaria ya que la tendencia presenta variaciones a lo largo del tiempo. Para validar esta suposición se realizó la prueba Dickey-Fuller cuyos resultados se muestran en la Figura 3.

**Figura 2**

*Metodología Box – Jenkins.*



Fuente: tomado de Forecasting with univariate Box-Jenkins Models, por Pankratz (1983).

**Figura 3**

*Resultado de la prueba Dickey – Fuller a la serie de datos.*

### Augmented Dickey-Fuller Test

```

data: PrecioBitcoin
Dickey-Fuller = -1.1347, Lag order = 4, p-value = 0.9117
alternative hypothesis: stationary
  
```

Fuente: elaboración propia.

Al revisar el resultado de la prueba Dickey – Fuller se observa que  $p\text{-value} = 0.9117 > 0.05$ , por lo tanto se cumple que la serie de datos no es estacionaria. Para convertirla en una serie estacionaria, se aplicó una diferencia a la serie de datos y se volvió aplicar la prueba Dickey – Fuller cuyos resultados se muestran en la siguiente figura.

#### Figura 4

*Resultado de la prueba Dickey – Fuller a la serie de datos con una diferencia aplicada.*

#### Augmented Dickey-Fuller Test

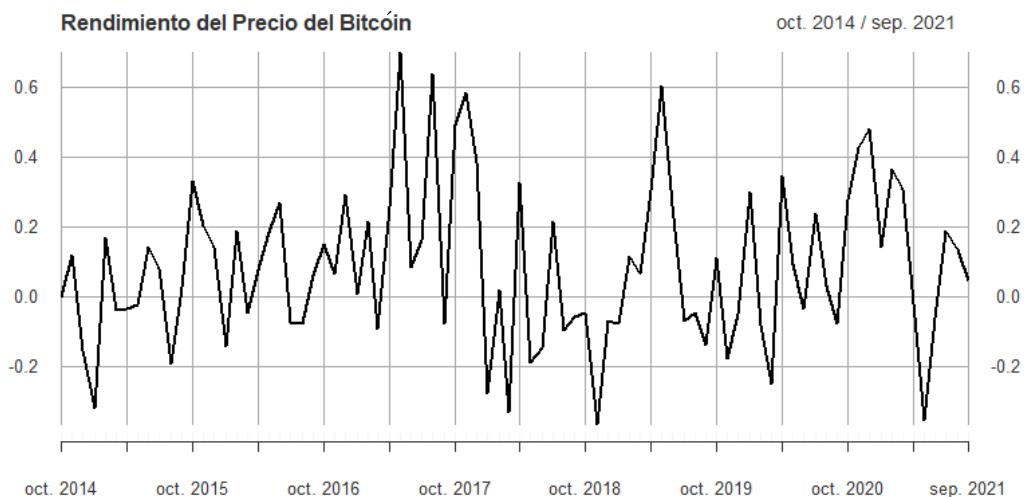
```
data: SerieDifPrecioBitcoin  
Dickey-Fuller = -5.5416, Lag order = 4, p-value = 0.01  
alternative hypothesis: stationary
```

Fuente: elaboración propia.

Una vez que  $p\text{-value} = 0.01 < 0.05$ , la serie de datos es estacionaria. La Figura 5 muestra los meses en que el precio del bitcoin presentó el mayor rendimiento, así como los meses en que obtuvo el peor rendimiento con sus respectivos valores. En la Figura 5 se muestra el resultado de aplicar la prueba Dickey – Fuller para determinar estacionariedad.

#### Figura 5

*Rendimiento del precio del bitcoin: datos desde octubre 2014 hasta septiembre 2021.*



Fuente: elaboración propia.

La Figura 6 muestra el resultado de la prueba Dickey-Fuller al rendimiento del precio del BTC. Se observa que  $p\text{-value} = 0.02451 < 0.05$ , por lo tanto se confirma que la serie del rendimiento del precio del bitc on es estacionaria.

### Figura 6

*Resultados de la prueba Dickey – Fuller a la serie del rendimiento del precio del bitc on.*

#### Augmented Dickey-Fuller Test

```
data: Rendimiento
Dickey-Fuller = -3.7643, Lag order = 4, p-value = 0.02451
alternative hypothesis: stationary
```

Fuente: elaboración propia.

Tomando en cuenta la serie estacionaria, se determinaron los parámetros para la construcción del modelo, los cuales se muestran en las Figuras 7 y 8. En la Figura 7 indica que para el precio del bitc on se debe de aplicar un modelo ARIMA (0,1,1). Es decir, un modelo que tenga cero autorregresivos, una diferencia y una media móvil.

