



Escuela de Ingeniería en Computación
Programa de Maestría

**Diseño y simulación de un sistema de control basado en SPC para la
regulación de criptomonedas**

Tesis presentada en cumplimiento con los requisitos para el grado de
Magister Scientiae en Ciencias de la Computación.

Autor: *Renán Eduardo Morera Salazar*

Supervisor: *José Castro Mora, Ph.D.*

Por la presente declaro que esta disertación es enteramente obra mía, salvo lo indicado en el texto.

Diseño y simulación de un sistema de control basado en SPC para la regulación de criptomonedas © 2024 by
Renán Eduardo Morera Salazar is licensed under CC BY-NC-ND 4.0



20-Junio-2024

ACTA DE APROBACION DE TESIS

Diseño y simulación de un sistema de control basado en SPC para la
regulación de criptomonedas

Por: Renán Eduardo Morera Salazar

TRIBUNAL EXAMINADOR

JOSE RAFAEL CASTRO MORA (FIRMA)
PERSONA FISICA, CPF-01-0653-0432.
Fecha declarada: 22/06/2024 02:06:49 PM
Esta es una representación gráfica únicamente,
verifique la validez de la firma.

Dr. José Castro Mora
Profesor Asesor

TOMAS DE
CAMINO
BECK (FIRMA)

Firmado digitalmente
por TOMAS DE
CAMINO BECK (FIRMA)
Fecha: 2024.06.23
06:36:24 -06'00'

Dr. Tomás de Camino Beck
Profesor Lector

IGNACIO
TREJOS
ZELAYA
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por IGNACIO TREJOS
ZELAYA (FIRMA)
Fecha: 2024.06.23
10:53:58 -06'00'

MSc. Ignacio Trejos Zelaya
Profesor Lector

MARIELLA
COTO
QUESADA
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
MARIELLA COTO
QUESADA (FIRMA)
Fecha: 2024.07.06
06:35:51 -06'00'

MBA. Mariella Coto Quesada
Lector Externo



LILIANA SANCHO CHAVARRIA (FIRMA)
PERSONA FISICA, CPF-03-0257-0983.
Fecha declarada: 15/07/2024 10:07:13 AM

Dra.-Ing. Lilliana Sancho Chavarría
Presidente, Tribunal Evaluador Tesis
Programa Maestría en Computación



20 de junio, 2024

Resumen

El presente trabajo se propone estudiar los requerimientos para el diseño y simulación de un sistema de control basado en el control estadístico de procesos¹ para la regulación de criptomonedas.

En años recientes, han aparecido una gran cantidad de diferentes criptomonedas a nivel mundial, las cuales operan con poco o casi nulo control por parte de los usuarios. Se ha pretendido por parte de los desarrolladores de estos productos que se adopten como herramienta monetaria² como alternativa de sustitución del dinero físico o moneda circulante [1].

El tema a explorar en esta propuesta es el de analizar las criptomonedas actuales y elaborar una crítica sobre ellas con el objetivo de validar si estas han sido útiles o no para su uso como moneda de intercambio, se aborda el tema mediante el planteamiento del problema y se diseñan experimentos para simular su comprobación. Se pretende hacer una propuesta formal basado en el análisis, ello debido a que las criptomonedas tienen el problema del anonimato, son altamente especulativas, manipulables, volátiles y no hay un ente regulador en ningún país².

Con el fin de evitar que las criptomonedas sean vistas como títulos de valor o inversión y que puedan llegar a ser aceptadas como moneda digital estable de curso legal para el pago e intercambio de bienes y servicios; se propone incluir el factor humano en su etapa de diseño para controlar la estabilidad de la criptomoneda, cuando esta sea afectada por variables externas que no son consideradas por las máquinas ni la inteligencia artificial hasta ahora. Se pretende que este factor humano de control sea descentralizado y con un mecanismo de gobierno democrático.

La propuesta de gobernabilidad incluye un sistema de monitoreo y control estadístico para lograr la estabilidad en el precio mediante la identificación y análisis de variables externas por parte del factor humano y que ninguna otra criptomoneda tiene, o al menos no hay constancia de que lo tenga con el fin de lograr una gobernabilidad democrática en la toma de decisiones sobre su estabilidad en el valor, que sea descentralizada en su tecnología blockchain, que tenga seguridad contra hackeo y que además logre estabilidad.

