



Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ciencias Económicas
Escuela de Estudios de Posgrado



Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ciencias Económicas
Escuela de Estudios de Posgrado

**MAESTRÍA EN GESTIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA
DE RIESGOS**

TRABAJO FINAL DE MAESTRÍA

Criptomonedas y diversificación en
carteras eficientes

AUTOR: MATÍAS DAMIÁN SCHROPP

DIRECTOR: MAURO SPERANZA

DICIEMBRE DE 2020



Resumen

En el presente trabajo se analiza si la incorporación de criptomonedas en una determinada proporción a un portafolio de inversión permite disminuir el riesgo de este. Para ello, en una primera instancia se desarrollan los conceptos de *blockchain* y una visión general de las criptomonedas existentes, sus principales características y sus correlaciones con diversos activos como S&P, el petróleo y el oro. Luego, se trabaja con diferentes herramientas y métricas propias del análisis del riesgo de mercado como el Valor a riesgo (VaR), *Expected Shortfall* y pruebas de estrés para poder comprender con mayor profundidad el riesgo asociado a la cartera. Siguiendo este objetivo, se utilizan determinadas carteras conformadas por fondos comunes de inversión y se obtiene la cartera de mínima varianza y aquella que optimiza el ratio de Sharpe, analizando si es beneficiosa la incorporación de criptomonedas.

Palabras Claves: Criptomonedas, Bitcoin, VaR, *Expected Shortfall*, Pruebas de Estrés, Riesgos financieros, Evaluación de riesgos, Riesgo de Mercado, volatilidades.



Índice

Resumen	2
Introducción	5
Capítulo I: Blockchain y Criptomonedas – El Caso Bitcoin	8
1.1 Blockchain y criptomonedas	8
1.1.1 – Blockchain	8
1.1.2 – Bitcoin y criptomonedas	9
1.2 Protocolo Bitcoin	14
1.2.1 Características monetarias	15
1.2.2 Política monetaria	15
1.2.3 Minería	18
1.2.4 Ventajas y limitaciones	19
Capítulo II: Portfolio – Aspectos Teóricos	22
2.1 Riesgo de mercado	22
2.2 Carteras con dos activos de riesgo	24
2.3 Volatilidad	27
2.3.1 Principios básicos	27
2.3.2 Modelo de media móvil ponderada exponencialmente	28
2.3.3 Modelo GARCH	29
2.4 Valor a Riesgo	30
2.4.1 VaR Histórico	32
2.4.2 VaR por simulación histórica	32
2.4.3 VaR paramétrico	33
2.5 Expected Shortfall	34
2.6 Pruebas de Estrés	36
Capítulo III: Análisis de riesgo de carteras de títulos con incorporación de Bitcoin. ..	38
3.1 Resumen Estadístico	39
3.2 Volatilidades	41
3.3 Matriz de Varianzas y Covarianzas	41
3.4 Cartera de mínima varianza y ratio de sharpe	42
3.5 VaR y Expected Shortfall	47
3.6 Pruebas de Estrés	50
Capítulo IV: Conclusiones y Futuras Líneas de Investigación	55
Referencias Bibliográficas	57



Anexos.....	60
1. Fuente de recopilación de información.....	60
2. código R – Armado General	61
3. Código R - VaR y Expected Shortfall	63
4. Funciones Adicionales R	64
5. Simulación de cartera para Ratio de Sharpe - Python	65



Introducción

A lo largo del tiempo, los seres humanos se vieron en la necesidad de realizar intercambios entre ellos para poder adquirir diferentes productos y servicios. Para ello, utilizaron una diversa variedad de bienes tales como ganado, tabaco, telas, sales, gemas, alimentos, por otros bienes y servicios, los cuales eran considerados dinero. A medida que fueron avanzando las sociedades y el comercio, se realizó una migración de dinero físico a dinero acuñado, el cual es emitido por un organismo central como hoy en día es un banco central, pero en su momento fue un emperador, rey o inclusive la iglesia.

Actualmente estamos frente a la aparición de un nuevo tipo de moneda, la cual no es ni física ni se encuentra emitida por un organismo central. Es un dinero criptográfico o también conocida como criptomoneda. Estas criptomonedas no son controladas ni por individuos, ni gobiernos ni bancos o corporaciones, sino que su política monetaria se encuentra definida mediante un algoritmo y regulada por una red abierta de computadoras donde todos los actores son iguales y participan en el mismo protocolo. La primera criptomoneda en aparecer fue Bitcoin y es una criptomoneda inclusiva y democrática que existe puramente en internet y en la cual todas las personas tienen fácil acceso a esta nueva moneda. Todos los usuarios cuentan con la posibilidad de enviar y recibir dinero de una forma tan fácil como es enviar un correo electrónico o un mensaje en una red social. Sin embargo, no todo es tan sencillo para esta innovación, aún le queda un difícil camino por recorrer donde si bien la política monetaria descentralizada y la difícil manipulación de los registros de Bitcoin generaron una catarata de apoyos, proyectos y nuevas ideas, también es muy resistido por grandes industrias, y corporaciones al eliminar muchos de sus principales negocios como por ejemplo la intermediación financiera que realizan los bancos en busca de generar confianza entre las partes actoras. De igual manera, con el correr del tiempo es más frecuente la utilización de estas criptomonedas, las cuales sin lugar a duda vienen a revolucionar las finanzas y los negocios tal como los conocemos hoy. Es el caso de China, por ejemplo, cuyo banco central en el año 2017 creó un “Centro de investigaciones de criptomonedas”, la cual se dedica a investigar las distintas criptomonedas, su metodología y aplicación. En este país se está realizando un gran esfuerzo por adoptar la tecnología *blockchain* propulsado tanto por inversores privados como por el estado (Rivero, 2017). El rol de China en el ecosistema Bitcoin es de gran importancia debido a que una gran cantidad de centros de minado se



encuentran radicados en ese país por los bajos costos energéticos en que incurren (tema que se desarrolla en el capítulo I).

En lo que respecta a cotizaciones, estas monedas presentan una gran volatilidad donde los movimientos de precios son muy bruscos. Tal es el caso de Bitcoin, que comenzó con una cotización de USD 0,01 y alcanzó un máximo en el año 2017 de USD 19.497 para luego descender rápidamente y transitar por un canal de entre USD 5.000 y USD 13.000. Es por este motivo que la inversión en estas criptomonedas es considerada una inversión de muy alto riesgo por la gran volatilidad que estos activos financieros presentan desde su surgimiento. Con foco en la medición y gestión del riesgo de mercado, a lo largo de este trabajo se analiza si la incorporación de una determinada proporción de criptomonedas en una cartera de inversión conformada por títulos permite disminuir el riesgo a través de la diversificación. La hipótesis planteada respecto a esta incorporación es que la inclusión de criptomonedas es positiva para la disminución del riesgo de la cartera, y para su demostración, se trabaja con dos tipos de composición de carteras: una de mínima varianza, la cual indica que ninguna otra composición de activos podrá generar una volatilidad menor como combinación de los mismos activos de la que está compuesta, y otra que optimice el ratio de Sharpe (medida de rentabilidad ajustada por riesgo).

A partir de la problemática expuesta en los párrafos anteriores, se presenta en el primer capítulo el concepto de *blockchain* y se introduce el mercado de las criptomonedas y sus interrelaciones con los demás activos del mercado, analizando los movimientos de precios entre el Bitcoin y otros activos como el oro, el petróleo y el índice S&P. En este acápite aparece un tema de gran relevancia que es la presencia de altas volatilidades en estos nuevos instrumentos, es por ello que en el segundo apartado se presentan en forma teórica diferentes herramientas, modelos de volatilidad y métricas, tales como el Valor a Riesgo (VaR), *Expected Shortfall* (ES) y las pruebas de estrés, a fin de analizar si la incorporación de instrumentos tan volátiles a una cartera resulta beneficiosa. En el tercer capítulo se aplican los conceptos desarrollados previamente, a partir de la implementación de un portfolio con fondos comunes de inversión al que se incorporan criptomonedas, con el objetivo de obtener una cartera de mínima varianza y una cartera que optimice el ratio de Sharpe. Una vez obtenidas las carteras se realiza una evaluación acerca de la relación riesgo-rentabilidad de estas.



Finalmente se exponen las conclusiones del trabajo en función de los resultados del tercer capítulo y el potencial crecimiento que tienen las criptomonedas en los próximos años, así como futuras líneas de investigación como las prohibiciones y aceptaciones por parte de los gobiernos de estas monedas y el impacto del Covid-19 sobre estos activos y su contexto de desarrollo.



Capítulo I: Blockchain y Criptomonedas – El Caso Bitcoin

1.1 Blockchain y criptomonedas

1.1.1 – Blockchain

En el año 2008 el sistema financiero atravesaba por una de sus peores crisis producto del colapso de la burbuja inmobiliaria en Estados Unidos. En este mismo año, bajo el pseudónimo de Satoshi Nakamoto, se publicaba un protocolo¹ de un nuevo sistema de pagos electrónicos directo y entre iguales (*peer to peer* o P2P) que utilizaba una criptomoneda llamada Bitcoin, la cual no es emitida por ningún estado nacional. Este protocolo establece una serie de normas que garantiza la integridad de la información intercambiada entre miles de millones de ordenadores sin pasar por terceros y es el fundamento actual de un creciente número de registros globalmente distribuidos llamados cadenas de bloques o *blockchain*, las cuales registran las transacciones de criptomonedas realizadas.

Esta cadena de bloques se encuentra distribuida, es decir, se ejecuta en ordenadores que ofrecen voluntariamente personas de todo el mundo. Es pública (toda persona es capaz de verla e interactuar con ella porque reside en la red) y esta encriptada (utiliza claves públicas y privadas). De esta manera, cada operación realizada es comprobada, ordenada y almacenada en un bloque que se une al anterior, creando así una cadena. Esta estructura registra exactamente el momento de las transacciones y las almacena evitando que nadie pueda alterar su registro.

A fin de mantener su independencia e integridad, el protocolo de *blockchain* se rige por un conjunto de principios, siendo algunos de los más importantes:

- **Integridad en la red:** Se aplica un mecanismo de consenso, el cual evita que se genere un doble gasto dado que la red registra el momento en el que se hace la primera transacción en la que gastamos la unidad monetaria concreta y rechaza las demás transacciones.
- **Sistema Distribuido:** No existe una autoridad central, sino que el sistema se distribuye entre iguales.
- **Sistema de incentivos:** La combinación del sistema de consenso combinado con el sistema de premios a los mineros generan que los participantes tengan incentivos a trabajar correctamente y ser fiables.

¹ Nakamoto, S. (2008): “A peer-to-peer electronic cash system”



El mismo Banco Central europeo define a la *blockchain* como una “fuerza transformadora” donde ya en varias oportunidades el mismo Mario Draghi (quien presidió el Banco Central europeo hasta finales del 2019) destacó la adopción de la tecnología de contabilidad distribuida para potenciar la eficiencia de los servicios bancarios y mercantiles, entendiendo el importante impacto que tendría en los procesamientos de pagos y en las interrupciones en el provisionamiento del crédito bancario en los hogares y las empresas, incluyendo las más pequeñas. (Leal, 2017).

Adicionalmente la *blockchain* tiene aplicación en otros ámbitos de la economía y los negocios ya que posee una estructura de archivos adecuada para asegurar documentos y escritos de gran importancia y que logren tener valor legal, como llevar registros de títulos de propiedad, patentes, contratos, documentos relacionados a la identidad de las personas, diplomas, etc. (Ammous, 2016 p.3).

1.1.2 – Bitcoin y criptomonedas

El Bitcoin es el ejemplo más conocido y referente del mercado de criptomonedas, donde, tras un periodo de incertidumbre a partir del 2013, inició un importante crecimiento alcanzando un máximo en 2017 (19.497 BTC/USD). Sin embargo, con la aparición de nuevas criptomonedas (en la actualidad se estima que existen más de 5.000), el Bitcoin fue perdiendo su peso relativo en el conjunto.

Con el fin de ejemplificar lo antedicho, se presentan las 20 criptomonedas con mayor capitalización de mercado al 31/03/2020 y el monto acumulado de capitalización de las 80 criptomonedas con mayor presencia en el mercado que asciende a un valor estimado de USD 169.193.910.663.

Cuadro 1.1 – Visión de Mercado de las principales 100 Criptomonedas

Nombre	Ticker	Precio	Volumen en 24 h	Base Monetaria	Capitalizacion de Mercado
Bitcoin	BTC	6,140.29	28,237,380,154	18,293,550	112,327,720,423
Ethereum	ETH	129.28	8,840,601,264	110,298,138	14,256,445,902
XRP	XRP	0.17	2,123,114,964	43,906,191,900	7,583,035,868
Tether	USDT	1.00	34,266,251,713	4,288,917,905	4,288,505,754
Bitcoin Cash	BCH	211.99	2,296,906,164	18,357,077	3,891,602,809
Bitcoin SV	BSV	156.16	1,501,365,762	18,354,252	2,867,090,973
Litecoin	LTC	38.42	2,176,582,722	64,390,718	2,473,212,355
EOS	EOS	2.18	1,913,708,855	934,419,315	2,040,359,731
Binance Coin	BNB	11.89	195,146,473	151,257,936	1,798,579,786
OKB	OKB	4.10	183,557,293	282,838,291	1,157,740,428
Tezos	XTZ	1.55	84,459,156	705,222,195	1,093,153,121
LEO Token	LEO	1.02	8,419,968	981,275,153	999,408,673
Cardano	ADA	0.03	94,916,264	31,112,484,646	896,015,319
Monero	XMR	46.32	128,764,816	17,502,191	810,871,805
Stellar	XLM	0.04	252,210,205	20,284,516,327	804,890,497
ChainLink	LINK	2.10	180,440,691	364,409,569	766,788,192
Huobi Token	HT	3.20	148,742,664	233,370,545	747,021,508
TRON	TRX	0.01	981,969,324	66,140,232,427	738,836,666
USD Coin	USDC	1.00	672,070,704	695,073,526	695,130,356
Crypto.com Coin	CRO	0.04	19,433,192	14,231,050,228	609,428,236
Top 21-100 Monedas					8,348,072,261

Elaboración Propia – Datos: <https://www.coingecko.com/es/monedas/all>

El Bitcoin hoy en día es la principal criptomoneda con una partición del 66%, seguida por Ethereum con 8,4%

Gráfico 1.1 – Capitalización de criptomonedas



Elaboración Propia – Datos: <https://www.coingecko.com/es/monedas/all>

A partir de la información pública conocida de estos activos, sus volúmenes y los movimientos de sus respectivos precios, se presentan algunas estadísticas de las principales cuatro monedas de acuerdo a su capitalización de mercado (Bitcoin, Ethereum, Ripple, y Bitcoin Cash) y las grandes variaciones que las mismas sufrieron en un máximo de los últimos 2 años (calendario). A diferencia de los activos tradicionales que cuentan con 252 ruedas comerciales anuales en promedio, las criptomonedas cotizan los 365 días del año.

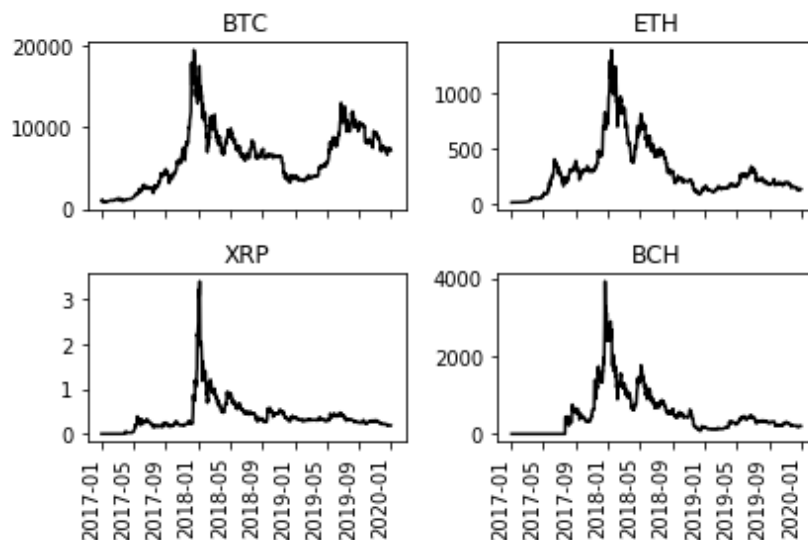
Cuadro 1.2 – Estadísticas de las principales criptomonedas

Estadísticas	BTC	ETH	XRP	BCH
Media 730 Días	7483.77	332.64	0.49	563.45
Media 365 días	7395.25	181.77	0.31	261.38
Desvío 730 Días	2548.48	262.62	0.38	497.39
Desvío 365 Días	2638.64	50.38	0.06	95.58
Máximo	19497.40	1396.42	3.38	3923.07
Mínimo	178.10	0.43	0.00	77.37

Elaboración Propia – Precios: Yahoo Finance

Resulta de interés, adicionalmente, la evolución gráfica de los precios de estos activos financieros desde el 2017 hasta el primer trimestre del 2020 (fecha de elaboración de este trabajo), motivo por el que se los expone a continuación.

Gráfico 1.2 – Evolución de precios de mercado de las principales criptomonedas



Elaboración Propia – Precios: Yahoo Finance

Resulta evidente que existe una alta correlación en los movimientos de dichos activos, con una rápida apreciación para comienzos del año 2018 y posterior caída. En el cuadro siguiente se presenta la matriz de correlaciones de estas criptomonedas.