### Figura 7

*Parámetros del modelo para la serie de datos del precio del bitc on.*

```
Series: PrecioBitcoin
ARIMA(0,1,1)

Coefficients:
      ma1
      0.4982
s.e.    0.0806

sigma^2 estimated as 10.67:  log likelihood=-215.64
AIC=435.29  AICc=435.44  BIC=440.13

Training set error measures:
              ME      RMSE      MAE      MPE      MAPE      MASE      ACF1
Training set 0.3901323  3.226744  1.670195  2.622156  18.6583  0.221998  0.009888418
```

Fuente: elaboración propia.

En cambio para la serie del rendimiento del precio del BTC cuyos parámetros se muestran en la Figura 8, indica que se le debe aplicar un ARMA(0,1) = ARIMA(0,0,1). Es decir, se debe aplicar cero autorregresivos, cero diferencias y una media móvil.



## Figura 8

*Parámetros del modelo para la serie descrita por el rendimiento del precio del bitcoin.*

```
Series: Rendimiento  
ARIMA(0,0,1) with non-zero mean
```

```
Coefficients:  
      ma1      mean  
      0.1891  0.0842  
s.e.  0.1120  0.0288
```

```
sigma^2 estimated as 0.05079: log likelihood=6.97  
AIC=-7.93  AICc=-7.63  BIC=-0.64
```

```
Training set error measures:
```

```
Training set 0.0001942919  0.2226656  0.1802183  -Inf  Inf  0.7074957  -0.002489908
```

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, se construyeron los modelos tomando en cuenta los parámetros descritos anteriormente, y se procedió a evaluar los modelos con la prueba de Ljung – Box cuyos resultados se muestran en la siguiente figura.

## Figura 9

*Resultados de la prueba Ljung – Box para el modelo del precio del bitcoin.*

### Box-Ljung test

```
data: residuals(ModeloPrecioBitcoin)  
X-squared = 0.0085105, df = 1, p-value = 0.9265
```

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 9, se observa que  $p\text{-value} = 0.9265 > 0.05$ , esto indica que la serie presenta ruido blanco. Es decir, que el modelo logra describir la tendencia, la estacionalidad y la variación de los datos; lo cual es fundamental para validar el pronóstico.

Ahora, falta determinar si la varianza de la serie es heterocedastica. Es decir, se debe verificar que la serie presenta intervalos de volatilidad y esto se logra a través de la prueba ARCH, cuyos resultados se muestran en la siguiente figura.

## Figura 10

*Resultados de la prueba ARCH para la varianza del precio del bitc oin.*

```
Time series regression with "ts" data:
Start = 2014(11), End = 2021(9)

Call:
dyncml(formula = ErrorCuadModeloPrecioBitcoin ~ L(ErrorCuadModeloPrecioBitcoin))

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-33.505  -8.262  -8.217  -5.587  305.481

Coefficients:
                Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)         8.2626    4.3571   1.896  0.0615 .
L(ErrorCuadModeloPrecioBitcoin)  0.2159    0.1085   1.990  0.0500 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 38.3 on 81 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.04661,    Adjusted R-squared:  0.03484
F-statistic:  3.96 on 1 and 81 DF,  p-value: 0.04998
```

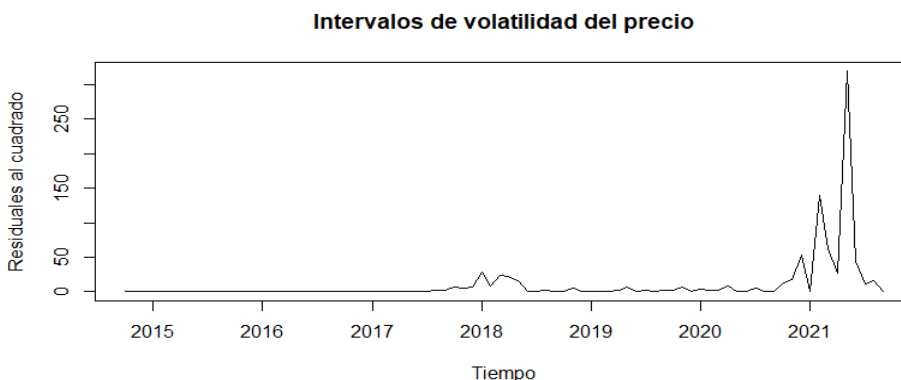
Fuente: elaboraci on propia.

En la Figura 10, se muestran los resultados de la regresión realizada con los residuales al cuadrado del precio del bitc oin con un rezago, la cual indica que el  $p\text{-value} = 0.04998 < 0.05$  en la varianza, por tanto, existe heterocedasticidad, y nos indica que la serie presenta volatilidad al primer rezago, por lo que el modelo que describe la proyección del precio del bitc oin es un ARCH de orden 1 [ARCH(1)].

