Análisis del rendimiento de un portafolio de inversiones con monedas latinoamericanas diversificado con bitcoins*

Luis David Delgado Vélez**
Luis Augusto Socarraz Berti***

Recibido: 13 de diciembre de 2018 • Aceptado: 16 de mayo de 2019

RESUMEN

El objetivo es analizar la relación riesgo-rentabilidad-liquidez de un portafolio de inversiones con monedas latinoamericanas diversificado con Bitcoins, en un horizonte temporal de 24 meses. La metodología utilizada para mejorar su desempeño fue el modelo de portafolio de varianza mínima y las ratios de Sharpe, Sortino y Black-Litterman. Los resultados indican que al incorporar los Bitcoin en el portafolio la relación baja a un rendimiento del 10,12% anual, asumiendo el límite máximo del 13% de riesgo; se concluye que la inclusión del Bitcoin como estrategia de diversificación en un portafolio de monedas latinoamericanas es menos rentable y más riesgoso.

PALABRAS CLAVE

Bitcoins, portafolios de inversión, riesgo, rentabilidad, portafolio de varianza mínima.

CLASIFICACIÓN JEL

D53, E4, E44, F3

CONTENIDO

Introducción; 1. Metodologia; 2. Resultados y discusión; 3. Conclusiones; Referencias.

* Este artículo de investigación se deriva del proyecto, Análisis técnico del bitcoin como alternativa de inversión en el mercado colombiano.

** Ingeniero industrial, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Especialista en Ingeniería Financiera, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Magíster en Finanzas, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España. Docente e investigador, Institución Universitaria Esumer, Medellín, Colombia. Correo electrónico: luis.delgado@esumer.edu.co

*** Ingeniero de sistemas. Magíster en Finanzas. Docente, Servicio Nacional de Aprendizaje. Correo electrónico: luisocber@gmail.com

Analysis of the performance of an investment portfolio with latin american coins diversified with bitcoins

ABSTRACT

The objective is to analyze the risk-return-liquidity ratio of an investment portfolio with Latin American currencies diversified with Bitcoins, over a 24-month time horizon. The methodology used to improve its performance was the minimum variance portfolio model and the Sharpe, Sortino and Black-Litterman ratios. The results indicate that when Bitcoin is incorporated into the portfolio, the ratio drops to an annual yield of 10.12%, assuming the maximum limit of 13% risk; It is concluded that the inclusion of Bitcoin as a diversification strategy in a portfolio of Latin American currencies is less profitable and riskier.

KEYWORDS

Bitcoins, Investment portfolio, Risk, profitability, minimum variance portfolio.

JEL CLASSIFICATION

D53, E4, E44, F3

CONTENT

Introduction; 1. Methodology; 2. Results and discussion; 3. Conclusions; References

Análise de desempenho de um portfólio diversificado de investimentos com moedas latino-americanas com bitcoins

RESUMO

O objetivo é analisar a relação risco-retorno-liquidez de um portfólio de investimentos diversificada com moedas latino-americanas com Bitcoins, em um horizonte de 24 meses. A metodologia utilizada para melhorar seu desempenho foi o modelo de portfólio de variações mínimas e os índices Sharpe, Sortino e Black-Litterman. Os resultados indicam que, quando o Bitcoin é incorporado ao portfólio, o índice cai para um retorno de 10,12% ao ano, assumindo o limite máximo de 13% de risco; Conclui-se que a inclusão do Bitcoin como estratégia de diversificação em um portfólio de moedas latino-americanas é menos rentável e arriscada.

PALAVRAS-CHAVE

Bitcoins, portfólio de investimento, risco, rentabilidade, portfólio de mínima variância.

CLASSIFICAÇÃO JEL

D53, E4, E44, F3

CONTEÚDO

Introdução; 1. Metodologia; 2. Resultados e discussão; 3. Conclusões; Referências.

INTRODUCCIÓN

Desde 2009, el Bitcoin ha emergido como una de las monedas digitales más conocidas y de mayor uso en el ámbito mundial. Este sistema está basado en la tecnología *blockchain* o cadena de bloques, esta es una red de varios nodos que se conectan directamente sin necesidad de un servidor central; así, se evita que la criptomoneda dependa de un emisor. Una de las funciones principales es permitir registrar datos en un gran un libro de contabilidad. Estos registros se almacenan en forma de bloques de datos unidos mediante criptografía en orden cronológico a su creación, cada bloque posee una firma digital única que debe coincidir en todos los ordenadores participantes en el proceso, de manera que se garantice la transparencia. Esto convierte a esta tecnología en una de las más seguras que existen, ya que cualquier modificación independiente cambiaría la firma digital y no concordaría con las almacenadas en los otros ordenadores, por lo que el sistema alertaría de una falta de concordancia entre firmas y se descubriría automáticamente el engaño. (Nakamoto, 2009). Este es un seguimiento que se realiza a través de transacciones entre cuentas anónimas en una red peer-to-peer[1] y evita que se produzca el problema conocido como doble gasto[2].