Cuadro 1.3 – Correlaciones de las principales criptomonedas

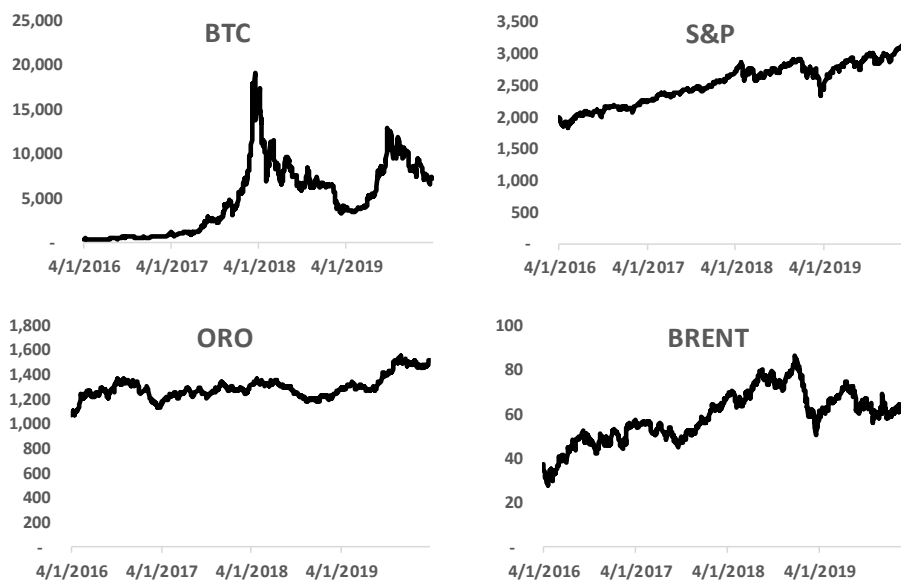
	BTC	ETH	XRP	BCH
BTC	1.0000	0.5839	0.5490	0.6633
ETH	0.5839	1.0000	0.8004	0.8802
XRP	0.5490	0.8004	1.0000	0.7810
BCH	0.6633	0.8802	0.7810	1.0000

Elaboración Propia – Precios: yahoo finance

Como podemos observar, tanto gráfica como analíticamente, existe una alta correlación entre los movimientos de precios de estos activos (todas positivas y superiores a 0.5).

Seguidamente se analizan y comparan las tendencias de precios del Bitcoin como representativos de las criptomonedas por su gran capitalización de mercado, con alguno de los activos más relevantes de la economía: el índice S&P, como una referencia de las acciones y empresas a nivel mundial, el precio del petróleo Brent, debido a su importancia en la economía y, finalmente el oro, como un activo histórico de resguardo en los momentos de crisis.

Gráfico 1.3 – Evolución de precios de mercado de los principales activos



Elaboración Propia – Precios: Yahoo Finance



Para el periodo analizado (2016-2019), se desprende de los gráficos comparativos que existe una tendencia creciente tanto para el índice de S&P, como para el Oro y el Brent, sin embargo, esto no ocurre con el Bitcoin, que alcanzó un máximo en diciembre de 2017 y luego disminuyó considerablemente.

A partir de lo anterior resulta de elevado interés entender como primera medida, la variabilidad que dichos instrumentos de interés macroeconómico tienen respectivamente:

Cuadro 1.4 – Volatilidad anual de las principales criptomonedas

MVCV	σ Anualizada
BTC	73.59%
S&P	12.88%
ORO	12.34%
BRENT	33.59%

Elaboración Propia – Precios: Yahoo Finance

Se logra apreciar que la mayor volatilidad se encuentra en el bitcoin con 73,59% seguido por el petróleo brent con 33.59%, el índice S&P con 12,88% y finalmente el oro como el activo con la menor variabilidad dentro de los analizados.

Para finalizar este análisis comparativo se incorpora la matriz de varianzas y covarianzas de los retornos diarios de cada activo, calculados a partir de las variaciones logarítmicas de los precios:

$$\text{retorno}_t = \ln(\text{precio}_t) - \ln(\text{precio}_{t-1}) \quad (1.1)$$

Cuadro 1.5 – Matriz de Varianzas y Covarianzas de los principales activos

MVCV	BTC	S&P	ORO	BRENT
BTC	0.00214884	0.00000472	0.00002248	-0.00000329
S&P	0.00000472	0.00006581	-0.00001135	0.00005625
ORO	0.00002248	-0.00001135	0.00006042	-0.00000105
BRENT	-0.00000329	0.00005625	-0.00000105	0.00044777

Elaboración Propia – Precios: Yahoo Finance



En la diagonal principal de esta matriz se encuentran las varianzas de los instrumentos mientras que en los nodos restantes se hallan las covarianzas de los mismos. En el capítulo siguiente se profundiza acerca de la noción del riesgo de mercado para los portafolios de inversión y como poder expresar y combinar estas medidas de volatilidad en riesgo monetario.

1.2 Protocolo Bitcoin

Cuando se piensa en el Bitcoin, no solo debe limitarse a la criptomoneda en sí, sino que no se puede dejar pasar que en su trasfondo se encuentra algo más grande que puede considerarse como la revolución más grande del siglo XXI hasta el momento: el protocolo. Este consiste en un conjunto de reglas que definen cómo se relacionan los participantes entre sí, cómo llegan a un consenso, cómo utilizar las claves públicas, privadas y las firmas de autenticación, cómo se realizan sus actualizaciones y con qué plazo, cuáles son los participantes que existen, cuáles son las remuneraciones a los mineros en el sistema y cómo será la emisión monetaria que tenga dicho protocolo, entre algunos de los elementos más importantes.

El protocolo Bitcoin fue el primero en su especie, surgió en el año 2009 y revolucionó la forma de realizar transacciones permitiendo que las mismas puedan ser realizadas sin la existencia de intermediarios, debido a que no existe la necesidad de confiar en la contraparte porque los operadores creen en la tecnología que los respalda. Esto elimina la participación de los bancos en dicho sistema, ya que estos tienen por objetivo generar confianza en las operaciones.

El protocolo ayuda a las personas a realizar transacciones, a intercambiar valores, para lo cual se vuelve necesaria la incorporación de una moneda dentro de este. Allí radica la existencia de una criptomoneda, en este caso Bitcoin, la cual es solo una característica del protocolo. Cada protocolo suele tener su propia criptomoneda, que permite la realización de transacciones, y demás operaciones. De este modo, debe tenerse presente que, cuando una persona confía e invierte en una criptomoneda, en realidad está apostando por el conjunto de reglas (protocolo) que tiene detrás y que representa una combinación de rigurosidad del código, velocidad de transaccionalidad, política de consensos, política monetaria, seguridad entre algunas de las características principales que definirán su éxito o su fracaso.



1.2.1 Características monetarias

Bitcoin reúne todas las características del dinero, siendo estas:

- Escasez: Alcanzará su base monetaria máxima en el año 2.140, donde ya no se emitirán más monedas
- Divisibilidad: Los Bitcoins pueden dividirse en subunidades denominadas bits, donde 1 Bitcoin equivale a 1.000.000 bits, por lo que la cantidad limitada de bitcoins no será un inconveniente.
- Durabilidad: Conserva su valor de cambio a lo largo del tiempo
- Fungibilidad: Cada unidad es indistinguible de las otras, siendo de las mismas cantidades y calidades.
- Transportable: Es de fácil portabilidad, en cualquier billetera virtual y de sencilla transaccionalidad.
- Homogeneidad: Cualquier unidad de bitcoin tiene exactamente el mismo valor que el resto de las unidades.

Una moneda que reúne todos estos atributos, para que tenga valor solo requiere confianza y la adopción por parte de la gente. El precio del Bitcoin hoy en día está generado por la oferta y la demanda y, dado que hay una emisión a una tasa determinada y decreciente, dicha demanda deberá seguir al nivel de inflación para mantener el precio estable. Asimismo, se considera que es una moneda inelástica ya que solo se creará una determinada cantidad de criptomonedas y, por este motivo es que se la cataloga como una moneda deflacionaria.

Actualmente el mercado de Bitcoin es pequeño en comparación a lo que podría llegar a ser, por lo que existe una gran volatilidad en el precio del mismo (tema que se va a tratar de forma teórica en capítulo II, planteando distintas metodologías para su cálculo y de forma práctica en el capítulo III).

1.2.2 Política monetaria

Se puede dividir la política monetaria del protocolo Bitcoin en dos elementos principales siendo la primera la frecuencia de bloques, donde en promedio cada 10 minutos (dependiendo de la potencia computacional existente) un minero genera un enlace de bloque de información en la *blockchain*. Por cada uno de estos enlaces, se realiza un pago determinado de Bitcoin al minero que incorpora el bloque en la *blockchain*, el cual está



establecido previamente en el protocolo y que estima que estos pagos se realizarán hasta el año 2140, año en el que finalizará la emisión de Bitcoin. Este proceso de emisión monetaria, realizada a partir de la remuneración de servicios a los mineros, es automático, predecible y no puede alterarse o modificarse.

Como segundo elemento fundamental de la política monetaria aparece el *halving* el cual establece que cada 210.000 bloques la remuneración otorgada a los mineros (y por lo tanto la emisión que se realiza) se reduce a un 50%. Este proceso de disminución de la emisión monetaria se realiza aproximadamente cada 4 años.

A continuación, se presenta el esquema de emisión monetaria de bitcoin.

Cuadro 1.6 – Política Monetaria - Halving

Bloque	Era	BTC/Bloque	BTC Inicio	BTC Añadido	BTC Finales	Incremento BTC %	% BTC en Circulación
-	1	50.00000000	0	10,500,000.00000	10,500,000.00000	∞	50.00000000%
210,000	2	25.00000000	10,500,000.00000	5,250,000.00000	15,750,000.00000	50.00000000%	75.00000000%
420,000	3	12.50000000	15,750,000.00000	2,625,000.00000	18,375,000.00000	25.00000000%	87.50000000%
630,000	4	6.25000000	18,375,000.00000	1,312,500.00000	19,687,500.00000	12.50000000%	93.75000000%
840,000	5	3.12500000	19,687,500.00000	656,250.00000	20,343,750.00000	6.25000000%	96.87500000%
1,050,000	6	1.56250000	20,343,750.00000	328,125.00000	20,671,875.00000	3.12500000%	98.43750000%
1,260,000	7	0.78125000	20,671,875.00000	164,062.50000	20,835,937.50000	1.56250000%	99.21875000%
1,470,000	8	0.39062500	20,835,937.50000	82,031.25000	20,917,968.75000	0.78125000%	99.60937500%
1,680,000	9	0.19531250	20,917,968.75000	41,015.62500	20,958,984.37500	0.39062500%	99.80468750%
1,890,000	10	0.09765625	20,958,984.37500	20,507.81250	20,979,492.18750	0.19531250%	99.90234375%
2,100,000	11	0.04882813	20,979,492.18750	10,253.90625	20,989,746.09375	0.09765625%	99.95117188%
2,310,000	12	0.02441406	20,989,746.09375	5,126.95313	20,994,873.04688	0.04882813%	99.97558594%
2,520,000	13	0.01220703	20,994,873.04688	2,563.47656	20,997,436.52344	0.02441406%	99.98779297%
2,730,000	14	0.00610352	20,997,436.52344	1,281.73828	20,998,718.26172	0.01220703%	99.99389648%
2,940,000	15	0.00305176	20,998,718.26172	640.86914	20,999,359.13086	0.00610352%	99.99694824%
3,150,000	16	0.00152588	20,999,359.13086	320.43457	20,999,679.56543	0.00305176%	99.99847412%
3,360,000	17	0.00076294	20,999,679.56543	160.21729	20,999,839.78271	0.00152588%	99.99923706%
3,570,000	18	0.00038147	20,999,839.78271	80.10864	20,999,919.89136	0.00076294%	99.99961853%
3,780,000	19	0.00019073	20,999,919.89136	40.05432	20,999,959.94568	0.00038147%	99.99980927%
3,990,000	20	0.00009537	20,999,959.94568	20.02716	20,999,979.97284	0.00019073%	99.99990463%
4,200,000	21	0.00004768	20,999,979.97284	10.01358	20,999,989.98642	0.00009537%	99.99995232%
4,410,000	22	0.00002384	20,999,989.98642	5.00679	20,999,994.99321	0.00004768%	99.99997616%
4,620,000	23	0.00001192	20,999,994.99321	2.50340	20,999,997.49660	0.00002384%	99.99998808%
4,830,000	24	0.00000596	20,999,997.49660	1.25170	20,999,998.74830	0.00001192%	99.99999404%
5,040,000	25	0.00000298	20,999,998.74830	0.62585	20,999,999.37415	0.00000596%	99.99999702%
5,250,000	26	0.00000149	20,999,999.37415	0.31292	20,999,999.68708	0.00000298%	99.99999851%
5,460,000	27	0.00000075	20,999,999.68708	0.15646	20,999,999.84354	0.00000149%	99.99999925%
5,670,000	28	0.00000037	20,999,999.84354	0.07823	20,999,999.92177	0.00000075%	99.99999963%
5,880,000	29	0.00000019	20,999,999.92177	0.03912	20,999,999.96088	0.00000037%	99.99999981%
6,090,000	30	0.00000009	20,999,999.96088	0.01956	20,999,999.98044	0.00000019%	99.99999991%
6,300,000	31	0.00000005	20,999,999.98044	0.00978	20,999,999.99022	0.00000009%	99.99999995%
6,510,000	32	0.00000002	20,999,999.99022	0.00489	20,999,999.99511	0.00000005%	99.99999998%
6,720,000	33	0.00000001	20,999,999.99511	0.00244	20,999,999.99756	0.00000002%	99.99999998%
6,930,000	34	0.00000001	20,999,999.99756	-	20,999,999.99756	0.00000000%	100.00000000%

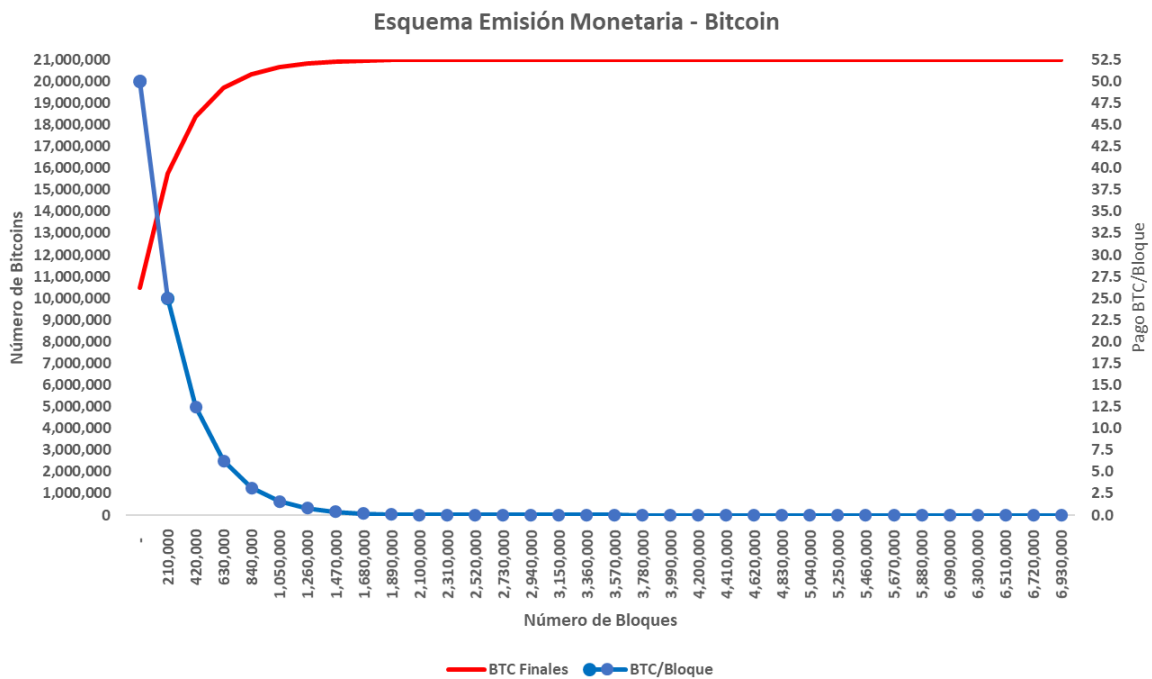
Elaboración Propia – Datos: www.bitcoin.org

En Mayo 2020 comienza la cuarta era, donde los pagos de Bitcoin a los mineros serán de 6,25 BTC por bloque y tendremos más del 87,50% de la base monetaria en circulación.

Esta política de emisión monetaria lleva a pensar el modelo como deflacionario, con una suba paulatina del precio del Bitcoin y una distribución gradual. Luego del *halving* número 34, donde los mineros ya no obtendrán una retribución por sus servicios de enlace de bloques, los mismos serán igualmente necesarios y se estipula que cobren una pequeña comisión por las transacciones que se realicen.