Las Figuras 11 y 12 presentan los intervalos de volatilidad, tanto del precio del BTC, como del rendimiento respectivamente.

## Figura 11

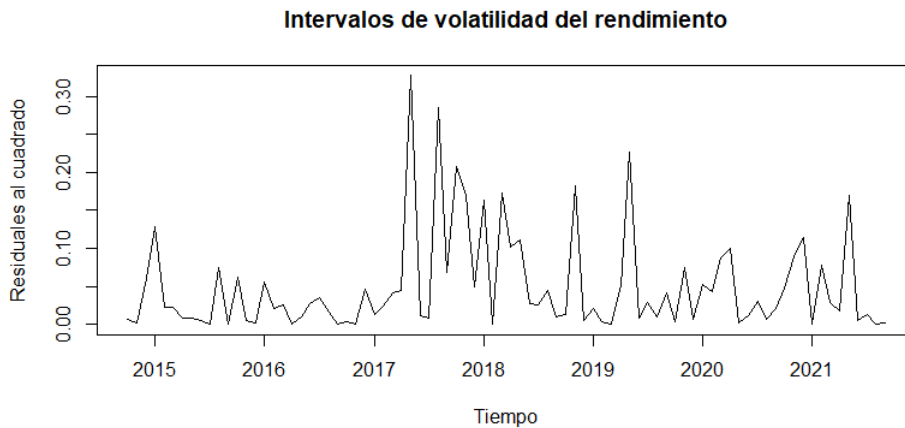
*Intervalos de volatilidad del precio de cierre de bitc oin: desde octubre 2014 hasta septiembre 2021.*



Fuente: elaboraci on propia.

### Figura 12

*Intervalos de volatilidad del rendimiento del precio del bitcoin: desde octubre 2014 hasta septiembre 2021.*

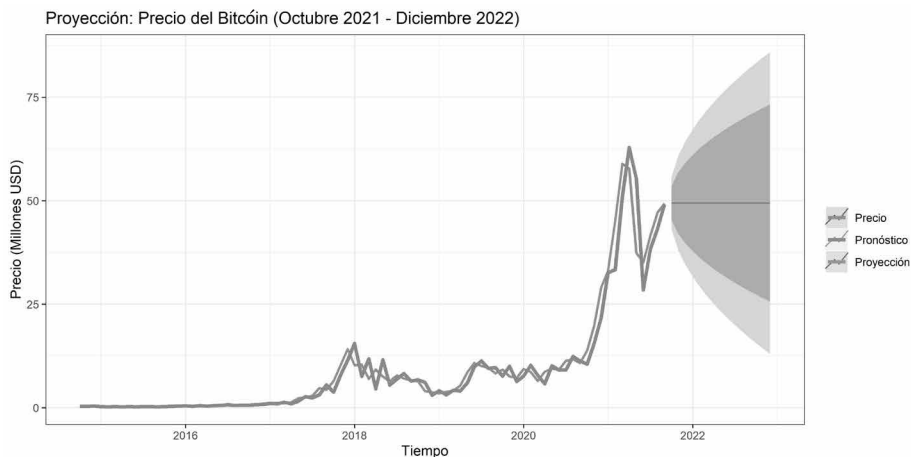


Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, tomando en cuenta la heterocedasticidad de la varianza, se estimó el intervalo en que oscilará el precio del bitcoin a través de un modelo ARCH de orden 1. La Figura 13 muestra el resultado de la proyección a largo plazo (15 meses) y el detalle se muestra en la Tabla 1.

### Figura 13

*Estimación del precio del bitcoin: desde octubre 2021 hasta diciembre 2022.*



Fuente: elaboración propia.

Nota: el intervalo del precio del bitcoin se amplía en proporción al tiempo que se desea estimar.

**Tabla 1***Detalle de la estimación del precio del bitcóin: desde octubre 2021 hasta diciembre 2022.*

Mes	Lo.80	Hi.80	Lo.95	Hi.95
Oct 2021	\$45.25	\$53.62	\$43.04	\$55.84
Nov 2021	\$41.90	\$56.98	\$37.91	\$60.97
Dic 2021	\$39.63	\$59.24	\$34.44	\$64.43
Ene 2022	\$37.80	\$61.08	\$31.64	\$67.24
Feb 2022	\$36.22	\$62.66	\$29.22	\$69.66
Mar 2022	\$34.80	\$64.07	\$27.06	\$71.81
Abr 2022	\$33.52	\$65.36	\$25.09	\$73.78
May 2022	\$32.33	\$66.55	\$23.27	\$75.60
Jun 2022	\$31.21	\$67.66	\$21.57	\$77.31
Jul 2022	\$30.16	\$68.71	\$19.96	\$78.91
Agos 2022	\$29.17	\$69.70	\$18.44	\$80.43
Sep 2022	\$28.22	\$70.65	\$16.99	\$81.88
Oct 2022	\$27.32	\$71.56	\$15.61	\$83.27
Nov 2022	\$26.44	\$72.43	\$14.27	\$84.60
Dic 2022	\$25.60	\$73.27	\$12.99	\$85.88

Fuente: elaboración propia.