Son múltiples los usos de esta moneda digital. El principal, es como moneda de inversión con un promedio de 260.000 transacciones diarias (Blockchain, 2018). Lo sigue las compras online con un número creciente de empresas que aceptan este tipo de pagos (Coinmap, 2017), principalmente en Estados Unidos, Francia, Alemania, Inglaterra, España, Italia, Japón y Corea del Sur; en América Latina, también hay mayor aceptación, especialmente en México, Colombia, Brasil, Argentina y Chile. De otro lado, según el Banco Mundial (2014) solo el 62% de la población adulta en el mundo tienen una cuenta bancaria, en consecuencia, otro uso importante corresponde al servicio de bancarización, lo que permite al Bitcoin llenar el vacío que deja la banca tradicional. En su orden, continúa los envíos y remesas, que por sus costos de transacción facilita el flujo de dinero de los migrantes hacia sus países de origen. Finalmente, el sistema Bitcoin también es utilizado para realizar donaciones y propinas, lo que resulta muy apropiado para financiar pequeños proyectos de nuevos emprendedores a través de la modalidad de *crowdfunding*.

---

1 Per to Peer, Bitcoin y todas las criptomonedas en general, son redes descentralizadas que funcionan entre pares que sirven como nodos que pueden aparecer o desaparecer en cualquier momento.

2 El doble gasto se refiere a la operación que puede hacer un usuario de gastar dos veces la misma moneda en dos lugares diferentes, al mismo tiempo, lo que equivale a una falsificación.

A diferencia del sistema financiero convencional, Bitcoin es descentralizado y la ausencia de instituciones monetarias que controlen las operaciones crea un ambiente ideal de libre intercambio en cualquier parte del mundo; además, permite que el dinero pase directamente de persona a persona sin restricciones de horario, lo que reduce sustancialmente los costos de transacción y mitiga el riesgo de embargo. Respecto a las desventajas, El Banco Central Europeo (2012) publicó algunos inconvenientes del Bitcoin como moneda. Este es vulnerable al robo, ya que sus propietarios necesitan una clave pública y privada para usarlo. Si el archivo que contiene la información es alterado o se pierde, como resultado de una falla en el disco duro, un virus en el computador o un ataque de hackers, se pierden las claves asociadas a Bitcoin. Se estima que el 4% de todos los Bitcoins se han perdido por las fallas en los discos duros, los hackers, los fraudes o robos directos (Williams, 2014). Adicionalmente, desde el punto de vista del cumplimiento de la ley, el anonimato de las cuentas Bitcoin lo hace ideal para el lavado de dinero, la evasión de impuestos y el comercio en el mercado negro de bienes de contrabando (Brustein, 2013), (Goldberg, 2012).

Existen diferentes formas de obtener los Bitcoins, entre estos se encuentran los métodos tradicionales (Marquez, 2016): minería, brókeres, Grifos o *faucets* o recibir Bitcoins por un trabajo realizado. Cuando se realiza una transacción en la red, esta debe ser respaldada por una clave privada, que garantice dos cosas: la tenencia del dinero por parte de la billetera de origen y que no sea posible alterar la transacción; seguidamente, cada una de las operaciones son difundidas en la red y quedan pendientes de ser incluidas en un bloque, hasta que son confirmadas por un minero en un proceso que tarda aproximadamente 10 minutos; pero realmente esto es un proceso que exige miles de millones de cálculos por segundo y por ello, el primero que logre resolver el problema, es el ganador y tiene derecho a recibir una compensación de 25 Bitcoins por cada bloque. El proceso de minado en el Bitcoin es similar a la obtención de los metales preciosos; mientras con el oro, la plata y el platino, entre otros, se busca tener algo físico de mucho valor, en el sistema Bitcoin el objetivo también es tener algo valioso, pero de manera virtual. Para lograrlo, es necesario tener computadores y servidores que ayuden a llegar a las vetas o bloques, es decir, resolver los algoritmos.

La segunda opción se lleva a cabo a través de un bróker y después de crear una cuenta, se transfiere los fondos a través de un intermediario financiero,

como los bancos y Paypal. Una vez realizada la transferencia, se pueden usar los fondos para comprar. En este punto los Bitcoins están listos para ser vendidos de nuevo a la tasa de mercado o pueden ser usados para las compras. Para acelerar este proceso, que puede tardar varios días debido a las medidas cada vez más restrictivas contra el lavado de dinero, también se pueden usar cajeros automáticos para comprar y vender Bitcoins por dinero en efectivo en cuestión de segundos (Rick, 2014).

Los grifos o *faucets* hacen la similitud con una canilla, pero en vez de gotear agua, deposita pequeñas cantidades de Bitcoin a una dirección, a cambio de la visualización de publicidad. No obstante, es importante advertir que muchas de estas páginas ofrecen publicidad engañosa al ofrecer grandes beneficios que después no pagan o también es un medio ideal para Programas de Inversión de Alta Rentabilidad (HYIP, por sus siglas en inglés), que terminan convirtiéndose en estafas piramidales o esquemas P*onzi*. Finalmente, la última opción (de las tradicionales) para la adquisición de Bitcoin es realizar una actividad que posteriormente será pagada en esta criptomoneda, lo que puede resultar interesante pero riesgoso, dadas las circunstancias de volatilidad y la incertidumbre en la aceptación por parte de algunos establecimientos.

También es importante advertir que existen otras formas alternativas de adquirir Bitcoins y se asemejan a algunos canales convencionales del dinero físico, como son los cajeros electrónicos, tarjetas prepago y las casas de compraventa descentralizadas.

Por todo lo anterior, desde la relación liquidez-riesgo-rentabilidad, ¿Es recomendable incluir el Bitcoin dentro de un portafolio de inversiones para mejorar su eficiencia? Por ello, el objetivo de esta investigación es analizar la relación liquidez riesgo-rentabilidad- de un portafolio de inversiones con monedas latinoamericanas diversificado con Bitcoins, para contribuir a mejorar su desempeño a través del modelo de varianza mínima y la ratio de Black-Litterman, en un horizonte temporal de 24 meses.