Respecto a la falta de liquidez señalada por los críticos en referencia a la cantidad finita de bitcoins, Satoshi Nakamoto (2009) respondió: "en lugar de que el suministro cambie para mantener el mismo valor, el suministro está predeterminado y el valor cambia. A medida que el número de usuarios crece, el valor por moneda aumenta. Puede ser un proceso que se retroalimenta: cuantos más usuarios hay, más aumenta el valor, lo que a su vez puede atraer a más usuarios deseosos de aprovechar el alza."²

Gráfico 1.4 – Esquema de emisión monetaria - bitcoin



Elaboración Propia – Datos: www.bitcoin.org

Como se observa gráficamente lo comentado en los párrafos anteriores, a medida que el número de Bitcoins en circulación aumenta, disminuye la remuneración a los mineros, siendo cero para el año 2140. Algunos autores (Domínguez Jurado y Garcia Ruiz, 2018) indican que: "La oferta de Bitcoin no se ajusta a la riqueza intercambiada a través del mismo,

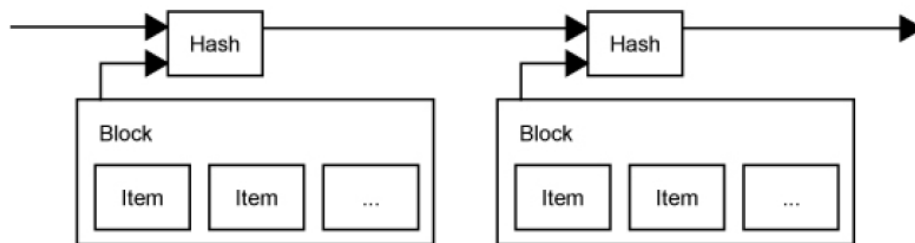
² Satoshi Nakamoto, <P2pfoundation.ning.com>, 18 de febrero de 2009.

sino que estaría más cerca del concepto de metales preciosos como el oro, lo que llevó a algunos a definir el Bitcoin como el oro digital” (p.8).

1.2.3 Minería

La *blockchain* guarda todas las transacciones realizadas y se encuentra formada por bloques de información donde cada bloque incluye un *hash*³ del bloque anterior, el cual le permite enlazar el nuevo bloque (que contiene la información de las últimas transacciones realizadas) en la cadena, manteniendo así la unicidad y consistencia en la cadena. Los bloques y el *Hash*⁴ pueden ilustrarse de la siguiente manera:

Cuadro 1.7 – Esquema Hash



Nakamoto, S. (2008): “A peer-to-peer electronic cash system”

La minería es un proceso realizado por un software el cual recibe las transacciones realizadas en la red, las procesa en un bloque y finalmente las confirma. Las mismas incorporan el bloque (que tiene las transacciones realizadas junto con el *hash*) y las enlazan en la cadena de bloques existente. Este proceso tiene un gran costo computacional (costo energético) intencionalmente alto debido al costo de generación del *hash* ya que es necesaria mucha capacidad de cálculo, lo que limita en gran medida la minería individual y genera grupos cooperativos de minado (*mining pools*). De esta manera, el protocolo permite que la minería asegure y mantenga un consenso global basado en el poder de procesamiento

Los mineros son fundamentales para todo el entorno de Bitcoin y para las criptomonedas en general, ya que como indican los hermanos Tapscott (Tapscott, 2016): “Los mineros tienen un incentivo para mantener la infraestructura de Bitcoin porque, si la red falla, todos los Bitcoins no convertidos que han ganado (o podrían ganar) con el minado se perderían o no valdría, o, en cualquier caso, estarían en peligro” (p.380). Por otro lado, aclaran que los

³ El hash es un número que sirve de comprobación, el cual se obtiene a partir del contenido del bloque. Cualquier modificación intencional de cualquier bloque cambia la suma de comprobación de modo impredecible.

⁴ Nakamoto, S. (2008). «Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System» (pág. 9)



mineros no prestan el servicio de validar las transacciones, sino que su principal tarea es preservar la distribución de poder, decidiendo que transacciones incluir en cada bloque, acuñando monedas y votando que es verdadero. Por estas tareas realizadas los mineros perciben una remuneración, la cual es una cantidad fija y determinada de Bitcoin. Este pago se realiza automáticamente cuando es enlazado un bloque en la cadena, adicionando una transacción especial la cual acredita al minero la cantidad de bitcoins ya determinada para ese propósito. Como ya se mencionó en el apartado anterior, luego de cada *halving*, los mineros reciben un 50% de los Bitcoin que se pagaban anteriormente, lo que supone que una parte de los mineros dejarán de minar debido al alto coste y poca recompensa y lleva a esperar que la investigación y el camino hacia mineros más eficientes podría ir en aumento. El protocolo analiza el poder de procesamiento de la red, de modo que a medida se sumen nuevos mineros, aumenta la dificultad de encontrar bloques válidos, garantizando que en promedio se enlace un bloque cada 10 minutos. Esto genera que la minería sea un mercado muy competitivo.

El proceso de minado de Bitcoin asegura la red ya que hace que sea casi imposible para cualquier individuo/minero modificar, agregar o eliminar bloques de transacciones a la *blockchain* debido a que requeriría realizar la reescritura de todos los bloques anteriores en el bloque de transacción editado. Esto protege la neutralidad de la red otorgando a cualquier usuario el poder de bloquear ciertas transacciones aparentemente fraudulentas ya que el sistema desconfía de cadenas de bloques diferentes a los que tienen la mayoría debido al sistema de consenso.

1.2.4 Ventajas y limitaciones

Dentro de las ventajas de las criptomonedas en primer lugar se debe mencionar la reserva de valor: La emisión monetaria está regulada por un algoritmo y no por bancos centrales que generan emisión e inflación según las necesidades económicas y políticas del momento. Al ser una moneda deflacionaria es un instrumento que sirve de reserva de valor y otorga previsibilidad para el tenedor de estos. Tal como indica Steve Patterson (Patterson, 2015): “Es razonable esperar que la tasa de deflación del Bitcoin sea lenta y predecible, en proporción a la tasa natural del crecimiento de la economía. Por supuesto, esto solo podría suceder después de que se establezca la volatilidad del Bitcoin” (p. 62). Otra ventaja que se puede mencionar es la libertad en las transferencias: Para las transferencias de Bitcoin no



existen feriados, ni burocracia, ni fronteras entre países debido a que esta todo en la misma red, por lo que es posible realizar transacciones a cualquier parte del mundo en cualquier momento. En lo que respecta a las tarifas y comisiones las tenencias de Bitcoin en billeteras virtuales no requiere el pago de ninguna comisión y, para la realización de transferencias estos pagos estas son inferiores a las existentes en otros servicios financieros. Adicionalmente existen aplicaciones que asisten a un creciente número de comercios y negocios en la conversión de Bitcoin a dinero fiduciario. Asimismo, permite la disminución de pérdidas causadas por fraudes o devoluciones fraudulentas en los comercios debido a la irreversibilidad de las operaciones. Lo mismo ocurre para el comprador debido a que es muy difícil que reciba cargos no deseados o inadvertidos como puede suceder con otros medios de pago.

En lo que respecta a la seguridad personal, la información de los clientes es confidencial, ya que los pagos de Bitcoin se realizar sin información personal vinculada a la transacción. Esto disminuye los robos de identidad de los usuarios y genera mayor confianza en las transacciones. Otra ventaja que tienen las criptomonedas es que el sistema es doblemente transparente, ya que, por un lado, se encuentra disponible en la red la cadena de bloques donde están las transacciones y, en segunda medida, el código subyacente es de código abierto, donde cualquiera puede verificarlo y usarlo en tiempo real. Ninguna organización ni persona puede controlar o manipular dicho protocolo, lo que lo convierte en transparente, neutral y predecible.

Un apartado muy importante dentro de las ventajas que ofrecen las criptomonedas es la democratización financiera y la creación de nuevos mercados. Por un lado, las personas que se encuentran excluidas del sector financiero y sin posibilidad de adquirir préstamos bancarios (falta de historial crediticio, altas tasas de interés, bajos ingresos, falta de garantías, falta de línea de crédito disponible, entre algunas de las principales causas), pueden obtener financiamiento a través de las tecnologías *blockchain*. Por otro lado, las tarjetas de crédito no están disponibles en todos los negocios o acarrear un elevado costo para el comerciante que ofrece sus productos. La posibilidad de realizar las transacciones con las criptomonedas permite disminuir los costos y disminuir las barreras de ingreso a la comercialización de nuevos productos.

Respecto a las limitaciones que enfrenten las criptomonedas, en general se debe enunciar la cantidad de usuarios que las utilizan hoy en día, ya que si bien cada vez son más las empresas



y personas que utilizan Bitcoin y criptomonedas, se estima que, a diciembre del 2019, menos del 1% de la población las utilizaba. Esto a su vez tiene impacto en la volatilidad de estos instrumentos porque si bien los precios están determinados por su oferta y demanda, donde, a pesar de que el mercado y su transaccionalidad van en ascenso, la poca cantidad de jugadores existentes y el alto nivel especulativo, provoca una gran variabilidad en sus cotizaciones. Sin embargo, se espera que disminuya la volatilidad a medida que las tecnologías y el nivel de aceptación por parte de la sociedad maduren. Patterson (Patterson, 2015) respecto de esta desventaja comenta:” Hasta que la capitalización de mercado de Bitcoin crezca sustancialmente, mantener Bitcoin conlleva un riesgo. Es un activo especulativo en este momento. Pero no debemos confundir la volatilidad en un mercado nuevo y pequeño con un problema intrínseco de la moneda” (p. 56). La volatilidad de las criptomonedas es un asunto central en la gestión del riesgo de mercado, tal como se va a trabajar en el capítulo siguiente, donde se desarrollan distintas herramientas para el cálculo de la volatilidad y la posibilidad de expresar ese riesgo en términos monetarios. Como otra desventaja se puede mencionar que una gran cantidad de las criptomonedas se encuentran en una versión beta con muchas características incompletas y que restan por desarrollar. Se trabaja continuamente para que estas sean más seguras y accesibles para toda la población y, si bien van surgiendo nuevas monedas y negocios, (como por ejemplo los contratos inteligentes) no existen en el área la posibilidad de contratar seguros para los mismos. Es un mundo nuevo que aún tiene mucho camino por delante y que cuenta con solo 10 años de vida por lo que se espera que siga madurando. En este aspecto Michael Crosby (Crosby, 2016) señala: “Imaginamos que la tecnología *blockchain* pasará por una adopción lenta debido a los riesgos asociados. La mayoría de las startups fracasarán con pocos ganadores. Habiendo dicho esto, deberíamos ver una adopción significativa en una o dos décadas”. (p.14).



Capítulo II: Portfolio – Aspectos Teóricos

2.1 Riesgo de mercado

El riesgo de mercado es definido como: “Aquellas posibles pérdidas producto de variaciones adversas en los precios de mercado de los activos financieros pertenecientes a la cartera de negociación y de inversión” (Bessis, 2002. p.18). Por su parte el Banco Central en su comunicación “A” 5398, referente a los lineamientos para la gestión de riesgos de las entidades financieras, presenta al riesgo de mercado como “la posibilidad de sufrir pérdidas en posiciones dentro y fuera de balance a raíz de fluctuaciones adversas en los precios de mercado de diversos activos”⁵. Sus componentes están dados por el riesgo inherente a acciones e instrumentos financieros, cuyo valor depende de las tasas de interés y demás instrumentos financieros registrados en la cartera de negociación, y por el riesgo de moneda a través de las posiciones dentro y fuera de balance.

La gestión del riesgo de mercado, así como la de cualquier otro tipo de riesgo financiero, tiene como primera tarea lograr identificar al riesgo, comprendiendo la composición de la cartera y la interrelación de los activos que la componen para el caso de riesgo de mercado. Una vez identificados estos, se deben medir y cuantificar. Se debe encontrar una medida que sintetice este riesgo y que sea efectiva para su posterior administración. Es aquí donde aparecen distintas métricas que se desarrollan a lo largo del capítulo como el Valor a Riesgo o *Expected Shortfall*. Estas métricas deben ser comparables en el tiempo, por lo que se debería aplicar una metodología consistente con ello. Generada la medición del riesgo, la tercera etapa consiste en la administración del riesgo. Se debe tomar decisiones en función del perfil del riesgo de la compañía. Existen diversas maneras de gestionar el riesgo. La entidad puede asumir el riesgo dependiendo del tipo de negocio y el apetito a riesgo, puede controlarlo reduciendo la exposición a ciertos riesgos y estableciendo límites y umbrales, o finalmente puede transferirlo utilizando derivados financieros y/o seguros.

En las organizaciones suele ser el área de riesgo la encargada del control y el monitoreo de los riesgos asumidos y de los niveles de ganancias y pérdidas acumuladas (*Profit and Loss* o P&L como suele ser reconocido) de la cartera a través de diferentes límites establecidos por la alta gerencia de la entidad.

Este conjunto de controles está referido a la limitación sobre determinadas exposiciones en instrumentos y monedas, así como sobre las pérdidas inesperadas que la compañía está

⁵ BCRA (2013) Comunicación “A” 5398. Lineamientos para la gestión financiera de riesgos



asumiendo en su cartera de títulos y que son medidas a través de las herramientas que se desarrollan a continuación. Es posible encuadrar a estos controles como preventivos, anteriores a la materialización de una pérdida real en la cartera de títulos, y que marcan un límite al apetito de riesgo expresado por la alta gerencia de la entidad. Una vulneración en el riesgo asumido dispara una serie de acciones, como por ejemplo disponer la venta de aquellos instrumentos financieros que tienen un mayor consumo de la cuota de riesgo disponible o bien incorporar aquellos que permitan una mitigación del riesgo asumido a través de la diversificación de cartera.

Las mejores prácticas de gobierno para la gestión del riesgo de mercado establecen una división clara entre la ejecución de la estrategia de la gestión financiera (en la práctica suele corresponder al área de Finanzas) y su seguimiento y control (suele estar a cargo del área de riesgos financieros). Para la gestión del riesgo de mercado es muy importante la segmentación de la cartera donde en la práctica suelen dividirse en cartera de trading y cartera de inversión, donde la primera agrupa aquellos instrumentos financieros que están expuestos a los riesgos de mercado, mientras que la cartera de inversión posee aquellos instrumentos que se desean mantener a vencimiento y cuyo riesgo rector es el riesgo por tasa de interés ajustándose a los criterios estipulados en la Com. "A" 5867. Se entiende que las posiciones integrantes de la cartera de trading se mantienen para su venta a corto plazo o con el propósito de obtener beneficios a partir de las fluctuaciones de precios en el corto plazo. Con el correr del capítulo se aborda de forma teórica todas las herramientas con las que se cuenta para identificar y medir el riesgo de mercado en las carteras propuestas. Se presentan distintas metodologías de cálculo de la volatilidad para los instrumentos y luego se analizan las ponderaciones de cada instrumento (combinación de diversos activos y Bitcoin) para obtener una cartera de mínima varianza y una cartera que optimice el ratio de Sharpe. Posteriormente se desarrollan las herramientas del "Valor a Riesgo" (conocido como VaR) la cual es una de las medidas más utilizadas en lo referente a la cuantificación de los riesgos de mercado, a partir de la cual es posible obtener la máxima pérdida probable a la que se vería expuesto una cartera de activos en base a un nivel de confianza dado, para un horizonte de tiempo determinado. En la práctica se trabaja con un horizonte temporal de 10 días, dado que se entiende que en este período es posible modificar significativamente el perfil de riesgo de la cartera sin afectar los resultados de la misma. A su vez, el valor crítico (nivel de confianza de la estimación) suele definirse como el percentil 99 de la distribución de



rendimientos del portafolio. Estas definiciones están en línea con las disposiciones de la Com. “A” 5.398 del BCRA. Adicionalmente se desarrolla el *Expected Shortfall*, la cual es una herramienta de cuantificación del riesgo complementaria al Valor a Riesgo que permite conocer y ponderar el impacto de las limitaciones del modelo mencionado, especialmente en lo referido a los efectos de emplear el supuesto de normalidad de los rendimientos de la cartera.

La incorporación de estas herramientas a la gestión del riesgo constituye un importante avance en la percepción de las probables pérdidas a asumir por incorporar nuevas posiciones a la cartera. De esa forma, el control ya no se focaliza sobre los volúmenes operados en cada tipo de activo, sino en el aporte que los mismos hacen al riesgo general de la cartera medido a través del VaR y al *Expected Shortfall*.

Como cierre del capítulo, se presenta diversas herramientas que podrían ser aplicadas a la realización de pruebas de estrés individuales del riesgo de mercado. El principal beneficio de esta metodología es conocer más acerca del comportamiento de los activos en momentos de crisis, dado que las volatilidades y correlaciones de estos suelen alterarse significativamente y afectando la diversificación de la cartera.

Las herramientas mencionadas en el apartado anterior no solo permiten capturar los mecanismos de mercado que impactan en las posiciones tomadas por el inversor, sino que además contribuyen a la visión global y real del riesgo al que se encuentra expuesto, aclarando interrogantes sobre el grado de correlación que existe entre los instrumentos, si covarían los mismos y si es posible sumar los riesgos parciales. En el próximo capítulo se desarrolla finalmente la aplicación de todas estas metodologías permitiendo vislumbrar los riesgos individuales y conjuntos de la cartera, observando si la incorporación de criptomonedas logra una disminución del riesgo total del portafolio.

2.2 Carteras con dos activos de riesgo

A fin de comprender la gestión del riesgo, se comienza por el proceso de construcción de una cartera con riesgo de dos activos (“X” e “Y”), con el objetivo de encontrar las proporciones que impliquen el menor riesgo posible para cualquier nivel de rendimiento esperado.