Nota: el precio está en millones de dólares.

**Discusión**

Tal como se esperaba, después de aplicar la metodología se comprobó que la varianza es heterocedastica y, por tanto, se puede determinar el intervalo con el que se puede estimar el precio del bitcóin aplicando el modelo ARCH; sin embargo, el valor exacto del BTC es difícil de predecir pues depende de factores externos tales como el apoyo o exclusión de los gobiernos al desarrollo de la minería en sus países.

Para hacer la estimación, el modelo ARCH de orden 1 es el que mejor se adapta a la estacionalidad, a la tendencia y a los intervalos de la volatilidad del precio del bitcóin; dando como resultado un intervalo por mes, donde se espera que se encuentre el menor y el mayor precio posible. La Figura 13 muestra un intervalo amplio del valor del bitcóin, debido a que la estimación se realizó a 15 meses, bajo el supuesto que el interés del usuario es hacer *holding*. Sin embargo, si la intención del usuario es realizar *trading*, la estimación deberá realizarse a un mes, y por tanto la amplitud del intervalo del precio disminuirá. La amplitud del intervalo del precio del bitcóin es directamente proporcional al tiempo que se desea estimar.

En la Tabla 1 se muestran dichos intervalos mensuales, en los cuales se observa que el mejor momento en que una persona puede comprar BTC en octubre 2021, será cuando el precio este por debajo de los 45 millones, e incluso se puede esperar a que el precio caiga hasta los 43 millones de dólares dentro del mismo mes. Ahora, si la persona quisiera vender en ese mes, el mejor momento sería cuando el precio esté por encima de los 53 millones, pudiendo esperar hasta los 55 millones para obtener una mayor ganancia.

Así como el precio del bitcóin presenta intervalos de volatilidad, también la serie del rendimiento del precio los presenta, e incluso con momentos más marcados, lo cual nos garantiza que se puede aplicar la misma metodología a los nuevos datos que se tengan, para realizar la estimación del intervalo en que oscilará el precio diario del bitcóin, y de esta manera poder obtener mayores oportunidades de hacer *trading* dentro de un mes.

### Trabajos futuros

Se aplicará la metodología Box-Jenkins a los datos históricos del precio del bitcóin para construir un modelo que estime un intervalo del valor por día del bitcóin, con la finalidad de que las personas conozcan los precios mínimos y máximos con los que puede operar. Esta herramienta se pondrá en línea para ir mejorando el modelo conforme se obtengan nuevos datos del precio.

### Referencias

- Box, G., Jenkins, G., y Reinsel, G. (1994). *Times series analysis: forecasting and control*. Prentice Hall.
- Box, G., y Jenkins, G. (1970). *Time series analysis: forecasting and control*. San Francisco, Holden Day.
- Comisión Financiera de la Asamblea Legislativa de El Salvador. (2021, junio 8). *www.amablea.gob.sv*. <https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/dictamenes/27F0BD6F-3CEC-4F52-8287-432FB35AC475.pdf>
- Dickey, D., y Fuller, W. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74, 427-431.
- Engle, F. R. (1982). Autoregressive conditional heterocedasticity whit estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica*, 50(4), 987-1008.
- Franses, P. (1998). Time series models for business and economic forecasting. *Cambridge University Press*.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P., Schmidt, P., y Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. *Journal of Econometrics*, 54 (1-3), 159-178.

Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91.

Pankratz, A. (1983). *Forecasting with univariate Box-Jenkins Models*. New York: Wiley & Sons, Inc.

Phillips, P., y Ouliaris, S. (1990). Asymptotic Properties of Residual Based Tests for Cointegration. *Econometrica*, 58(1), 165-193.

Phillips, P., y Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335-346.

Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. (2021, Septiembre). *La población salvadoreña opina sobre el bitcoin y la situación socioeconómica del país*. IUDOP: <https://uca.edu.sv/iudop/wp-content/uploads/PPT-Coyuntura-sociopolitica-FINAL-1.pdf>

Universidad Francisco Gavidia. (2021, julio). *Los salvadoreños opinan sobre la Ley de Bitcoin: ¿Aceptan y reciben?* Disruptiva: <https://www.disruptiva.media/los-salvadorenos-opinan-sobre-la-ley-de-bitcoin-aceptan-y-reciben/>

Yahoo! Finanzas. (2021, septiembre). *Historial del precio del bitcoin en dólares*. <https://es-us.finanzas.yahoo.com/quote/BTC-USD/history/>