Este artículo derivado de investigación está compuesto por cuatro acápites: Inicialmente, en la introducción, se describieron los usos, la forma cómo opera y las ventajas y desventajas de la criptomoneda. Seguidamente, en el marco teórico se expone los conceptos de la teoría de portafolios de Harry Markowitz y algunos *performance*s utilizados para evaluar su desempeño. En la tercera parte, se define la metodología utilizada para la optimización del portafolio y finalmen-

te, los resultados indican sí mejora el desempeño del portafolio de monedas latinoamericanas diversificadas con Bitcoin.

La revisión de la literatura sugiere que aún es incipiente los análisis económicos relacionados con el Bitcoin. La tabla 1, menciona las posturas de los autores más representativos de esta criptomoneda.

Tabla 1. Revisión de la literatura del Bitcoin

País	*Concepto*	*Fuente*
Estados Unidos	El uso del Bitcoin es limitado porque existe un numero importantes de inversionistas que están fuera del mundo informático y criptográfico	(Lee T. B., 2013)
Estados Unidos	El número y el valor de Bitcoins creados hasta ahora han sido bastante pequeños en relación con el tamaño de la economía global. En un posible escenario el Bitcoin podría formar la base de un nuevo sistema monetario. Es un retroceso a la época del oro, el dinero no se basará en la moneda legal y los bancos centrales estarán limitados en sus emisiones	(Velde, 2013)
Estados Unidos	El atractivo de los Bitcoins para los consumidores y las entidades comerciales podría mejorarse proporcionando mayor claridad sobre las cuestiones regulatorias, tanto en Estados Unidos como en la Unión Europea	(Jacobs, 2011)
Estados Unidos	Bitcoin tiene ventajas competitivas en los micro pagos porque su unidad es divisible ocho decimales. Además es competitivo en el mundo de las operaciones en línea porque no está vinculado a ningún emisor en particular como los créditos de Facebook, los dólares de Linden y el oro de World of Warkraft (WoW), controlados por Facebook, Second Life y Blizzard Entertainment, respectivamente. Sin embargo, Bitcoin también es vulnerable a la aparición de nuevas monedas virtuales por las barreras de entrada y costos iniciales extremadamente bajos o también a una crisis de autoridad causada por los líderes del Bitcoin	(Grinberg, 2011)

Fuente: elaboración propia

El marco teórico que soporta la investigación se fundamenta en dos aspectos: el portafolio de varianza mínima y los *performances* de los portafolios (Sharpe y Sortino). Inicialmente, La selección del portafolio (Markowitz, 1952) es conocido como el modelo de ¨media-varianza¨ o ¨portafolio de varianza minima¨, dado que se basa en la esperanza matemática y la desviación típica de la variable aleatoria de la rentabilidad y para su comprensión es necesario considerar los siguientes supuestos:

1. La amplitud del horizonte temporal de la inversión es única.

2. La rentabilidad de los activos es una variable aleatoria con una distribución de probabilidad conocida.

3. La media y la desviación típica de la variable aleatoria de la rentabilidad constituyen el rendimiento esperado y el riesgo que asume el inversionista.
4. Las decisiones de los inversionistas están en función del riesgo y la rentabilidad.
5. Los inversionistas tienen un comportamiento racional.
6. No hay impuestos, ni inflación. No se consideran los costos de transacción.
7. Es posible comprar cualquier fracción del activo

Respecto a los P*erformance* de los portafolios de inversión, Moreno y Olmeda (2003) los definen como una operación matemática que permiten valorar los resultados de los activos financieros en términos de la relación riesgo-rentabilidad. Uno de los más utilizados es Ratio de Sharpe (RS), que se calcula como la diferencia entre la rentabilidad anualizada y la tasa libre de riesgo, dividido entre el riesgo (Sharpe, William, 1966), como lo define la siguiente ecuación.

Ecuación 1. Ratio de Sharpe

$$RS = \frac{\left(R_p - R_f\right)}{\sigma_p}$$

Donde,

R_p = Rentabilidad del portafolio

R_f = Tasa libre de riesgo

σ_p = Riesgo del portafolio

Para evaluar el desempeño de portafolios es posible tomar como referente la rentabilidad del índice accionario, lo que indica su rentabilidad marginal respecto al índice *benchmark*. Mientras mayor sea su valor, indica que el portafolio ha generado mayores rendimientos sin asumir muchos riesgos; mientras que, el valor negativo indica que la rentabilidad del portafolio está por debajo del mercado (índice de referencia).

Otro indicador de este grupo corresponde al Ratio de Sortino (RSo), se trata de una medida de comportamiento absoluta. Presenta la peculiaridad de que

permite introducir un concepto típico del análisis *shortfall risk*, como es el rendimiento neto objetivo o umbral explícito de pérdida. (Lopez de Prado & Illera, 2013), como lo muestra la siguiente ecuación.

Ecuación 2. Ratio de sortino

$$RSo = \frac{R_p - R_f}{d}$$

Donde:

Rp = Rentabilidad media de la cartera

Rf = Rentabilidad media de una cartera de activos libres de riesgo

d = Desviación estándar de los rendimientos negativos (*downside risk*)

1. METODOLOGÍA

La investigación es de tipo correlacional, dado que su propósito es determinar si un inversionista puede mejorar la rentabilidad de un portafolio en monedas latinoamericanas al diversificar con Bitcoins. Según (Sampieri, Fernandez, & Baptista, 2010) este tipo de investigaciones tienen como fin conocer la relación o grado de asociación que existen entre dos o más categorías o variables en un contexto particular.