Se comienza en primera instancia presentando el rendimiento del portafolio compuesto por la suma de los rendimientos de los activos ponderados por un indicador que representa la proporción de cada uno de ellos en la cartera:

$$r_p = W_X r_X + W_Y r_Y \quad (2.1)$$

Se continúa con la esperanza del portafolio, calculada como la suma de las esperanzas de los activos nuevamente ponderadas por sus indicadores de proporciones:

$$E(r_p) = W_X E(r_X) + W_Y E(r_Y) \quad (2.2)$$

Y, por último, la varianza estará compuesta de las varianzas individuales de los activos multiplicada por las ponderaciones cuadradas ponderadas por el cuadrado de sus ponderaciones, y dos veces las ponderaciones de cada activo multiplicados por su covarianza:

$$\sigma_p^2 = W_X^2 \sigma_X^2 + W_Y^2 \sigma_Y^2 + 2W_X W_Y COV(r_X; r_Y) \quad (2.3)$$

Siendo:

$$COV(r_X; r_Y) = \rho_{X;Y} \sigma_X \sigma_Y \quad (2.4)$$

Reexpresando (2.3) obtenemos:

$$\sigma_p^2 = W_X^2 \sigma_X^2 + W_Y^2 \sigma_Y^2 + 2W_X W_Y \rho_{X;Y} \sigma_X \sigma_Y \quad (2.5)$$

El coeficiente de correlación, ρ , puede tomar valores comprendidos entre -1 y 1, y, a partir de (2.5) podemos observar que, a mayor ρ , mayor será la varianza del portafolio.

Analizando el caso de correlación lineal perfecta, donde $\rho = 1$ se obtiene que:

$$\sigma_p^2 = (W_X \sigma_X + W_Y \sigma_Y)^2 \quad (2.6)$$

$$\sigma_p = W_X \sigma_X + W_Y \sigma_Y \quad (2.7)$$

En el caso de $\rho = -1$, se presenta la menor varianza posible del portafolio



$$\sigma_p^2 = (W_X\sigma_X - W_Y\sigma_Y)^2 \quad (2.8)$$

$$\sigma_p = |W_X\sigma_X - W_Y\sigma_Y| \quad (2.9)$$

Y en el caso de tener una cobertura perfecta, matemáticamente se tiene:

$$W_X\sigma_X - W_Y\sigma_Y = 0$$

$$W_X = \frac{\sigma_Y}{\sigma_X + \sigma_Y}$$

$$W_Y = \frac{\sigma_X}{\sigma_X + \sigma_Y} = 1 - W_X \quad (2.10)$$

Partiendo de (2.3) y sustituyendo $1 - W_X$ por W_Y , diferenciando el resultado respecto a W_X e igualando a 0, se obtiene:

$$W_X = \frac{\sigma_Y^2 - COV(r_X; r_Y)}{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 - 2 COV(r_X; r_Y)} \quad (2.11)$$

Esta fórmula permite obtener las cantidades a invertir del activo “X” que nos proporcionan una mínima varianza en el portafolio. Este cálculo acepta la posibilidad de incorporar restricciones como por ejemplo que no admita posiciones vendidas, es decir, que los indicadores de proporción de los activos sean siempre iguales o superiores a cero. (Bodie, Z., Kane, A., & Marcus, A. J., 2014).

Otra métrica muy utilizada y que se desarrolla en la parte práctica del trabajo es el ratio de Sharpe, el cual es una medida de rentabilidad ajustada por riesgo. Un activo o un portafolio posee una rentabilidad, pero la pregunta que busca responder este ratio es cuanto riesgo se debió asumir para generar ese resultado. Esta métrica se calcula como sigue:

$$\text{Ratio de Sharpe} = \frac{E[R_p - R_f]}{\sigma_p} \quad (2.12)$$

Como se aprecia en la fórmula, busca la relación entre el valor esperado del exceso del rendimiento del portafolio comparado con el retorno de la inversión libre de riesgo y la volatilidad de la cartera. Los inversionistas suelen preferir activos o portafolios que tengan un ratio de Sharpe alto, al igual que se plantea en el capítulo 3, eligiendo la combinación de activos que maximiza dicho ratio.



2.3 Volatilidad

2.3.1 Principios básicos

Tal como se comentó en el apartado anterior, la volatilidad es un input muy importante para el armado de las carteras de inversión. Es una medida de incertidumbre acerca de los rendimientos que proporciona el instrumento bajo análisis. Es posible definir la volatilidad como la desviación estándar del rendimiento proporcionado por el título en un periodo determinado. Una forma de calcular esta medida es a partir de datos históricos, donde se utiliza un registro de las variaciones de precios con intervalos fijos (diario, semanal, mensual, etc).

Para ello, si se considera:

$n + 1$: Número de Observaciones

S_i : Precio del instrumento al final del i^{mo} intervalo, donde $i = 0, 1, \dots, n$

τ : Duración del intervalo en años

$$S_i = \ln\left(\frac{S_i}{S_{i-1}}\right) \quad (2.13)$$

Se obtiene una estimación de “ s ”, de la desviación estándar de los “ u_i ” a través de la siguiente formula:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2} \quad (2.14)$$

O

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (u_i)^2 - \frac{1}{n*(n-1)} (\sum_{i=1}^n (u_i))^2} \quad (2.15)$$

Donde \bar{u} es la media de u_i

En caso de querer reexpresar la volatilidad para otro intervalo, la misma se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\hat{\sigma} = \frac{s}{\sqrt{\tau}} \quad (2.16)$$

Y el error estándar de este cálculo es:

$$Error\ Estandar = \frac{\sigma}{\sqrt{2n}} \quad (2.17)$$



La selección de “n” no resulta de fácil determinación, debido a que, si bien una mayor cantidad de datos permiten una mayor exactitud en el cálculo, nada garantiza que mejore la estimación de la volatilidad del instrumento debido a que los datos más antiguos pueden no ser relevantes para predecir las variaciones futuras. Para intentar solucionar este inconveniente se puede aplicar un esquema que otorgue mayor ponderación a los datos más recientes y menor a los más antiguos.

2.3.2 Modelo de media móvil ponderada exponencialmente

El siguiente modelo (EWMA por sus siglas en inglés) permite obtener una volatilidad explicada en mayor medida por los registros más nuevos. Se expresa de la siguiente manera:

$$\sigma_n^2 = \sum_{i=1}^n \alpha_i u_{n-i}^2 \quad (2.18)$$

Aquí α_i es la ponderación que se le asigna a la observación del registro “i”. En todos los casos los α_i son positivos, y a medida que nos vamos alejando en el tiempo, cada α_i será menor al anterior. Matemáticamente se tiene:

$$\alpha_{i+1} = \lambda \alpha_i \quad (2.19)$$

Donde λ (también conocido como factor de decaimiento) es una constante entre cero y uno que representa cuan sensible es la estimación de la volatilidad a una observación más reciente. Un valor bajo de λ hace que se le otorgue mucho peso a u_{n-1}^2 para calcular σ_n^2 . Por el contrario, un valor alto de λ (es decir cercano a 1) genera estimaciones que responden en forma relativamente lenta a nueva información. En la práctica suelen utilizarse valores entre 0,90 y 0,98, donde lo más frecuente es encontrar estimaciones con $\lambda = 0,94$.

Adicionalmente:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \quad (2.20)$$

Este método de estimación genera una fórmula muy sencilla para la actualización de las estimaciones de volatilidad.

$$\sigma_n^2 = \lambda \sigma_{n-1}^2 + (1 - \lambda) u_{n-1}^2 \quad (2.21)$$

Este modelo tiene la ventaja de que se requiere relativamente poca historia para realizar las estimaciones, ya que los registros más viejos dejan de tener peso en el cálculo de la



volatilidad. La implementación del EWMA en las métricas de riesgo (ver en los apartados siguientes la implementación en la metodología VaR) permite reaccionar con mayor velocidad a los shocks de mercado, al otorgar mayor peso a las observaciones más recientes.

2.3.3 Modelo GARCH

El modelo GARCH busca estimar la varianza promedio a mediano plazo mediante una autorregresión que depende de la suma de perturbaciones y varianzas rezagadas. El significado de sus siglas es el siguiente:

- Generalizado: Tiene en cuenta tanto las observaciones presentes como las pasadas
- Autorregresivo: La variable dependiente regresa en si misma
- Condicional: La varianza futura depende de la varianza histórica
- Heteroscedástico: La varianza va modificándose en función de las observaciones

La ecuación de un modelo GARCH (p, q) genérico es la siguiente:

$$\sigma_t^2 = w + \alpha \sum_{p=1}^p u_{t-p}^2 + \beta \sum_{q=1}^q \sigma_{t-q}^2 \quad (2.22)$$

Para obtener los coeficientes w , α , β , se suele utilizar la estimación de máxima verosimilitud dando por resultado la ponderación para la varianza de las observaciones recientes e históricas. En la práctica se suele utilizar el modelo GARCH (1,1), lo que indica que la varianza al momento que se busca calcular (momento i) depende de la varianza y del retorno únicamente del momento anterior ($i-1$). Esto se expresa de la siguiente manera:

$$\sigma_i^2 = w + \alpha u_{i-1}^2 + \beta \sigma_{i-1}^2 \quad (2.23)$$

El coeficiente w está compuesto por la varianza promedio de largo plazo (V_L) y un factor de ajuste (γ). Resulta evidente que el modelo EWMA trabajado en el apartado anterior es un caso particular del modelo GARCH (1,1) cuando los parámetros del modelo son $\gamma = 0$, $\alpha = 1 - \lambda$ y $\beta = \lambda$.

Los pasos para el cálculo suelen consistir en hallar en primera medida γV_L , junto con α y β , para lo cual se asume que la distribución de condicionado a la varianza es normal, y los “mejores” parámetros serán aquellos que maximicen la siguiente función de verosimilitud:

$$\sum_{i=1}^n \left[-\ln(\sigma_i^2) - \frac{u_i^2}{\sigma_i^2} \right] \quad (2.24)$$



Una vez que se obtiene dicho parámetro, se despeja γ y la varianza promedio de largo plazo. Adicionalmente, para que el proceso sea estable, se requiere que $\alpha + \beta < 1$, de lo contrario el término aplicado a la varianza promedio de largo plazo sería negativo. En caso de no poder obtener un proceso estable lo más recomendable en la práctica es utilizar el modelo EWMA. El modelo GARCH incorpora lo que se conoce como reversión a la media, mientras que el modelo EWMA no. Este proceso implica que a lo largo del tiempo la varianza tiende a regresar a su valor promedio de largo plazo V_L . El supuesto subyacente del modelo de volatilidades GARCH, entonces, es que la misma va modificándose con el transcurso del tiempo.

2.4 Valor a Riesgo

El valor a riesgo (VaR) resume la máxima pérdida esperada para un horizonte de tiempo (h) y con un determinado nivel de confianza (α). Es el cuantil de la distribución de P&L proyectada para el horizonte objetivo; en otras palabras, el monto representado por el VaR equivale a la pérdida para un período “ h ” que en términos estadísticos podría ser superada únicamente por el $(1 - \alpha)$ % de las observaciones.

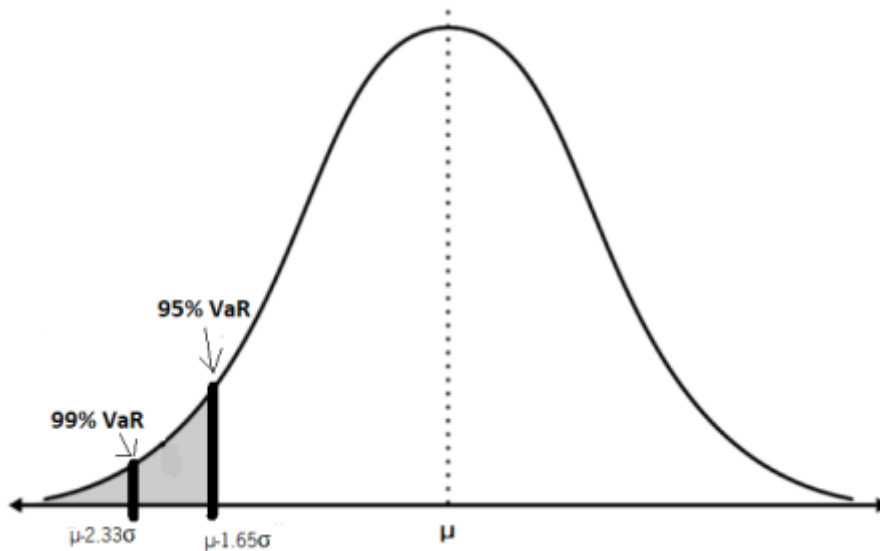
Sea x el resultado obtenido por una cartera para el horizonte “ h ” y $f(x)$ la función de densidad que describe el comportamiento del mismo, el VaR se representa como:

$$P(X \leq -VaR) = \int_{-\infty}^{-VaR} f(x)dx = 1 - \alpha \quad (2.25)$$

Matemáticamente interesa analizar la cola izquierda de la función de densidad, ya que de esta forma se logra comprender la aleatoriedad de los retornos para un horizonte temporal y un nivel de confianza determinados, asociados a las pérdidas generadas por la variable en cuestión. Esta métrica se debe entender dentro de la estrategia de administración de los riesgos de la cartera.

Gráficamente y suponiendo una distribución normal de los retornos de la cartera se presenta un VaR del 95% y 99%:

Gráfico 2.1 –Distribución VaR



Elaboración Propia – código python

El valor a riesgo será la diferencia entre el percentil y la media. La definición propuesta con anterioridad suele aplicar ya que normalmente la media es cercana a cero, producto del corto horizonte que se utiliza para la valuación el momento de aplicar esta métrica al riesgo de mercado. El horizonte temporal “h” es un parámetro subjetivo para el analista, el cual, si bien puede tomar diferentes valores, es conveniente que mantenga una relación directa con la liquidez del mercado y las dimensiones de la cartera, para, en caso de ser necesario, poder desarmar sus posiciones sin afectar ningún resultado. La recomendación de Basilea es utilizar un horizonte temporal de días 10 hábiles (10 ruedas) y un nivel de confianza del 99%. Respecto a la normativa local, el BCRA indica la utilización de un nivel de confianza de 99% para una distribución normal, con un horizonte temporal que sea el necesario para deshacer una posición sin afectar los resultados de la cartera. En líneas generales el VaR aumenta cuando crece tanto el horizonte temporal como el nivel de confianza.

La métrica del VaR es una de las herramientas de gestión del riesgo más populares en el mundo debido a que es de fácil interpretación ya que trabaja sobre resultados y permite tratar consistentemente varias fuentes de riesgo como la tasa de interés, monedas, acciones y *commodities*. Adicionalmente logra resumir el riesgo de la cartera expresado en una medida probabilística.

Uno de los inconvenientes que presenta esta métrica es que supone que la cartera se encuentra congelada en un horizonte temporal, cuando en realidad la mayoría de estas suelen



ser dinámicas respecto a las ponderaciones de los activos; adicionalmente no indica cual es la peor pérdida potencial por lo que termina siendo una medida necesaria para controlar los riesgos, pero no suficiente. En la práctica dichos resultados suelen complementarse con el cálculo de *Expected Shortfall* y pruebas de estrés.

El cálculo del VaR lo podemos clasificar bajo dos enfoques:

- No paramétrico: En base al comportamiento histórico de los rendimientos (se suele utilizar rendimientos geométricos), se realiza una simulación para la estimación del cuantil que se desea conocer. Dentro de este enfoque podemos diferenciar el VaR histórico y el VaR por simulación.
- Paramétrico: Se asume que los rendimientos de los retornos siguen una distribución conocida. En base a la historia se calculan los parámetros de esa distribución.

2.4.1 VaR Histórico

La metodología del VaR histórico es la más sencilla de implementar y cuenta con la ventaja que no es necesario realizar supuestos sobre la distribución de los retornos de la cartera, sino que utiliza la distribución empírica. El método consiste en considerar los precios históricos de una ventana temporal determinada (suelen utilizarse 252 o 504 días). De esta forma lo que se busca es intentar estimar las variaciones futuras a través de la historia de precios. Esta metodología tiene la ventaja que dichos escenarios sobre los que se está calculando el riesgo ya han sido evidenciados por la cartera, por lo que pueden tomarse como posibles. Adicionalmente es un método intuitivo, que permite cuantificar las colas anchas y brinda información histórica máxima sobre aquellos valores superiores al VaR. En la práctica consiste en obtener una serie de los retornos de la cartera y a dicha serie aplicarle el percentil deseado. Dicho proceso brinda la variación correspondiente al percentil. Para poder cuantificar dicha variación, se multiplica por el valor de la cartera.

$$VaR = \text{Valor del portafolio} * \text{Percentil (Serie de } \Delta \text{ logaritmica de retornos; } 1 - \alpha) \quad (2.26)$$

El inconveniente con esta metodología es que diferentes ventanas de los precios generan distintos valores a riesgo, lo que puede terminar generando cierta subjetividad en los análisis.

2.4.2 VaR por simulación histórica



La metodología por simulación histórica es un enfoque no paramétrico que consiste en la implementación de procesos estocásticos con el objetivo de modelizar los factores de riesgo supuestos acerca del comportamiento individual y de las relaciones entre los activos. Este método es muy amplio ya que permite al analista elegir la metodología de aplicación del proceso estocástico. La simulación puede aplicarse para el proceso de precios de los instrumentos, o simular los retornos de la cartera o distintos escenarios que el analista crea relevante.

El error del proceso de simulación se encuentra vinculado a la variabilidad de la muestra, donde a medida que el número de las simulaciones aumenta, el error tiende a disminuir, por lo que el proceso converge al verdadero valor. Esto implica que en muchas ocasiones dicho proceso puede ser muy lento y de gran carga computacional.

La ventaja de dicho proceso es que permite una gran flexibilidad para trabajar con instrumentos de comportamiento muy complejo como suelen ser los derivados y opciones.

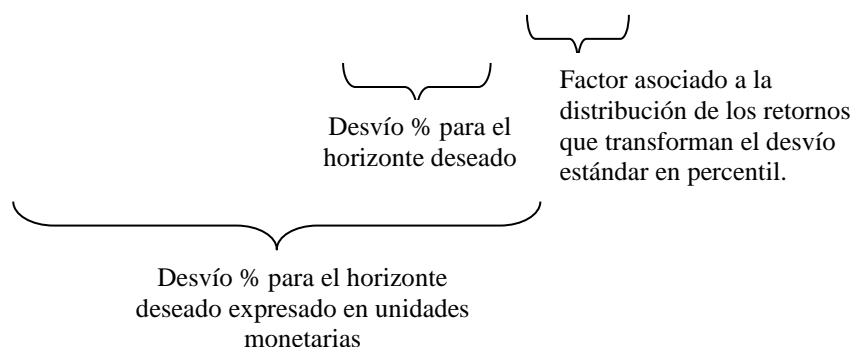
2.4.3 VaR paramétrico

La metodología del VaR paramétrico se basa en modelizar la rentabilidad de la cartera, a partir de ajustar el comportamiento de la misma a una distribución específica y conocida. Los parámetros de dichas distribuciones se encuentran estimados de tal manera que el ajuste sea óptimo en función de la historia disponible. Esta metodología suele ser muy sencilla, aunque se debe tener un gran cuidado a la hora de ajustar los parámetros.

En general se utiliza tanto la distribución normal como la t-student en la modelización de las rentabilidades, ya que permiten tratar correctamente los retornos bajo contextos de estabilidad en los mercados.

Matemáticamente se tiene la siguiente fórmula para el cálculo del VaR:

$$VaR_p = Valor\ del\ portafolio * \sigma_p * \sqrt{h} * |Z_{(1-\alpha)}| \quad (2.27)$$





Dónde:

σ_p : Volatilidad de los retornos del portafolio, expresada en términos anuales.

h: Horizonte temporal del VaR para el portafolio, expresado en años.

$Z_{(1-\alpha)}$: Valor de la distribución normal estándar que acumula el $(1-\alpha)\%$ de probabilidad.

Si el tamaño de la muestra es suficientemente grande y la distribución perfectamente estable, los estimadores convergen a los verdaderos parámetros.

Cada tenencia individual de cada activo genera un VaR individual, donde la suma de cada uno de estos es mayor al VaR que genera la cartera. Esta diferencia entre el VaR de la cartera y la suma de los VaR individuales será el efecto diversificación.

Se expresa como:

$$VaR_i = Valor\ del\ Activo_i * \sigma_i * \sqrt{h} * |Z_{(1-\alpha)}| \quad (2.27)$$

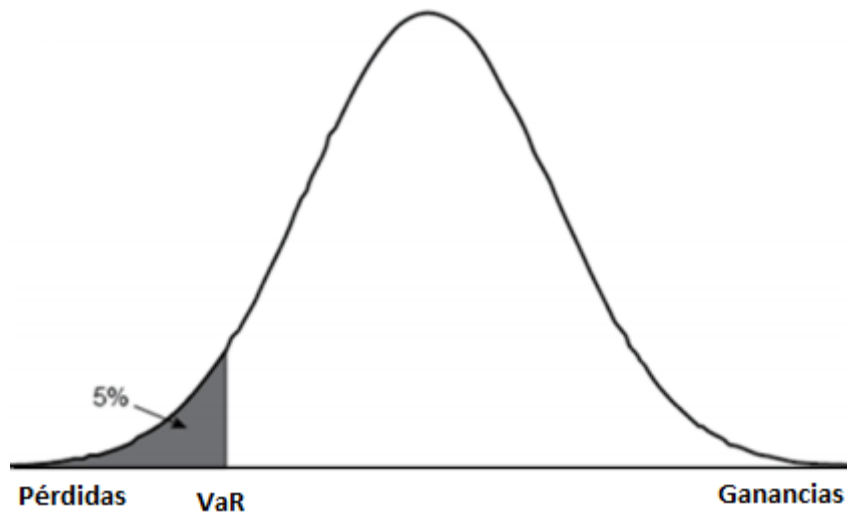
$$VaR\ no\ Diversificado = \sum_{i=1}^n VaR_i \quad (2.28)$$

2.5 Expected Shortfall

La métrica del VaR es extremadamente útil para gestionar el riesgo del portafolio bajo el supuesto de normalidad de retornos. Es una medida representativa de resultados de mercado en contextos de estabilidad en el mercado financiero, pero no es aplicable para escenarios extremos. Si bien es posible incrementar el nivel de confianza y con ello establecer un mayor rango de cobertura, el VaR histórico puede contener eventos que no reflejen pérdidas extremas o que omitan dichos escenarios por su baja probabilidad de ocurrencia. Por otro lado, el VaR paramétrico también tiene un inconveniente respecto a los valores extremos, dado que el supuesto de normalidad de los retornos, si bien es práctico y de fácil implementación, dicha distribución subestima la probabilidad de la ocurrencia de los eventos alocados en la cola izquierda. Esto quiere decir que la cola de la distribución de retornos que se planteó no es congruente con una distribución normal, sino que tiene una distribución particular allí.

Como se presenta a continuación, se tiene una distribución normal, con un VaR al 95%, donde la cola se encuentra acumulando un 5%. El enfoque paramétrico del VaR asume que ese 5% de la cola, la cual acumula las pérdidas superiores a mi VaR estimado se distribuyen normalmente.

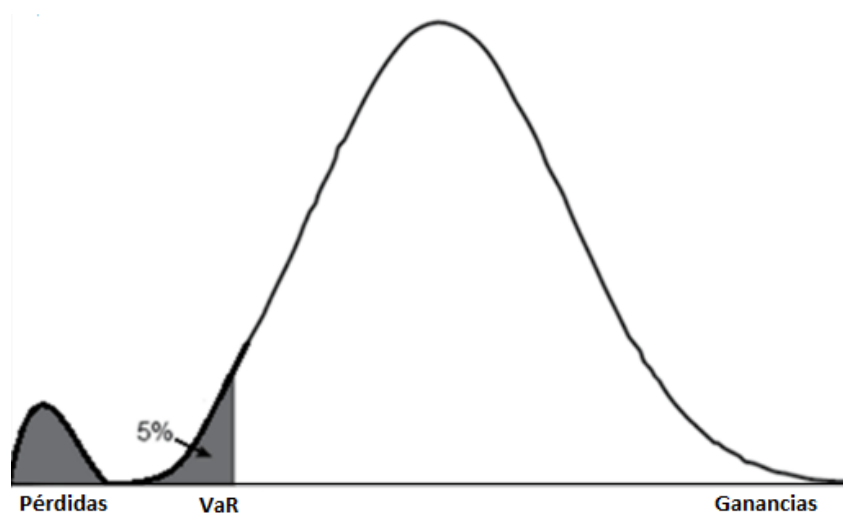
Gráfico 2.2 – Distribución VaR



Elaboración Propia – código python

Tal como se observa gráficamente en la imagen siguiente lo que sucede es que ese 5% de la cola, no se comporta normalmente, sino que tiene su propia distribución, por lo que para valores extremos no sería aplicable dicha metodología.

Gráfico 2.3 – Distribución VaR y *Expected Shortfall*



Elaboración Propia – código python

Por estas razones se utiliza una medida alternativa del riesgo que amplía la información disponible del perfil de una cartera de riesgo. El VaR es una medida necesaria pero no



suficiente para el control de los riesgos (Jorion, 2006) y es por ese motivo que aparece la métrica del *Expected Shortfall* (ES) o también conocido como TVaR (*Tail VaR*).

Si bien es un proceso complejo de ejecución, se suele utilizar un *expected shortfall* histórico, el cual consiste en analizar el promedio de la cola izquierda de retornos que exceden al VaR.

$$ES = \frac{\sum_{i=1}^n si(Pérdida_i < VaR_i; Pérdida_i; 0)}{\sum_{i=1}^n si(Pérdida_i < VaR_i; 1; 0)} \quad (2.29)$$

En la práctica a modo de referencia se suele utilizar un intervalo de confianza de 99,6% para el VaR paramétrico donde ese percentil suele estar en línea con el *expected shortfall* que se obtiene en la mayoría de los casos cuando las distribuciones son acampanadas.

2.6 Pruebas de Estrés

Las pruebas de estrés comprenden un conjunto de ejercicios que permiten estimar las pérdidas en que se podría incurrir bajo circunstancias poco frecuentes pero posibles, en las cuales las principales variables financieras se verían expuestas a grandes variaciones. Las pruebas de estrés tienen como objetivo cuantificar la magnitud de las pérdidas ocasionadas por eventos menos probables que aquellos analizados bajo el enfoque estándar de Valor a Riesgo, complementando los resultados de estos últimos. (Kupiec, 1998)

Esta es una herramienta de gestión del riesgo que ganó popularidad no solo por su utilidad sino porque es un requisito presente en los estándares internacionales de buenas prácticas en materia de gestión de riesgos formando parte del pilar I – estándar de capital- promulgado por Basilea II. En Argentina, esta recomendación del comité la encontramos en la comunicación “A” 5398 del BCRA⁶, donde se exige la elaboración de pruebas de estrés para identificar situaciones adversas extremas.

Las pruebas de estrés buscan alertar de resultados adversos relacionados con una variedad de riesgos e indicar el capital necesario en cada caso para poder hacer frente a la situación estresada. El capital reservado por estas pruebas de estrés en épocas de estabilidad suele denominarse “colchón anticíclico” y tiene como objetivo reservar un capital suficiente para afrontar las pérdidas del escenario adverso.

⁶ Banco Central de la República Argentina (2013). Comunicación “A” n° 5398: Lineamientos para la gestión de riesgos en entidades financieras. Argentina.



Las pruebas de estrés permiten evaluar tanto las situaciones de riesgo como los mitigantes que la entidad puede aplicar y suelen ser especialmente útiles después de largos períodos de economías exitosas (eventos inesperados).

Su incorporación permite una evaluación de riesgos *forward looking*, y posibilita superar problemas y limitaciones existentes en los modelos de la entidad y en la información histórica. Los resultados obtenidos por las pruebas de estrés deben ser comparables con los de la metodología del VaR permitiendo identificar características del perfil de riesgo de la cartera que se encuentran ocultas en los escenarios de estrés provistos.

Las pruebas de estrés son fundamentales para el armado del plan de negocio según las necesidades de la entidad y junto con el VaR ayuda a la determinación del apetito de riesgo del directorio. Para que todo esto funcione es necesario contar con una importante comunicación tanto interna como externa para la determinación de los escenarios.

Realizar una prueba de estrés consiste en analizar la composición de la cartera con el objetivo de determinar los factores de riesgo. Los mismos pueden ser por las cotizaciones de monedas extranjeras, las tasas de interés, precios de activos financieros como acciones, oro o petróleo o incluso decisiones políticas tanto nacionales como internacionales. En la práctica del mercado local, los escenarios de estrés suelen estar atados a los resultados obtenidos por escenarios de devaluación (aumento considerable del dólar), o la crisis subprime del 2008. En la actualidad se están gestando nuevos escenarios de estrés como las PASO en agosto 2019, o el escenario generado por COVID – 19. Luego de identificar el factor a riesgo a afectar, según el famoso autor Peter Christophersen se debe cuantificar el estrés a realizar en función a información histórica, shocks que no ocurrieron pero que son posibles, ruptura de patrones estadísticos vigentes, tales como alteraciones en correlaciones y volatilidades, etc. (Christophersen, 2012). Como paso final de la prueba de estrés, dichas variaciones deben ser incorporadas en el modelo de valor a riesgo. La aplicación del estrés dentro del modelo del VaR permite que los resultados obtenidos dialoguen y sean comparables entre sí.



Capítulo III: Análisis de riesgo de carteras de títulos con incorporación de Bitcoin

En este acápite se desarrollan las herramientas teóricas presentadas en el capítulo anterior, las cuales son necesarias para una correcta gestión del riesgo de mercado en las carteras. Estos desarrollos se van a realizar utilizando distintos fondos comunes de inversión (FCI), como si fuesen representativos de una cartera de títulos, y se les incorporará una posición comprada en una determinada cantidad de unidades de Bitcoin. Seguidamente se va a analizar si la incorporación de esta criptomoneda permite disminuir la varianza del portfollio y su posterior valor a riesgo. A efectos del armado de la cartera y comparación de resultados, la serie histórica del Bitcoin se encuentra pesificada al tipo de cambio correspondiente al día.

Los FCI tienen diversos horizontes de inversión (corto, mediano o largo plazo) y perfiles de riesgo (conservador, moderado o agresivo) con el fin de adaptarse a las necesidades de los inversores. Podemos diferenciar los tipos de FCI según su foco de inversión. Estos pueden ser:

- FCI Monetarios: Invierten su patrimonio en activos financieros de renta fija que tienen una vida media muy corta.
- FCI de renta fija: Invierten la mayor parte de su patrimonio en bonos y obligaciones negociables.
- FCI de renta variable: Invierten la mayor parte de su patrimonio en activos de renta variable de diferentes emisores o mercados. Los más usuales son las inversiones en acciones, materias primas, índices bursátiles, divisas o ETFs.
- FCI Mixto: Suelen invertir en una combinación de activos a renta fija y variable.
- FCI de ámbito global: Son fondos que no tienen definida de forma precisa su política de inversión, lo que le permite invertir en cualquier mercado, divisa o activo siempre que cumpla con las normativas del regulador.



- FCI de fondos: Suelen invertir por lo menos un 50% de su patrimonio a la adquisición de otros FCI.
- FCI garantizados: Dichos fondos suelen garantizar al inversor a una determinada fecha un mínimo del capital inicial invertido.

A modo de simplificar la elección de la cartera bajo análisis, se decide utilizar fondos comunes de inversión, para los cuales si bien el cálculo de la volatilidad está condicionada a una recomposición permanente de los activos que la componen se lo utiliza como un *proxy* de una cartera diversificada.

Para el desarrollo práctico estaremos analizando los siguientes tres fondos comunes de inversión

Cuadro 3.1 - FCI

FCI	Codigo Reuters	Foco	Moneda	Horizonte	Perfil
Consultatio Renta Nacional B	LP68163527	renta fija	ARS	corto plazo	conservador
Compass Crecimiento II - Clase B	LP65067465	Renta variable	ARS	Largo plazo	Agresivo
FIMA Mix I - Clase B	LP68370554	Renta Mixta	ARS	Mediano plazo	Moderado

Elaboración Propia –Datos: Thomson Reuters

La composición de cada uno de estos fondos es la siguiente:

Cuadro 3.2 – Composición FCI

Consultatio Renta Nacional B		Compass Crecimiento II - Clase B		FIMA Mix I - Clase B	
Activo	Participación	Activo	Participación	Activo	Participación
Tasa Fija Pesos	3%	Renta Variable Brasil	64%	Bonos Soberanos USD Latam	54%
CER	3%	Renta Variable Local México	21%	Cuotas de FCI	17%
Variable	39%	Renta Variable Local Chile	7%	Liquidez USD	16%
Tasa Fija USD	2%	Liquidez	8%	ETF	12%
Cash	53%			Ctas Remuneradas	1%

Elaboración Propia –Datos: Thomson Reuters

3.1 Resumen Estadístico

A continuación, se presenta un resumen de los precios tanto de los FCI como del Bitcoin para las ultimas 252 ruedas.