DEFINICIÓN DE VARIABLES		
Nombre	*Símbolo*	*Tipo*
Riesgo	σ	Dependiente
Rentabilidad	R	Dependiente
Bitcoin	BTC	Independiente
Peso Chileno	CLP	Independiente
Peso Colombiano	COP	Independiente
Peso Argentino	ARS	Independiente
Real Brasilero	BRL	Independiente
Peso Mexicano	MXN	Independiente
Nuevo sol peruano	PEN	Independiente

Fuente: elaboración propia

Para optimizar la relación riesgo-rentabilidad se tomaron las cotizaciones históricas del Bitcoin y las monedas oficiales de México, Colombia, Perú, Brasil, Chile y Argentina, entre el 1 de junio de 2015 y 30 de diciembre de 2016; estos fueron tomados de bitcoincharts.com y oanda.com, respectivamente.

Cálculo de las rentabilidades

Para el cálculo de las rentabilidades de cada moneda se utilizó la rentabilidad continua, según la ecuación 1. Esta fórmula de cálculo se considera más aproximada cuando los activos financieros cambian de precio diariamente, como es el caso de las divisas y el BTC.

Ecuación 3. Rendimiento continúo

$$R_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$$

Donde,

R_t: Rentabilidad del título

P_t: Cotización del activo financiero al final del periodo

P_{t-1}: Cotización del activo financiero al inicio del periodo

Para el cálculo de la rentabilidad del portafolio se utilizó la siguiente fórmula:

Ecuación 4. Rentabilidad del portafolio

$$r_p = \sum_{i=1}^{N} X_i r_i$$

Donde,

r_p = rendimiento esperado del portafolio

X_i = Proporción del valor inicial del portafolio invertido en el título i

r_i = rendimiento esperado del título i

Cálculo del riesgo

Respecto al riesgo o volatilidad de las monedas, entendida como la diferencia entre la rentabilidad real y esperada por el inversionista, se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 5. Riesgo de un título

$$\sigma = \sqrt{\left[\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^{n} \left(r_i - r\right)^2\right]}$$

Donde:

σ = Desviación Estándar o volatilidad del título

r: rendimiento esperado del título i

n: Número de sesiones en un año. Para datos diarios N = 252.

El riesgo del portafolio se calculó a partir de las volatilidades individuales de los títulos, sus covarianzas y las ponderaciones de los mismos (Gordon, Sharpe, & Bailey, 2003) y considera cómo varía los rendimientos entre sí, según lo muestra la siguiente ecuación:

Ecuación 6. Riesgo del portafolio

$$\sigma_p = \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} X_i X_j \sigma_{ij}\right]^{1/2}$$

Donde:

σ_p = riesgo del portafolio

σ_{ij} = covarianza de los rendimientos entre el valor *i* y el valor *j*.

1.1 Optimización de los modelos

Con el propósito de mejorar las condiciones iniciales descritas anteriormente, se procedió optimizar, con el objetivo de alcanzar el máximo rendimiento, asumiendo un riesgo del 9% anual. Para ello, se utilizó (Markowitz, 1952), conocido como el modelo de media-varianza, dado que se basa en la esperanza matemática de la rentabilidad y la desviación típica. La siguiente expresión matemática define el modelo.

Ecuación 7. Maximización de la rentabilidad

$$\text{Max Rentab} = \sum_{i}\sum_{j} X_i X_j \sigma_{ij}$$

$$s.a.\ \ E_c = \sum_{i}^{N} X_i E_i$$

$$X_1 + \ldots + X_N = 1$$

$$X_1 + \ldots + X_N \geq 0$$

Donde,

Xi = peso de cada valor en la cartera C

Ei = esperanza del rendimiento del título i o de la cartera C

Ratios

Para evaluar el desempeño del portafolio, respecto al mercado se utilizaron dos ratios: Sharp y Sortino. El primero, permite calcular su rentabilidad marginal, comparado con el índice benchmark, a través de la siguiente ecuación:

Ecuación 8. Ratio de Sortino

$$RS = \frac{\left(R_p - R_f\right)}{\sigma_p}$$

Donde,

R_p = Rentabilidad del portafolio

R_f = Tasa libre de riesgo

σ_p = Riesgo del portafolio

El índice *benchmark* que se utilizó como referencia fue el B*loomberg* D*ollar* S*pot* I*ndex*[3]

Para evaluar el desempeño de portafolios es posible tomar como referente la rentabilidad del índice accionario, lo que indica su rentabilidad marginal respecto al índice *benchmark*. Mientras mayor sea su valor, indica que el portafolio ha generado mayores rendimientos sin asumir muchos riesgos; mientras que, el valor negativo indica que la rentabilidad del portafolio está por debajo del mercado (índice de referencia).

[3] Indíce creado por Bloomberg, que representa una canasta de 10 monedas frente al dólar americano. Está conformada por las monedas de países emergentes y mercados más líquidos, con los que Estados Unidos tiene un mayor flujo comercial.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 Portafolio sin Bitcoin

El cálculo de las rentabilidades muestra una apreciación generalizada del dólar frente a las monedas latinoamericanas, explicada por la caída de los precios internacionales de las materias primas latinoamericanas, el aumento de tasas de interés por parte de la Reserva Federal de los Estados Unidos y el Banco Central Europeo, lo que ocasionó un retorno cuantioso de inversión de estos países hacia las principales potencias económicas. La siguiente tabla muestra el rendimiento de los diez primeros días para los activos considerados en el portafolio.