Cuadro 3.3 – Resumen Estadístico FCI -BTC

Consultatio		Compass		FIMA		BTC	
Min.	:4.791	Min.	:12.63	Min.	:1.634	Min.	:126102
1st Qu.	:5.228	1st Qu.	:14.19	1st Qu.	:1.768	1st Qu.	:215372
Median	:5.570	Median	:15.25	Median	:1.961	Median	:424919
Mean	:5.675	Mean	:18.57	Mean	:1.948	Mean	:405417
3rd Qu.	:6.067	3rd Qu.	:24.42	3rd Qu.	:2.116	3rd Qu.	:553555
Max.	:6.965	Max.	:29.79	Max.	:2.275	Max.	:752738

Elaboración Propia –Precios: Thomson Reuters

Luego, sobre los 252 precios, se generan sus retornos logarítmicos, donde obtenemos los siguientes resultados:

Cuadro 3.4 – Estadística de precios FCI - BTC

Consultatio	Compass	FIMA	BTC
Min. :-0.1559458	Min. :-0.078693	Min. :-0.0555405	Min. :-0.162547
1st Qu.: 0.0003309	1st Qu.: -0.007619	1st Qu.: 0.0008795	1st Qu.: -0.015975
Median : 0.0019824	Median : 0.001538	Median : 0.0011400	Median : 0.003226
Mean : 0.0014878	Mean : 0.003226	Mean : 0.0010458	Mean : 0.005526
3rd Qu.: 0.0035245	3rd Qu.: 0.012243	3rd Qu.: 0.0015332	3rd Qu.: 0.024451
Max. : 0.0266197	Max. : 0.168831	Max. : 0.0506155	Max. : 0.231228

Elaboración Propia –Precios: Thomson Reuters

Se calculan los retornos anuales, los cuales se obtienen a partir de multiplicar la media logarítmica por la cantidad de ruedas:

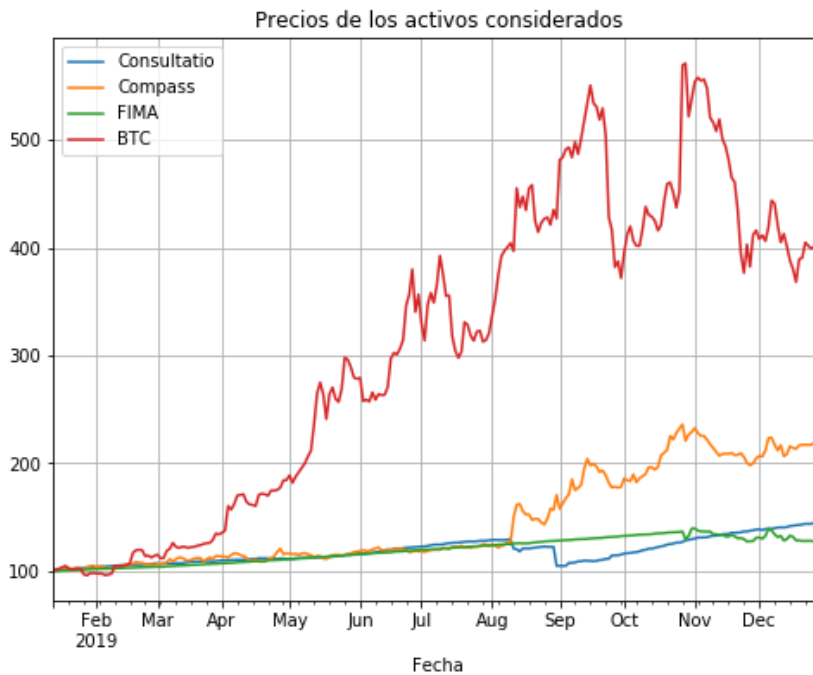
Cuadro 3.5 – LogRetornos Anualizados FCI - BTC

Consultatio	Compass	FIMA	BTC
37.49%	81.29%	26.35%	139.24%

Elaboración Propia –Precios: Thomson Reuters

Se observa que el mayor rendimiento promedio en las últimas 252 ruedas lo presenta Bitcoin con 139.24%, mientras que en segundo lugar se encuentra el FCI Compass, con 81.29%

Gráfico 3.1 – Evolución de los precios 252 ruedas



Elaboración Propia –Código en Python



Este grafico permite evidenciar mejor las variaciones de los distintos activos, partiendo de una base común (100). Resulta evidente que, por su composición, durante Agosto y producto de los resultados en las PASO, la mejor performance se evidencia en el FCI Compass y en Bitcoin.

3.2 Volatilidades

A continuación, se presentan las volatilidades desarrolladas en el acápite teórico⁷.

- Volatilidad estándar

Cuadro 3.6 – Volatilidad estándar

Consultatio	Compass	FIMA	BTC
18.47%	36.94%	12.74%	69.10%

Elaboración Propia –Precios: Thomson Reuters

- Volatilidad EWMA ($\lambda = 0.94$)

Cuadro 3.7 – Volatilidad EWMA

Consultatio	Compass	FIMA	BTC
25.46%	54.52%	48.98%	74.44%

Elaboración Propia –Precios: Thomson Reuters

3.3 Matriz de Varianzas y Covarianzas

En primera instancia se deben obtener las correlaciones entre los diversos instrumentos⁸:

- Matriz de correlaciones

Cuadro 3.8 – Correlaciones FCI - BTC

	Consultatio	Compass	FIMA	BTC
Consultatio	1.0000	-0.3931	-0.0005	0.0202
Compass	-0.3931	1.0000	0.3146	-0.0041
FIMA	-0.0005	0.3146	1.0000	0.0049
BTC	0.0202	-0.0041	0.0049	1.0000

Elaboración Propia - Precios: Thomson Reuters

⁷ Los códigos de este apartado se encuentran en el anexo 2 y 4, codificados en R-Studio

⁸ Los códigos de este apartado se encuentran en el anexo 2, codificado en R-Studio



Habiendo obtenido la matriz de correlaciones, se realiza la multiplicación matricial con las volatilidades obtenidas

- Matriz de varianzas y covarianzas (MCVC)

Como se puede observar, en la diagonal principal se encuentran las volatilidades, mientras que el resto de los elementos de la matriz son las covarianzas de los instrumentos:

Cuadro 3.9 – Matriz de varianzas y covarianzas FCI - BTC

	Consultatio	Compass	FIMA	BTC
Consultatio	0.0341	-0.0268	0.0000	0.0026
Compass	-0.0268	0.1365	0.0148	-0.0010
FIMA	0.0000	0.0148	0.0162	0.0004
BTC	0.0026	-0.0010	0.0004	0.3902

Elaboración Propia –Precios: Thomson Reuters

3.4 Cartera de mínima varianza y ratio de sharpe

Una vez que se obtienen las varianzas y covarianzas de los instrumentos se puede buscar las proporciones a invertir en cada uno de ellos con el objeto de obtener una cartera de mínima varianza a partir de la siguiente función (la cual se encuentra desarrollada en el segundo apartado del capítulo II).

$$W_X = \frac{\sigma_Y^2 - COV(r_X; r_Y)}{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 - 2 COV(r_X; r_Y)}$$

Por otro lado, se calcula la combinación de activos que permite maximizar el ratio de Sharpe, obteniendo así el retorno máximo por unidad de riesgo asumido. Dicho cálculo se realiza simulando distintas ponderaciones de los activos en las carteras, lo cual permite vislumbrar con más claridad el efecto de Bitcoin en la cartera. Una vez que se obtienen las proporciones que maximizan el ratio de Sharpe, se continua trabajando con ese portfolio.

A continuación, se procede a analizar los siguientes 3 portafolios⁹:

⁹ Los códigos de este apartado se encuentran en el anexo 6, codificados en Python



- FCI Consultatio – Bitcoin

La combinación óptima de activos que genera una varianza mínima para la cartera es la siguiente:

Cuadro 3.10 – Combinación para una cartera de mínima varianza - Consultatio - BTC

<u>Consultatio</u>	<u>BTC</u>
93.76%	6.24%

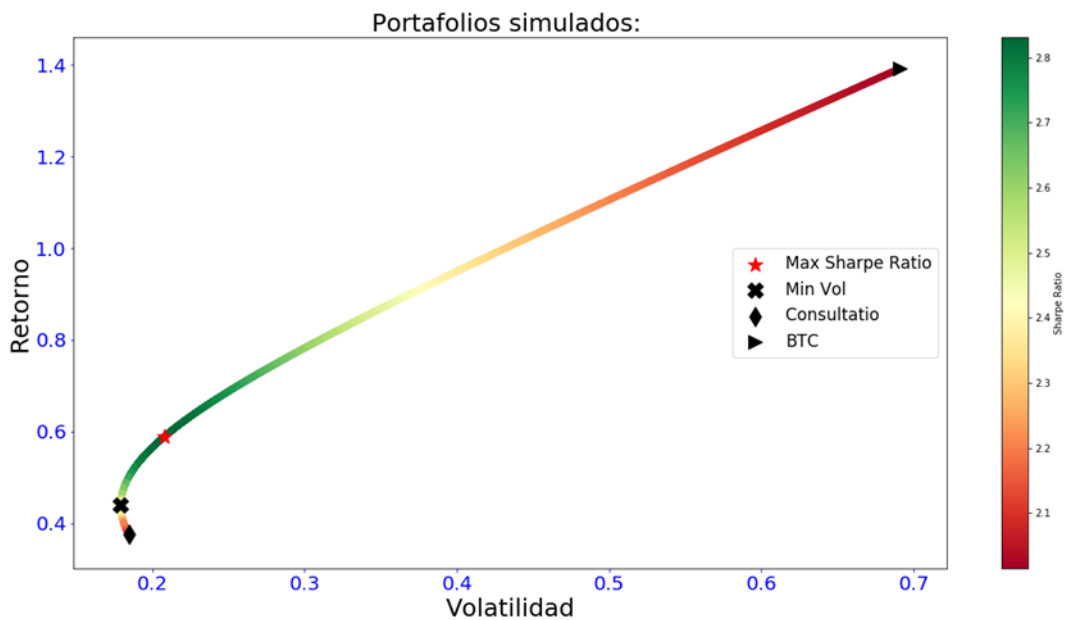
Elaboración Propia – código en Python

Cuadro 3.11 – Combinación para una cartera de óptimo ratio de Sharpe Consultatio - BTC

<u>Consultatio</u>	<u>BTC</u>
79.02%	20.98%

Elaboración Propia – código en Python

Gráfico 3.2 – Simulación de portafolios Consultatio - BTC



Elaboración Propia –Cálculo en Python



Como se logra apreciar gráficamente, el menor rendimiento se encuentra al poseer la totalidad de la posición de Consultatio. A medida que se incorpora Bitcoin, el rendimiento de la cartera aumenta. Asimismo, se ve que existe una combinación de activos que genera mínima varianza (compuesto por el 6.24% de Bitcoin). Adicionalmente se analiza la media y la volatilidad que tiene la cartera que maximizan el ratio de Sharpe:

Cuadro 3.12 – Estadísticas Consultatio - BTC

Media	Volatilidad
58.83%	20.78%

Elaboración Propia –Precios: Thomson Reuters

Dicha cartera combinada obtiene una rentabilidad media superior al FCI Consultatio (58.83% vs 37.49%) aunque posee una volatilidad levemente mayor (20,78% vs 18,47%).

- FCI Compass – Bitcoin

La combinación óptima de activos que genera una varianza minima para la cartera es la siguiente:

Cuadro 3.13 – Combinación para una cartera de minima varianza - Consultatio - BTC

Compass	BTC
94.22%	5.78%

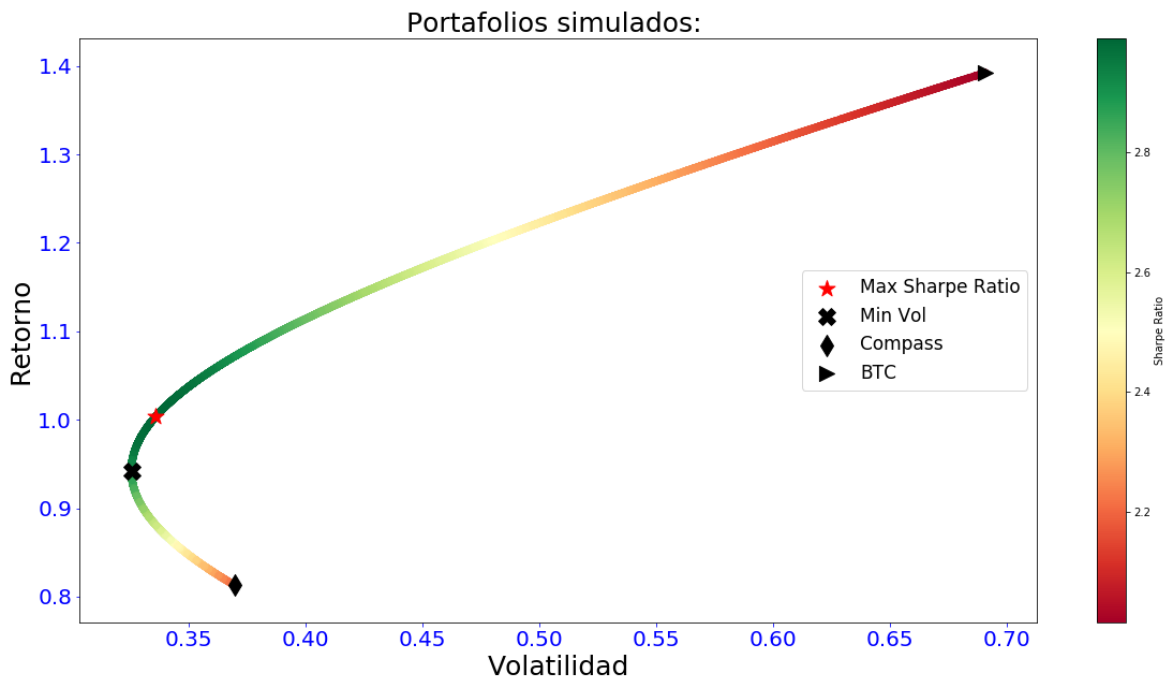
Elaboración Propia –Código en Python

Cuadro 3.14 – Combinación óptima Compass - BTC

Compass	BTC
67.12%	32.88%

Elaboración Propia – Código en Python

Gráfico 3.3 – Simulación de portafolios Compass- BTC



Elaboración Propia –Calculo en Python

Como se logra apreciar gráficamente, el menor rendimiento se encuentra al poseer la totalidad de la posición de Compass. A medida que se incorpora Bitcoin, el rendimiento de la cartera aumenta mientras la volatilidad se va reduciendo (Cartera de mínima varianza con 5.78% de Bitcoin). Adicionalmente se analiza la media y la volatilidad que tiene la cartera que maximizan el ratio de Sharpe:

Cuadro 3.15 – Estadísticas Compass - BTC

Media	Volatilidad
100.35%	33.56%

Elaboración Propia –Precios: Thomson Reuters

Se observa que, en la cartera combinada, obtenemos una media superior al FCI Compass (100.35% vs 81.29%) y una volatilidad inferior (33,56% vs 36,94%).

- FCI FIMA - Bitcoin

La combinación óptima de activos que genera una varianza mínima para la cartera es la siguiente:

Cuadro 3.16 – Combinación para una cartera de mínima varianza - FIMA - BTC

FIMA	BTC
96.79%	3.21%

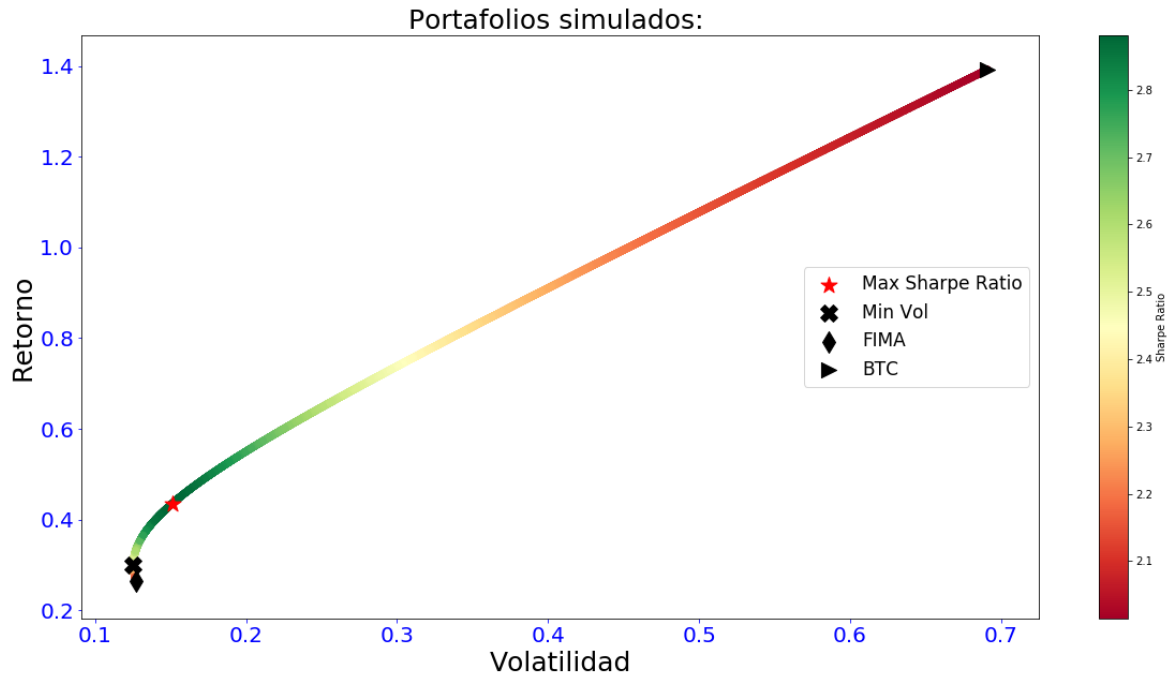
Elaboración Propia – cálculo en Python

Cuadro 3.17 – Combinación óptima FIMA - BTC

FIMA	BTC
84.78%	15.22%

Elaboración Propia – cálculo en Python

Gráfico 3.4 – Simulación de portafolios FIMA- BTC



Elaboración Propia – Cálculo en Python

Como se logra apreciar gráficamente, el menor rendimiento se encuentra al poseer la totalidad de la posición de FIMA. A medida que se incorpora Bitcoin, el rendimiento de la cartera aumenta y se encuentra la combinación de activos que genera mínima varianza



(compuesta por 3.21% de Bitcoin). En este caso evidenciamos que la combinación de activos que permite maximizar el ratio de Sharpe posee una volatilidad levemente superior a FIMA, pero también es mayor su rentabilidad.

Cuadro 3.18 – Estadísticas FIMA - BTC

Media	Volatilidad
43.53%	15.11%

Elaboración Propia –Precios: Thomson Reuters

Se observa que en la cartera combinada obtenemos un retorno mayor al FCI FIMA (43.53% vs 26.35%) y una volatilidad levemente superior (15,11% vs 12,74%).