Tabla 2. Cálculo de rentabilidades

Fecha	USD/CLP	USD/COP	USD/ARS	USD/BRL	USD/MXN	USD/PEN
2/06/2015	0,100%	–0,914%	–0,009%	–0,705%	0,214%	–0,192%
3/06/2015	0,540%	0,453%	–0,021%	–0,923%	0,023%	–0,729%
4/06/2015	0,194%	0,044%	0,043%	0,274%	0,489%	0,089%
5/06/2015	1,245%	0,000%	0,098%	0,282%	0,432%	1,202%
6/06/2015	0,080%	3,754%	0,171%	–0,158%	0,689%	1,091%
7/06/2015	0,002%	0,000%	0,035%	0,000%	0,000%	–0,621%
8/06/2015	–0,596%	0,000%	–0,028%	–0,301%	–0,115%	–0,465%
9/06/2015	–1,025%	–1,434%	–0,080%	–0,798%	–0,566%	–1,043%
10/06/2015	0,015%	–1,705%	0,014%	–0,417%	–0,631%	0,601%
11/06/2015	0,810%	–0,735%	0,052%	0,894%	–0,335%	–0,194%

Fuente: elaboración propia

El promedio de la devaluación de las monedas de América Latina supera el 35% anual. Dentro del ranking, los más afectados son Argentina, Brasil y Colombia, cuyas divisas se desvalorizaron 59,29%, 59% y 39,59%, respectivamente. Varios acontecimientos han incidido en el comportamiento de las monedas regionales. En primer lugar, la caída en el precio del petróleo contribuye a la disminución de los dólares que entran a estos países y como consecuencia las divisas latinoamericanas se devalúan. Con esto, el crecimiento del PIB y las importaciones serían las más impactadas, pues dada la correlación de los ingresos con el comportamiento de los precios del crudo, el dinamismo de las economías de países con dependencia alta a las materias primas se ha desacelerado. En segundo lugar, la alta volatilidad experimentada por los mercados globales, a causa de

los temores sobre la economía china y la sobreoferta de crudo estimulada por Irán, ha sido otra de las razones que han presionado al alza los tipos de cambio. La aversión al riesgo en el mundo hace que los inversionistas busquen activos seguros, mientras que activos riesgosos como las monedas emergentes están perdiendo valor. La tercera causa de la devaluación de las divisas de la región viene de la mano del alza de 25 puntos básicos las tasas de la FED en 2015, que obligó a los bancos a subir las tasas de interés en los créditos para evitar la migración de los capitales de inversión.

Adicional a todo lo expuesto, los mercados financieros internacionales iniciaron 2016 con una volatilidad marcada. En el Reino Unido, se votó a favor de la salida del país de la Unión Europea (el llamado brexit), lo que contribuye a aumentar la volatilidad financiera y la incertidumbre sobre el crecimiento económico. En efecto, la mayor aversión al riesgo en la economía mundial conlleva a reducir la disponibilidad de financiamiento para los mercados emergentes, incluida la región de América Latina y el Caribe. (CEPAL, 2016)

La siguiente tabla consolida los resultados de riesgo y rentabilidad expresados en datos diarios y posteriormente anualizados. Para el cálculo del riesgo del portafolio se tomaron aleatoriamente las ponderaciones para cada divisa y luego, en el proceso de optimización se encontraron los valores ideales para alcanzar el máximo rendimiento para un nivel de riesgo dado. Para el cálculo inicial de la rentabilidad media y la volatilidad del portafolio se tomaron valores aleatorios para las ponderaciones.

Tabla 3. Rentabilidades y volatilidades medias sin Bitcoin

	USD/BTC	USD/CLP	USD/COP	USD/ARS	USD/BRL	USD/MXN	USD/PEN
Media diaria	–0,00314061	9,9604E–05	0,00018056	0,00079905	3,0731E–05	0,00026351	5,8121E–05
Media anual	–54,68%	2,54%	4,66%	22,31%	0,78%	6,87%	1,48%
Volatilidad diaria	0,02526527	0,00794705	0,0104687	0,01257092	0,00799593	0,00630379	0,00852825
Volatilidad anual	40,11%	12,62%	16,62%	19,96%	12,69%	10,01%	13,54%
Ponderación		20%	20%	15%	20%	10%	15%

Fuente: elaboración propia

Los resultados de la tabla anterior muestran que, en entre el primero de enero de 2015 y 30 de diciembre de 2016, la moneda argentina fue la más depreciada

con 22,31% anual, seguida por el peso mexicano (6,87%) y el colombiano (4,66%). Respecto a la volatilidad anual, el peso argentino y colombiano, seguido del real brasilero se destacan como las más riesgosas con el 19,96%, 16,62% y 12,69% respectivamente. Al margen, se aplicó la ecuación 4 para calcular la matriz de varianzas y covarianzas cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4. Matriz de varianzas y covarianzas sin Bitcoin