3.5 VaR y Expected Shortfall

En este apartado se van a desarrollar las métricas del VaR y el Expected Shortfall presentadas en el acápite anterior para las 3 carteras que optimizan el ratio de Sharpe, obtenidas en el punto 3.4 para un horizonte temporal de 10 días. Para las mismas se presenta un análisis para un nivel de confianza de 95%, 99% y 99,9%.¹⁰

- FCI Consultatio - Bitcoin

Presentamos los resultados y el gráfico de la distribución para los diferentes niveles de confianza:

Cuadro 3.19 – VaR y ES Consultatio - BTC

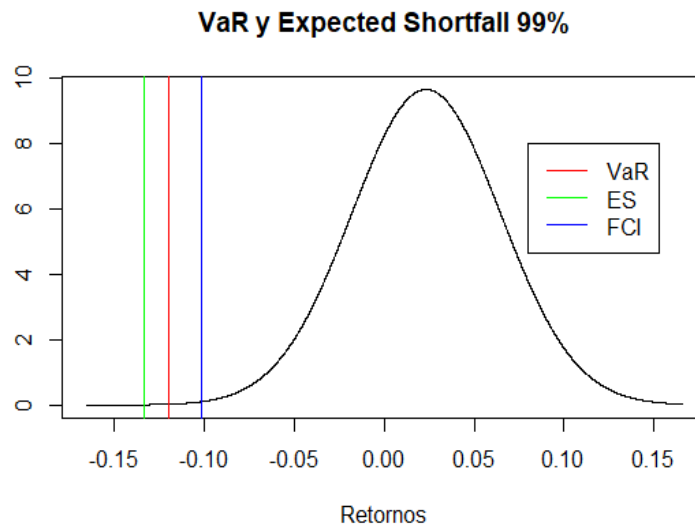
Alfa	VaR	Expected Shortfall
95%	0.091434	0.108731
99%	0.119644	0.133671
99.9%	0.151265	0.162725

Elaboración Propia –Precios: Thomson Reuters

Tal como se evidencia en el cuadro, a mayor nivel de confianza, encontramos un VaR y un *Expected Shortfall* creciente. Adicionalmente el Expected Shortfall tal como se señaló en el acápite teórico es mayor al VaR.

¹⁰ Los códigos de este apartado se encuentran en el anexo 4, codificado en R-Studio

Gráfico 3.5 – VaR y ES Consultatio - BTC



Elaboración Propia – Código R

Como se aprecia gráficamente, el VaR de la cartera eficiente obtenida en el punto 3.4 que optimiza el ratio de Sharpe (compuesta por un 20.98% de bitcoin) permite reducir el nivel de riesgo de la cartera.

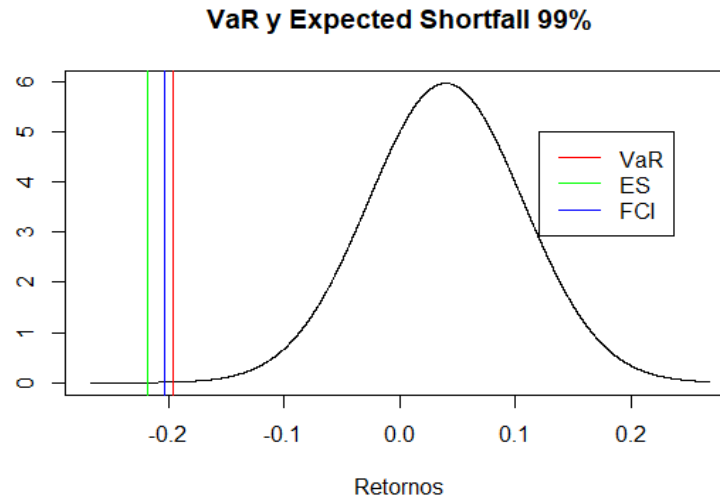
- FCI Compass – Bitcoin

Cuadro 3.20 – Var y ES Compass - BTC

Alfa	VaR	Expected Shortfall
95%	0.149785	0.177720
99%	0.195345	0.217999
99.9%	0.246413	0.264922

Elaboración Propia – Código R

Gráfico 3.6 – VaR y ES Compass - BTC



Elaboración Propia –Código R

Como se aprecia gráficamente, el VaR de la cartera eficiente obtenida en el punto 3.4 que optimiza el ratio de Sharpe (compuesta por un 32.88% de bitcoin) permite reducir el nivel de riesgo de la cartera.

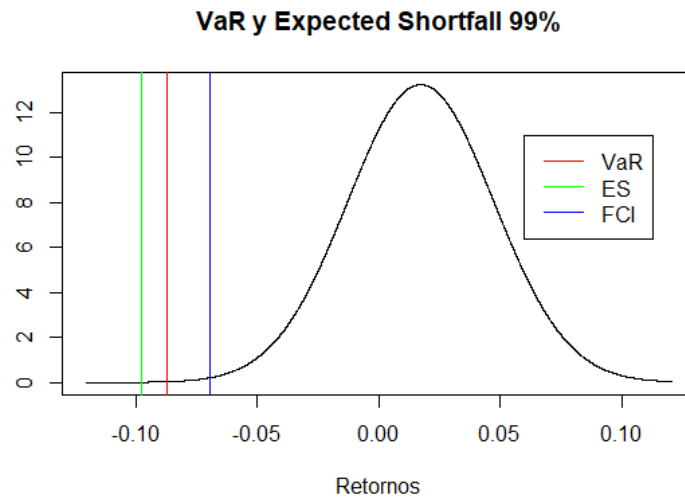
- FCI FIMA – Bitcoin

Cuadro 3.21 – Var y ES FIMA - BTC

Alfa	VaR	Expected Shortfall
95%	0.066784	0.079361
99%	0.087297	0.097496
99.9%	0.110289	0.118623

Elaboración Propia –Código R

Gráfico 3.7 – VaR y ES FIMA- BTC



Elaboración Propia –Código R

Como se aprecia gráficamente el VaR obtenido de la cartera que optimiza el ratio de Sharpe (compuesta por 15.22% de Bitcoin) es levemente superior al FCI, tal como se observó en el cálculo de las volatilidades donde FIMA tiene una volatilidad de 12.74% vs 15.22% de la cartera propuesta.

3.6 Pruebas de Estrés

Para la realización de la prueba de estrés se va a considerar un periodo de alta volatilidad que haya ocurrido en el último lapso de tiempo. Para ello trabajaremos con los datos correspondientes al periodo de Agosto 2019, en el cual tanto las cotizaciones de los títulos como el tipo de cambio sufrieron fuertes shocks producto de las PASO 2019 y el reperfilamiento de los títulos públicos, lo que, por las calificadoras de riesgo, fue percibido como un “default selectivo”.

Realizar el análisis de la volatilidad al 30 de Agosto permite obtener las volatilidades y correlaciones en un momento de estrés, logrando así rearmar la matriz de varianzas y covarianzas y realizar nuevamente la metodología del VaR y *Expected Shortfall* donde se obtendrán resultados más extremos. Las ponderaciones a invertir en los activos que se calculó en el punto anterior, no se verán modificadas.



A continuación, se presentan los resultados al trabajar con una volatilidad correspondiente al escenario de estrés de Agosto de 2019 y posteriormente se comparan los resultados obtenidos de VaR y *Expected Shortfall* con las métricas obtenidas para la situación de normalidad calculadas en el punto 3.5.¹¹

- Volatilidades estresadas

Cuadro 3.22 – Volatilidades Agosto 2019 – situación de estrés

Consultatio	Compass	BTC
51.08%	71.06%	69.86%

Elaboración Propia –Código R

Se procede a marginar del análisis el FCI FIMA, dado que por su composición no se vio afectado por el escenario de estrés planteado. Como podemos ver gráficamente en el grafico 3.1 mantuvo estabilidad durante el periodo analizado, mostrando un aumento en la volatilidad hacia fin del 2019.

- Matriz de correlaciones

Cuadro 3.23 – Correlaciones estresadas

	Consultatio	Compass	BTC
Consultatio	1.0000	-0.6231	0.1990
Compass	-0.6231	1.0000	-0.2081
BTC	0.1990	-0.2081	1.0000

Elaboración Propia –Código R

- Matriz de varianza y covarianza (MVCV)

Cuadro 3.24 – Matriz de varianzas y covarianzas estresadas

	Consultatio	Compass	BTC
Consultatio	0.2610	-0.2262	0.0710
Compass	-0.2262	0.5051	-0.1033
BTC	0.0710	-0.1033	0.4881

Elaboración Propia –Código R

¹¹ Los códigos de este apartado se encuentran en el anexo 4, codificado en R-Studio

En función de la MVCV que se obtuvo perteneciente a un escenario de estrés reciente, vamos a analizar las volatilidades de las carteras con sus métricas de riesgo a distintos niveles de confianza.

- FCI Consultatio - Bitcoin

Esta cartera presenta una volatilidad estresada de 45,60%, la cual es significativamente superior al 20,78%, volatilidad obtenida en un escenario de normalidad.

Los resultados y el gráfico de la distribución para un nivel de confianza de 99% son los siguientes:

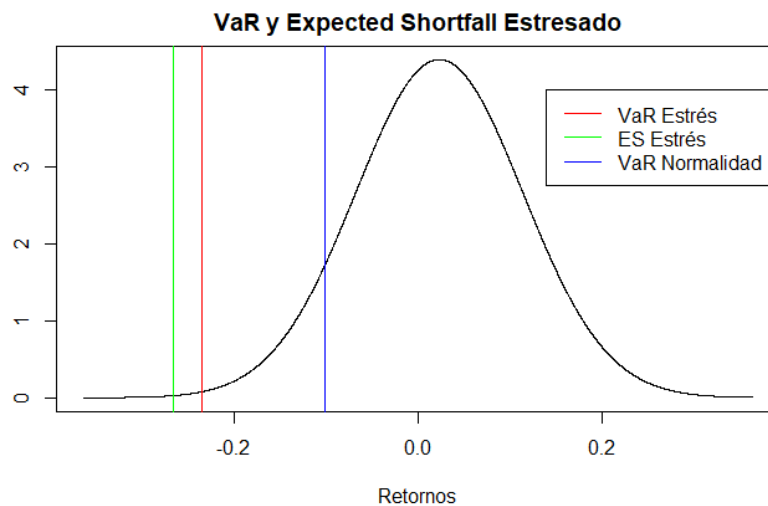
Cuadro 3.25 – VaR y ES estresado – Consultatio - BTC

Alfa	VaR	Expected Shortfall
95%	0.172786	0.210750
99%	0.234702	0.265489
99.9%	0.304104	0.329257

Elaboración Propia –Código R

El VaR y el Expected Shortfall presenta valores más extremos que para el escenario base, lo cual era esperable en la prueba de estrés.

Gráfico 3.8 – VaR y ES estresado Consultatio – BTC



Elaboración Propia –Código R

Se puede apreciar que el VaR calculado para la situación de normalidad es menor a la situación de estrés planteada. Estos valores obtenidos son una referencia que permite cuantificar un escenario poco frecuente, pero igualmente posible.

- FCI Compass – Bitcoin

Esta cartera presenta una volatilidad estresada de 48,44%, la cual es significativamente superior al 33,56%, volatilidad obtenida a partir de un escenario de normalidad.

Presentamos los resultados y el gráfico de la distribución para un nivel de confianza de 99%:

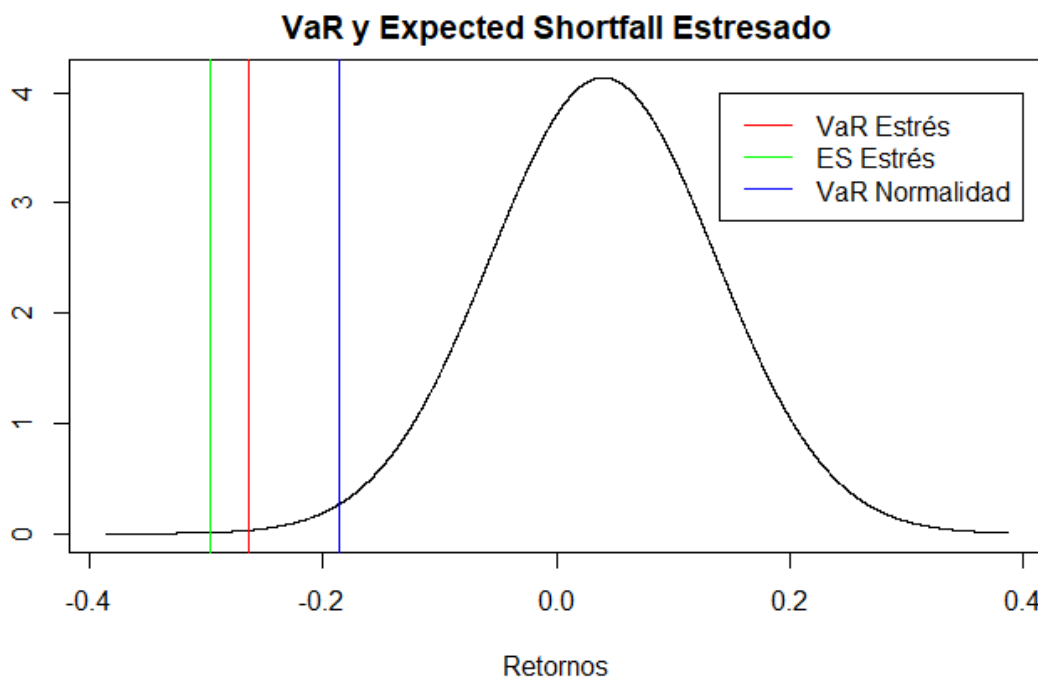
Cuadro 3.28 – VaR y ES estresado – Compass - BTC

Alfa	VaR	Expected Shortfall
95%	0.198558	0.238884
99%	0.264326	0.297028
99.9%	0.338044	0.364763

Elaboración Propia –Código R

El VaR y el Expected Shortfall presenta valores más extremos que para el escenario base, lo cual era esperable en la prueba de estrés.

Gráfico 3.9 – VaR y ES estresado Compass - BTC



Elaboración Propia –Código R

Podemos ver gráficamente que el VaR calculado para la situación de normalidad es menor a la situación de estrés planteada, al igual que con la cartera de Consultatio-Bitcoin. Estos



valores obtenidos son una referencia que permite cuantificar un escenario poco frecuente, pero igualmente posible, los cuales deben ser tomados en cuenta por el área de riesgos y elevados a la alta gerencia para la toma de decisiones.

En el próximo capítulo se presentan las conclusiones acerca de los resultados obtenidos, donde se observaron resultados satisfactorios respecto de la inclusión de bitcoin a las carteras de inversión, posibilitando disminuir el riesgo de la cartera y permitiendo optimizar la relación de riesgo asumido por unidad de rentabilidad.



Capítulo IV: Conclusiones y Futuras Líneas de Investigación

A través de este trabajo de investigación se realizó un análisis detallado del impacto producido en el riesgo de una cartera de títulos por la incorporación de criptomonedas, utilizando el Bitcoin como instrumento representativo de las criptomonedas por su capitalización de mercado y ser la precursora. En el primer capítulo se trabajó acerca de la tecnología *blockchain* y la potencialidad que esta posee para generar confianza y eliminar intermediarios en las transacciones, lo que se traduce en menores gastos y comisiones.

Cada protocolo necesita de una unidad monetaria para poder intercambiar valor y realizar transacciones. Estos protocolos/criptomonedas con el correr del tiempo fueron ganando popularidad y confianza en los consumidores por todas las posibilidades que ofrecen como por ejemplo adquirir monedas las cuales la emisión monetaria está regulada por un algoritmo y no por bancos centrales que generan emisión e inflación según las necesidades económicas y políticas, mayor transparencia en las transacciones con un registro público de los mismos, la posibilidad de que gente que se encontraba excluida del sector financiero y sin posibilidad de adquirir préstamos bancarios, pueda obtener financiamiento a través de las tecnologías *blockchain*. Es por esta razón que esta tecnología y las criptomonedas en la actualidad tienen una gran presencia en los mercados y su crecimiento será sostenido a través del tiempo, permitiendo que se estabilicen las volatilidades de estos instrumentos y aumenten su valor.

Se presentaron de forma teórica varias herramientas y métricas para poder analizar si es beneficiosa la incorporación de criptomonedas en una cartera de títulos y posteriormente fueron desarrolladas en forma práctica, lo que nos permitió vislumbrar que la incorporación de Bitcoin en las tres carteras de inversión logra disminuir la volatilidad, obteniendo así las carteras de mínima varianza. Adicionalmente, al analizar las composiciones de las carteras que optimizan el ratio de Sharpe, vemos que aumenta la participación de Bitcoin (con proporciones que van desde un 15% a 33% del total del portfolio), logrando incrementar los rendimientos en gran cuantía sin incurrir en un aumento significativo de la volatilidad (inclusive la cartera Compass-Bitcoin posee una volatilidad inferior a la del FCI, con un retorno 19% superior). Estos resultados obtenidos permiten concluir que es beneficiosa la incorporación de criptomonedas en carteras de inversión debido a que, por un lado, logran disminuir el riesgo de la cartera sin afectar los retornos estimados, y, por otro lado, las características que presentan estos protocolos generarán una revolución financiera logrando que más gente logre acceder a su uso, generando un aumento sostenido a lo largo del tiempo



y lograrán estabilizar sus volatilidades. Asimismo, debemos mencionar que la variación en el nivel de riesgo al que se encuentra sujeta la cartera de inversión afecta la exigencia de capital de la entidad. La disminución del riesgo permite reducir el nivel de capital que se encuentra reservado a la cobertura del riesgo de mercado, lo que tiene un impacto directo en los resultados de la entidad, ya que la compañía podrá disponer de más recursos para fomentar su modelo de negocio.