MATRIZ DE VARIANZAS Y COVARIANZAS						
	USD/CLP	USD/COP	USD/ARS	USD/BRL	USD/MXN	USD/PEN
USD/CLP	6,31556E–05	4,29236E–05	–1,20081E–08	1,16024E–05	1,05797E–05	2,46006E–05
USD/COP	4,29236E–05	0,000109594	1,56075E–06	1,70672E–05	1,15175E–05	4,10123E–05
USD/ARS	–1,2008E–08	1,56075E–06	0,000158028	3,1572E–06	1,42204E–06	2,2095E–06
USD/BRL	1,16024E–05	1,70672E–05	3,1572E–06	6,39349E–05	2,05923E–05	6,45089E–06
USD/MXN	1,05797E–05	1,15175E–05	1,42204E–06	2,05923E–05	3,97378E–05	3,60335E–06
USD/PEN	2,46006E–05	4,10123E–05	2,2095E–06	6,45089E–06	3,60335E–06	7,2731E–05

Fuente: elaboración propia

El producto matricial de la tabla anterior y las ponderaciones iniciales, sumado a la aplicación de las ecuaciones anteriores, permite obtener un resultado de 5,85% anual para la rentabilidad y 8,30% para el riesgo.

2.1 Portafolio con Bitcoin

A continuación, se describen los resultados correspondientes a un portafolio que incluye inversiones en Bitcoin, con una distribución aleatoria inicial como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla 5. Rentabilidades y volatilidades medias con Bitcoin

	USD/BTC	USD/CLP	USD/COP	USD/ARS	USD/BRL	USD/MXN	USD/PEN
Media diaria	–0,00314061	9,9604E–05	0,00018056	0,00079905	3,0731E–05	0,00026351	5,8121E–05
Media anual	–54,68%	2,54%	4,66%	22,31%	0,78%	6,87%	1,48%
Volatilidad diaria	0,02526527	0,00794705	0,0104687	0,01257092	0,00799593	0,00630379	0,00852825
Volatilidad anual	40,11%	12,62%	16,62%	19,96%	12,69%	10,01%	13,54%
Ponderación	10%	4%	6%	25%	10%	40%	5%

Fuente: elaboración propia

Los resultados indican un rendimiento negativo del 54,68% anual del Bitcoin frente al dólar entre 2015 y 2016. Las razones principales que llevaron a estos resultados fueron, en primer lugar, la falta de consenso en el debate del aumento del tamaño de los bloques y su efecto en el precio como factor bajista. La escalabilidad del Bitcoin es un tema que preocupa a todos los actores de la industria y el debate sobre el aumento del tamaño de los bloques se ha intensificado. Si finalmente no se llega a un consenso sobre este tema, las consecuencias sobre la credibilidad e imagen de Bitcoin serán graves y, como consecuencia de ello, su precio podría verse afectado a la baja. El segundo hecho relevante sucedió por las ventas de Bitcoins incautados por gobiernos. En 2015, BTC144.000 incautados a S*ilk* R*oad* por el gobierno estadounidense. El mismo año, el gobierno local de Victoria, Australia, anunciaba que en los próximos meses sacaría a subasta los 24.000 Bitcoins (casi 10 millones de dólares americados al momento) confiscados a un narcotraficante. Y por último, la devolución de 200.000 Bitcoins de Mt.Gox a sus propietarios (casi 83 millones de dólares americanos), que serán devueltos a sus dueños. En el momento en que esto suceda, el precio del Bitcoin tendrá tendencia a la baja. (OroyFinanzas.com, 2015)

La siguiente tabla muestra la matriz de varianzas y covarianzas utilizada para el cálculo del riesgo del portafolio con BTC.

Tabla 6. Matriz de varianzas y covarianzas con Bitcoin

MATRIZ DE VARIANZAS Y COVARIANZAS							
	USD/BTC	USD/CLP	USD/COP	USD/ARS	USD/BRL	USD/MXN	USD/PEN
USD/BTC	0,000638334	2,13832E-06	9,22092E-06	-1,21685E-05	-8,66206E-06	-6,29156E-06	3,6186E-06
USD/CLP	2,13832E-06	6,31556E-05	4,29236E-05	-1,20081E-08	1,16024E-05	1,05797E-05	2,46006E-05
USD/COP	9,22092E-06	4,29236E-05	0,000109594	1,56075E-06	1,70672E-05	1,15175E-05	4,10123E-05
USD/ARS	-1,21685E-05	-1,2008E-08	1,56075E-06	0,000158028	3,1572E-06	1,42204E-06	2,2095E-06
USD/BRL	-8,66206E-06	1,16024E-05	1,70672E-05	3,1572E-06	6,39349E-05	2,05923E-05	6,45089E-06
USD/MXN	-6,29156E-06	1,05797E-05	1,15175E-05	1,42204E-06	2,05923E-05	3,97378E-05	3,60335E-06
USD/PEN	3,6186E-06	2,46006E-05	4,10123E-05	2,2095E-06	6,45089E-06	3,60335E-06	7,2731E-05

Fuente: elaboración propia

Con las ponderaciones aleatorias iniciales y el producto matricial de la tabla anterior, se procedió a calcular la rentabilidad y el riesgo del portafolio, cuyos resultados son 3,38% y 8,23% anual respectivamente.

A continuación, se desarrolla el modelo matemático de Markowitz para la optimización del portafolio.

1. Definición de Variables

X_{CLP} Conatidad de USD invertidos en Pesos Chilenos

X_{COP} Conatidad de USD invertidos en Pesos Colombianos

X_{ARS} Conatidad de USD invertidos en Pesos Argentinos

X_{BRL} Conatidad de USD invertidos en Reales Brasileros

X_{MXM} Conatidad de USD invertidos en Pesos Mexicanos

X_{PEN} Conatidad de USD invertidos en Nuevo Soles Peruanos

2. Función Objetivo: Maximizar Rendimiento:

$$2{,}54\%X_{CLP} + 4{,}66\%X_{COP} + 22{,}31\%X_{ARS} + 0{,}78\%X_{BRL} + 6{,}87\%X_{MXM} + 1{,}48\%X_{PEN}$$

Sujeto a:

$$X_{CLP} + X_{COP} + X_{ARS} + X_{BRL} + X_{MXM} + X_{PEN} = 1$$

$$\sigma^2 = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} X_i X_j \sigma_{ij}} \leq 13\%$$

$$X_{CLP}, X_{COP}, X_{ARS}, X_{BRL}, X_{MXM}, X_{PEN} \geq 0$$

La función objetivo es maximizar la rentabilidad establecida inicialmente en 5,85% anual, las celdas cambiantes son las cantidades invertidas en cada una de las divisas (ponderaciones) y las restricciones son las propias del modelo de Markowitz: se invierte la totalidad del portafolio y se asume un riesgo dado, que se definió en un valor inferior o igual al 13% anual; además de la restricción de no negatividad. La siguiente tabla muestra los resultados de la optimización del portafolio sin Bitcoin.

Tabla 7. Resultados de la optimización sin Bitcoin

	USD/CLP	USD/COP	USD/ARS	USD/BRL	USD/MXN	USD/PEN	TOTAL
F.O.	2,54%	4,66%	22,31%	0,78%	6,87%	1,48%	11,63%
Sujeto A							
Cantidad a invertir	5%	6%	35%	0%	50%	5%	100%
Riesgo	9,00%						

Fuente: elaboración propia

Los resultados anteriores indican que, si se asume un riesgo de 13% anual, el máximo rendimiento alcanzado con divisas latinoamericanas sería 11,63% anual. Para ello, el portafolio se debería distribuir de la siguiente manera:

- 5% en pesos chilenos
- 6% en pesos colombianos
- 35% en pesos argentinos
- 0% en reales brasileros
- 50% en pesos mexicanos
- 5% en nuevos soles peruanos.

A continuación, se describe los resultados de la optimización del portafolio con Bitcoin.

Tabla 8. Resultados de la optimización con Bitcoin

OPTIMIZACIÓN								
USD/BTC		USD/CLP	USD/COP	USD/ARS	USD/BRL	USD/MXN	USD/PEN	TOTAL
F.O.	-54,68%	2,54%	4,66%	22,31%	0,78%	6,87%	1,48%	10,12%
Sujeto A								
Cantidad a invertir	10%	0%	0%	61%	0%	29%	0%	100%
Riesgo		13,00%						

Fuente: elaboración propia

La optimización del portafolio con Bitcoin indica que al asumir el 13% de riesgo, este alcanzaría un rendimiento del 10,12% anual. Para alcanzar estos resultados, es necesario ponderar el portafolio con la siguiente distribución:

- 10% en Bitcoin
- 0% en pesos chilenos
- 0% en pesos colombianos
- 61% en pesos argentinos
- 0% en reales brasileros
- 29% en pesos mexicanos
- 0% en nuevos soles peruanos.

En conclusión, la incorporación del Bitcoin en el portafolio no mejora la relación riesgo-rentabilidad, dado que la situación inicial permite alcanzar un rendimiento óptimo del 11,63% con un riesgo del 9%, a pesar de un límite máximo del 13%. Al incorporar los Bitcoin en el portafolio la relación baja a un rendimiento del 10,12% anual, asumiendo el límite máximo del 13% de riesgo. Lo que quiere decir, un portafolio menos rentable y más riesgoso

De otro lado, la tabla 9 presenta los resultados de las ratios de Sharpe y Sortino, para analizar con otro enfoque dicha relación.

Tabla 9. Ratios de desempeño de los portafolios

RATIO DE SHARPE		
	Portafolio sin Bitcoin	Portafolio con Bitcoin
Rentabilidad	11,63%	10,12%
Riesgo	9%	13%
Rentabilidad del índice BBDXY	9,73%	9,73%
Ratio de Sharpe	mui	01)300
RATIC	DDE SORTINO Portafolio sin Bitcoin	Portafolio con Bitcoin
Riesgo de rentabilidades negativas	0.0037	(MHH5
Ratio de Sortino	54969	0^637

Fuente: elaboración propia

Los resultados de la tabla anterior, confirman la conveniencia del portafolio sin Bitcoin, según las cifras del Ratio de Sharpe al obtener un mayor retorno con una menor volatilidad. Estos resultados nos indican que la incorporación del Bitcoin en el portafolio empeora la rentabilidad al reducirla a 10,12% y aumenta la volatilidad de la cartera al subirla de 9,73%. En el caso del Ratio de Sortino, el portafolio sin Bitcoin indica que se espera una rentabilidad equivalente a 5,19 veces su riesgo considerando sólo las variaciones negativas, mientras que con Bitcoin el retorno estaría por debajo de su riesgo.

3. CONCLUSIONES

En los análisis realizados para diversificar un portafolio que contenga divisas latinoamericanas y posteriormente diversificado con Bitcoins, en un horizonte temporal de 24 meses, se infiere que no mejora la relación riesgo-rentabilidad, dado que la situación inicial permite alcanzar un rendimiento óptimo del 11,63% y un riesgo del 9%, contra 10,12% y 13% respectivamente. Lo que quiere decir, un portafolio menos rentable y más riesgoso, tal y como lo confirman las ratios de Sharpe y Sortino.