Esta investigación atraviesa algunos puntos que requieren un análisis más profundo, posibilitando futuras líneas de investigación. En primer lugar, debemos mencionar las regulaciones y prohibiciones que los países realizan sobre las criptomonedas y particularmente sobre el Bitcoin. Estas prohibiciones y aceptaciones de estos instrumentos impactan en los precios de los mismos en gran medida y es una de las causas que generan altas volatilidades en los instrumentos. En la medida que estas situaciones maduren, las cotizaciones de las criptomonedas disminuirán su volatilidad. En segundo lugar, se podría analizar la performance de las criptomonedas en la situación de la pandemia mundial que está atravesando el mundo en el año 2020. La llegada del COVID – 19 generó descalabros económicos y sociales para los cuales los gobiernos se ven en la necesidad de conformar “fondos de recuperación”, (lo cual implica emisión monetaria) con el objetivo de asistir a sus ciudadanos y empresas que se encuentran más vulnerables. Estas medidas resultarán inflacionarias y es posible que muchas de las personas busquen resguardo en monedas antiinflacionarias como es el Bitcoin, el cual tiene una emisión programada y con un tope en 21 Millones de Bitcoin. Es muy factible ver una evolución positiva en los precios y en la transaccionalidad, generando una mayor adopción de estas nuevas tecnologías por parte de las personas.



Referencias Bibliográficas

- Alboniz, César; Casparri, Maria Teresa; Herrera Pablo (2017). Regulación macroprudencial y gestión integral de riesgos en el mercado argentino. Buenos Aires. http://www.economicas.unsa.edu.ar/afinan/informacion_general/sadaf/xxxvii_jornadas/xxxvii-j-albornoz-casparri-herrera.pdf
- Ammous, Saifedean. H. (2016). Blockchain Technology: What is it Good for? [en línea]. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2832751
- Banco Central de la República Argentina. (2011). Com “A” 5203. Buenos Aires
- Banco Central de la República Argentina. (2013). Com “A” 5398. Buenos Aires
- Banco Central de la República Argentina. (2013). Com “A” 5515. Buenos Aires
- Banco Central de la República Argentina. (2015). Com “A” 5867. Buenos Aires
- Banco Central de la República Argentina. (2008). Prueba de tensión. Relevamiento del sistema financiero. Buenos Aires
- Basel Committee on banking supervision (1996). Ammendment to the Capital Accord to Incorporate Market Risks. Basilea, Suiza.
- Basel Committee on banking supervision (2005). Ammendment to the Capital Accord to Incorporate Market Risks. Basilea, Suiza
- Bessis, Joel. (2015) - Risk Management in Banking-Wiley. Mc Graw Hill: Nueva York, EE UU
- Bodie, Z., Kane, A., & Marcus, A. J. (2014). Investments (Tenth edition). McGraw-Hill Education.



- Christoffersen, Peter F. (2003) - Elements of Financial Risk Management-Academic Press.
- Crosby, M (2016). Blockchain Technology: Beyond Bitcoin. Applied Innovation Review [en línea]. <http://scet.berkeley.edu/wp-content/uploads/AIR-2016-Blockchain.pdf>
- Hull, J. (2012). Options, futures, and other derivatives (8th ed). Prentice Hall. Nueva York, EEUU
- Jorion, Philippe. (2006) - Value at Risk, The New Benchmark for Managing Financial Risk- (3rd Ed). McGraw-Hill. Nueva York, EEUU.
- Jorion, Philippe. (2003) - Value at Risk, The New Benchmark for Managing Financial Risk- (2nd Ed). McGraw-Hill. Nueva York, EEUU.
- Kupiek P. (1998). Stress testing in a value at risk framework. The journal of derivatives
- Leal, A. (2017). «Banco Central Europeo define la blockchain como ‘fuerza transformadora’ financiera». Criptonoticias.com. <https://criptonoticias.com/bancos/banco-central-europeo-define-a-blockchain-como-fuerzatransformadorafinanciera/#axzz4lkKrlFRL>
- Masci, Martin Ezequiel; Dufour, Leonardo Andres (2018). Gestión del Riesgo de Mercado en organizaciones bancarias. Buenos Aires. Recuperado de <http://www.economicas.uba.ar/wp-content/uploads/2017/11/Masci-M.-y-Dufour-L.-Gesti%C3%B3n-del-riesgo-de-mercado-en-organizaciones-bancarias.pdf>
- Nakamoto, Satoshi. (2008). A peer-to-peer electronic cash system
- Patterson, Steve. (2015). What’s the big deal about bitcoin. Independent Publishing.
- Rivero, J. (2017). «Banco Central de China abre Centro de Investigación de Monedas Digitales». Criptonoticias.com [en línea]. <https://criptonoticias.com/bancos/banco-popular-china-centro-investigacion-monedasdigitales/#axzz4lkKrlFRL>



- Tapscott, D (2016). Blockchain revolution. Penguin Publisher Group. Nueva York. EEUU



Anexos

1. Fuente de recopilación de información

Presentamos en este anexo las fuentes de información utilizada.

Cotizaciones y Bases Monetarias de Criptomonedas:

Bitcoin (BTC): <https://finance.yahoo.com/quote/BTC-USD/>

Ethereum (ETH): <https://finance.yahoo.com/quote/ETH-USD?p=ETH-USD&.tsrc=fin-srch>

Ripple (XRP): <https://finance.yahoo.com/quote/XRP-USD?p=XRP-USD&.tsrc=fin-srch>

Bitcoin Cash (BCH): <https://finance.yahoo.com/quote/BCH-USD?p=BCH-USD&.tsrc=fin-srch>

Base Monetaria Criptomonedas: <https://www.coingecko.com/es/monedas/all>

Cotizaciones Índices y Commodities

S&P: <https://finance.yahoo.com/quote/%5EGSPC?p=^GSPC&.tsrc=fin-srch>

Oro: <https://finance.yahoo.com/quote/GC=F?p=GC=F>

Brent: <https://finance.yahoo.com/quote/BZ=F?p=BZ=F&.tsrc=fin-srch>

Fondos Comunes de Inversión:

Consultatio: <https://amers1.apps.cp.thomsonreuters.com/web/Apps/FundDetails?s=LP68163527&st=RIC&navigate=overviewpage>

Compass: <https://amers1.apps.cp.thomsonreuters.com/web/Apps/FundDetails?s=LP65067464&st=RIC&navigate=overviewpage>

FIMA: <https://amers1.apps.cp.thomsonreuters.com/web/Apps/FundDetails?s=LP68370553&st=RIC&navigate=overviewpage>



2. código R – Armado General

```
library(readxl)
library(xts)
options(scipen = 999)
preciosimportados <- read_excel("E:/Otros/MGEyFR/Tesis MS/Bases/precios.xlsx")
preciosimportados <- preciosimportados[,-5] #Eliminamos Allaria
precios <- preciosimportados[1:686,] #Cortamos base hasta diciembre2019
precios_252_inicial <- tail(precios, n=252) #Cortamos base para 252 ruedas
precios_252 <- precios_252_inicial[,2:5]
rownames(precios_252) <- precios_252_inicial$Fecha
summary(precios_252)
consultatio <- precios_252$Consultatio #ANALIZO Consultatio
consultatio_log <- as.data.frame(diff(log(consultatio)))
sqrt(var(consultatio_log))*sqrt(251)

compass <- precios_252$Compass #ANALIZO Compass
compass_log <- as.data.frame(diff(log(compass)))
sqrt(var(compass_log))*sqrt(251)

fima <- precios_252$FIMA #ANALIZO FIMA
fima_log <- as.data.frame(diff(log(fima)))
sqrt(var(fima_log))*sqrt(251)

BTC <- precios_252$BTC #ANALIZO BTC
BTC_log <- as.data.frame(diff(log(BTC))) #DF BTC logretorno
sqrt(var(BTC_log))*sqrt(251) #Volatilidad de los retornos BTC

logretornos <- cbind(consultatio_log, compass_log, fima_log, BTC_log)
names(logretornos) <- c("Consultatio", "Compass", "FIMA", "BTC")
summary(logretornos)
retorno_diario <- sapply(logretornos, mean)
retorno_anual <- retorno_diario * 252
dsdiario <- sapply(logretornos, sd)
dsdiario*sqrt(252)
DesvioEstandar(logretornos$BTC, 0.94) #Volatilidad EWMA
VarEWMA <- sapply(logretornos, DesvioEstandar)
DesvEWMA <- sqrt(VarEWMA)

#Correlación y MVCV
cor <- cor(logretornos)
preMVCV <- DesvEWMA%*%t(DesvEWMA)
MVCV <- cor*preMVCV

#Armado de las ponderaciones
volConsultatio <- MVCV[1,1]
volCompass <- MVCV[2,2]
volFIMA <- MVCV[3,3]
volBTC <- MVCV[4,4]
COVConsultatioBTC <- MVCV[4,1]
COVCompassBTC <- MVCV[4,2]
COVFIMABTC <- MVCV[4,3]

wconsul <- Weigth(volConsultatio, volBTC, COVConsultatioBTC)
wbtcconsul <- 1 - wconsul
wcompass <- Weigth(volCompass, volBTC, COVCompassBTC)
```



```
wbtcompass <- 1 - wcompass
wfima <- Weigth(volFIMA, volBTC, COVFIMABTC)
wbtfima <- 1-wfima

#CONSULTATIO BTC
mu1 <- wconsul * mean(logretornos$Consultatio)*252 + wbtconsul * mean(logretornos$BTC)*252
var1 <- wconsul^2 * (MVCV[1,1]) + wbtconsul^2*(MVCV[4,4]) + 2 * wconsul * wbtconsul *
COVConsultatioBTC
vol1 <- sqrt(var1)

#COMPASS BTC
mu2 <- wcompass * mean(logretornos$Compass)*252 + wbtcompass * mean(logretornos$BTC)*252
var2 <- wcompass^2 * (MVCV[2,2]) + wbtcompass^2*(MVCV[4,4]) + 2 * wcompass * wbtcompass *
COVCompassBTC
vol2 <- sqrt(var2)

#FIMA BTC
mu3 <- wfima * mean(logretornos$FIMA)*252 + wbtfima * mean(logretornos$BTC)*252
var3 <- wfima^2 * (MVCV[1,1]) + wbtfima^2*(MVCV[4,4]) + 2 * wfima * wbtfima * COVFIMABTC
vol3 <- sqrt(var3)
```



3. Código R - VaR y Expected Shortfall

```
Library(ggplot2)
mu <- mu3*10/252
sigma <- volshock3 *sqrt(10/252)
xvals <- seq(from = -4*sigma, to = 4*sigma, length.out = 10000)
ndens <- dnorm(xvals, mean = mu, sd = sigma)
plot(xvals, ndens, type = "l", xlab = "Retornos", ylab = "", main = "VaR y Expected Shortfall")
# Compute the 99% VaR and 99% ES of a N(mu, sigma^2) distribution
VaR95 <- qnorm(0.95, mean = mu, sd = sigma)
ES95 <- ESnorm(0.95, mu = mu, sd = sigma)
VaR99 <- qnorm(0.99, mean = mu, sd = sigma)
ES99 <- ESnorm(0.99, mu = mu, sd = sigma)
VaR99.9 <- qnorm(0.999, mean = mu, sd = sigma)
ES99.9 <- ESnorm(0.999, mu = mu, sd = sigma)
# Incorpora lineas
abline(v = -VaR99, col = "red")
abline(v = -ES99, col = "green")
legend(0.2,8, c("VaR", "ES"), lwd= c(1,1), col=c("red","green"))

alfa <- c("95%", "99%", "99.9%")
VaR <- c(VaR95, VaR99, VaR99.9)
ES <- c(ES95, ES99, ES99.9)
data.frame(alfa, VaR, ES)
```



4. Funciones Adicionales R

```
#Formula desvio EWMA
DesvioEstandar <- function(Desvios, lambda){
  n = length(Desvios)
  SumaL = 0
  SumaD = 0
  SumaDE = 0
  for (i in 1:n){
    SumaD = SumaD + Desvios[i] * lambda^(n-i)
    SumaL = SumaL + lambda^(n-i)
  }
  Media = SumaD/SumaL
  for (i in 1:n){
    SumaDE = SumaDE + ((Desvios[i]-Media)^2) * lambda^(n-i)
  }
  VolatExpo = sqrt(SumaDE/SumaL*252)
  return (VolatExpo)
}

# Weight para carteras eficientes

Weigth <- function(volx, voly, covxy){

  W = (voly - covxy)/(volx + voly - 2*covxy)
  return (W)
}
```




5. Simulación de cartera para Ratio de Sharpe - Python

```
#Librerias
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import yfinance as yf
from scipy.optimize import minimize
import statsmodels.api as sm
import scipy.stats as scs
import os

pd.set_option('display.notebook_repr_html', False)
pd.set_option('display.max_columns', 7)
pd.set_option('display.max_rows', 10)
pd.set_option('display.width', 82)
pd.set_option('precision', 3)

os.chdir("C:\\Users\\MS38688\\Desktop\\Mati\\Tesis MS\\bases")

#Importar base de datos
file = 'precios.xlsx'
xls = pd.ExcelFile(file)
print(xls.sheet_names)
cartera = xls.parse('cotizaciones')
cartera = cartera.set_index("Fecha")
cartera = cartera.dropna()
cartera = cartera.tail(252)
data = cartera[['Compass', 'BTC']]

#Seteo los parametros
N_PORTFOLIOS = 10000 #cantidad de portafolios simulados
N_DAYS = 252
n_assets = 2

#graficos la evolución de los precios de los activos a considerar
data.plot(title='Precios de los activos considerados')
cartera.plot
#muestro las n series temporales, pero normalizados para que empiecen en 100
(data / data.iloc[0] * 100).plot(figsize=(8, 6), grid=True, title='Precios de los activos considerados')
#calculo retornos logaritmicos
ret_1 = np.log(data/data.shift(1))
ret_1 = ret_1.dropna()
ret_1.head()

ret_1.plot(title='Retorno diario de los activos considerados')
ret_1.hist(bins=50, figsize=(9, 6))

#Retorno de cada activo
ret_prom = ret_1.mean()
ret_act1 = ret_prom[0] * N_DAYS
ret_act2 = ret_prom[1] * N_DAYS

#Matriz de varianzas y covarianzas
mat_cov = ret_1.cov()
desvios = ret_1.std()
desvio_act1 = desvios[0] * np.sqrt(N_DAYS)
```



```
desvio_act2 = desvios[1] * np.sqrt(N_DAYS)
#Por cada portafolio de las N simulaciones, calculamos las ponderaciones,
#el retorno, la volatilidad y el SR.
for i in range(N_PORTFOLIOS):
    weights=np.array(np.random.random(n_assets))
    weights=weights/np.sum(weights)
    all_weights[i,:]= weights
    ret_arr[i] = np.sum((ret_prom * weights) * N_DAYS)
    vol_arr[i] = np.sqrt(np.dot(weights.T, np.dot(mat_cov * N_DAYS, weights)))

for i in range(N_PORTFOLIOS):
    sharpe_arr[i] = ret_arr[i]/vol_arr[i]

#Análisis de resultados
print("El Sharpe Ratio Max es: " + str(sharpe_arr.max()))
print("en el Portafolio número: " + str(sharpe_arr.argmax()))
print("La Menor Volatilidad es: " + str(vol_arr.min()))
print("en el Portafolio número: " + str(vol_arr.argmin()))
print()
print('Proporciones:\n')
print("Consultatio: " + str(round(all_weights[sharpe_arr.argmax(),:][0]*100,2)) + "%")
print("BTC: " + str(round(all_weights[sharpe_arr.argmax(),:][1]*100,2)) + "%")

#Gráfico
max_sr_ret = ret_arr[sharpe_arr.argmax()]
max_sr_vol = vol_arr[sharpe_arr.argmax()]
min_vol = vol_arr[vol_arr.argmin()]
ret_min_vol = ret_arr[vol_arr.argmin()]

plt.figure(figsize=(20,10))
plt.scatter(vol_arr,ret_arr,c=sharpe_arr,cmap='RdYlGn')
plt.colorbar(label='Sharpe Ratio')
plt.xlabel('Volatilidad', fontsize=25, color='black')
plt.ylabel('Retorno', fontsize=25, color='black')
plt.title('Portafolios simulados: ',fontsize=25, color='black')
plt.scatter(max_sr_vol,max_sr_ret,c='red',marker='*',s=250,label='Max Sharpe Ratio')
plt.scatter(min_vol,ret_min_vol,c='black',marker='X',s=250,label='Min Vol')
plt.scatter(desvio_act1,ret_act1,c='black',marker='d',s=200,label='FIMA')
plt.scatter(desvio_act2,ret_act2,c='black',marker='>',s=200,label='BTC')
plt.tick_params(axis='both', colors='blue', labels=20)
plt.legend(loc='center right', fontsize=17)
plt.show()
```