El análisis de los fundamentales atribuye este comportamiento a varios hechos económicos: una apreciación generalizada del dólar frente a las monedas latinoamericanas, explicada por la caída de los precios internacionales de las materias primas que se producen en América Latina. Al margen, el aumento de tasas de interés por parte de la Reserva Federal de los Estados Unidos y el Banco Central Europeo ocasionaron un retorno cuantioso de inversión de estos países hacia las principales potencias económicas.

En el mismo periodo, el rendimiento anual del Bitcoin fue negativo frente al dólar, entre otras razones, el consenso en el debate del aumento del tamaño de los bloques, el hecho relevante sucedió por las ventas de Bitcoins incautados por gobiernos. Y por último, la devolución de 200.000 Bitcoins de Mt.Gox a sus propietarios y su efecto en el precio.

A pesar de todas las ventajas que tiene la tecnología B*lockchain*, ésta aún se encuentra inmadura, adicionalmente, no existe un marco jurídico que la proteja, lo que potencializa los riesgos de invertir en Bitcoins. Finalmente, otro de los riesgos asociados es el anonimato, que se traduce en falta de rendición de cuenta a las entidades legalmente constituidas para regular este tipo de actividad, lo que incentiva las transacciones ilícitas.

REFERENCIAS

Banco Mundial. (20 de Diciembre de 2014). *www.bancomundial.org*. Obtenido de http://www.bancomundial.org/es/programs/globalfindex/infographics/infographic-global--findex-2014-financial-inclusion

Blockchain. (7 de diciembre de 2018). *www.Blockchain.com*. Obtenido de https://www.blockchain.com/es/charts/n-transactions

Brustein, J. (2 de octubre de 2013). *The end of the internet´s Biggest Black Market is good for Bitcoin*. Obtenido de www.businessweek.com/articles/2013-10-02/silk-roads-demise-sinks--bitcoin-value-and-savesbitcoins-reputation

CEPAL. (2016). *Estudio Económico de América Latina y el Caribe*, 2016. Santiago: LC/G.2684-P.

Coinmap. (8 de Mayo de 2017). *www.coinmap.org*. Recuperado el Mayo de 2017, de https://coinmap.org/#/world/10.14193169/-53.43750000/3

Goldberg, A. (2012). The Dark Web: Guns and Drugs for Sale on the Internet's Secret Black Market. *Hastings Science andTechnology Law Journal*, 4, 159-207.

Gordon, A., Sharpe, W., & Bailey, J. (2003). *Fundamentos de inversiones* (Tercera ed.). México: Pearson Educación. Recuperado el 24 de Octubre de 2016

Grinberg, R. (2011). Bitcoin: An Innovative Alternative Digital Currency. *Hastings Science and Technology Law Journal*, 4, 159-207.

Jacobs, E. (2011). Bitcoin: A bit Too Far? *Journal of internet Banking and Commerce*, 16(2), 1-4.

Lee, T. B. (2013). Four reasons Bitcoin is worth Studdyng. *Forbes*. Obtenido de Lee, Timothy B. 2013. "Four Reasons Bitcoin Is

Lee, W. (2000). *Theory and Methodology of Tactical Asset Allocation*.

Lopez de Prado, M. M., & Illera, C. R. (2013). *Invertir en Herge Funds*. MADRID: Diaz de Santos S.A.

Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of finance*, 7(1), 77-91. Recuperado el 22 de noviembre de 2016, de http://links.jstor.org/sici?sici=0022-1082%28195203%297%3A1%3C77%3APS%3E2.0.CO%3B2-1

Marquez, S. (2016). *Bitcoin. Guía completa de la moneda del futuro* (Primera ed.). Bogotá: Ediciones de la U. Recuperado el 14 de Marzo de 2017

Modigliani, F., & Modigliani, L. (1997). Risk-Adjusted Performance. *Institucional Investors Journals*, 45. Recuperado el 2016 de noviembre de 20, de http://www.iijournals.com/doi/full/10.3905/jpm.23.2.45

Moreno, D., & Olmeda, I. (2003). Empleo de medidas de performance en la evluación de fondos de inversión. *Bolsa de Madrid*, 58.

Nakamoto, S. (24 de Mayo de 2009). *www.bitcoin.org*. Obtenido de Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System: https://bitcoin.org/bitcoin.pdf

OroyFinanzas.com. (25 de Diciembre de 2015). O*ro y Finanzas*. Obtenido de Oro y Finanzas: www.oroyfinanzas.com

Rick, J. (15 de Agosto de 2014). Bitcin ATM Dispenses Cash for Cryptocurrency. USA TO DAY. Obtenido de www.usatoday.com/story/news/nation/2014/02/20/bitcoin-atmaustin/5643119

Sampieri, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2010). M*etodología de la investigación* (Quinta ed.). México: Mc Graw Hill.

Sharpe, William. (1966). The Sharpe Ratio. J*ournal of Portfolio Management*, 2(1), 63-75. Recuperado el 23 de Noviembre de 2016

Velde, F. R. (2013). Bitcoin: A Primer. F*ed Letter*, 317. Obtenido de www.chicagofed.org/webpages/publications/

Williams, M. T. (2014). Bitcoin Is Not Yet Ready for the Real World. T*he New York Times*. Obtenido de New York Times, dealbook.nytimes. com/2014/01/24/bitcoin-is-not-yet-ready-for-the--realworld/? _ php=trueand _ type=blogsand _ r=0.