Hacemos un análisis del estado del arte, identificando los defectos que tienen para realizar una propuesta de criptomoneda que sí funcione y con la aprobación de medidas correctivas por entes que la gobiernen con el fin de generar confianza al usuario y estabilidad en su valor.

Palabras clave: Control, Límites, Gráfico, Criptomoneda, Gobernabilidad, Estable, Inestabilidad, Comportamiento, Modelo, SPC.

¹Conocido como SPC por sus siglas del inglés *Statistical Process Control*.

²Publicación del Fondo Monetario Internacional. “Una nueva era para el dinero”. Eswar Prasad. Sept 2022 [1]

Abstract

The present work aims to study the requirements for the design and simulation of a control system based on Statistical Process Control (SPC)³ for cryptocurrency regulation.

In recent years, a large number of different cryptocurrencies have emerged worldwide, operating with little or almost no control by users. Developers of these products have intended for them to be adopted as a monetary tool⁴ as an alternative to physical money or circulating currency [1].

The topic to explore in this proposal is to analyze the current cryptocurrencies and develop a critique of them to validate whether they have been useful or not for use as an exchange currency. The approach involves problem formulation and designing experiments to simulate their verification. A formal proposal based on the analysis is intended, due to the fact that cryptocurrencies have the problem of anonymity, are highly speculative, manipulable, volatile, and lack a regulatory entity in any country⁴.

To prevent cryptocurrencies from being seen as securities or investment assets and to be accepted as stable digital currency for legal payment and exchange of goods and services, it is proposed to include the human factor in the design stage to control the stability of the cryptocurrency when affected by external variables not considered by machines or artificial intelligence so far. This human control factor is intended to be decentralized with a democratic governance mechanism.

The governance proposal includes a monitoring and statistical control system to achieve price stability by identifying and analyzing external variables by the human factor, which no other cryptocurrency has, or at least there is no evidence that it has it to achieve democratic governance in decision-making about its value stability, decentralization in its blockchain technology, security against hacking, and achieving stability.

We conduct a state-of-the-art analysis, identifying the defects they have to make a proposal for a cryptocurrency that works, with the approval of corrective measures by governing entities to generate user trust and stability in its value.

Keywords: Control, Limits, Graphic, Cryptocurrency, Governance, Stable, Instability, Behavior, Model, SPC.

³Known by its english acronym “SPC”

⁴Publication from Eswar S. Prasad. Article: “A new era for money”, International Monetary Fund. Finance & Development Magazine, Sept 2022

1. Agradecimiento

En primer lugar quiero dar gracias a Dios por haber permitido completar estos estudios, le dedico este trabajo a mis padres que aunque ya no están con nosotros, siempre me motivaron y apoyaron para seguir superándome día con día, desde pequeño me guiaron para enfrentar los retos y problemas que sabían traería la vida, me enseñaron a no rendirme y a buscar soluciones a los problemas, me ayudaron a prepararme para el futuro y su enseñanza quedó grabada en mí.

Agradezco a mis hermanos Gilbert, Ita, Evelyn, a mis hijas Valeria, Marianne y Laura, y a todas aquellas personas que me acompañaron durante estos años de estudio y superación. A los amigos y compañeros del TEC, especialmente a los profesores Dr. José Castro Mora, Dr. Tomás de Camino Beck, Dr. Francisco Torres Rojas y Msc. Ignacio Trejos Zelaya de quienes recibí buenos consejos, una amable atención y siempre con una sonrisa me brindaron una valiosa guía y motivación para seguir adelante. Su estilo de enseñanza, asesoramiento y tutoría me han servido para desarrollarme en esta área de Ingeniería en Ciencias de la Computación con una mente creativa y analítica.

Renán Eduardo Morera Salazar, Junio 2024.

Índice

1. Agradecimiento	3
Índice de figuras	8
2. Introducción	11
2.1. Consideraciones preliminares	11
2.2. Disclaimer: delimitación y alcance de nuestra propuesta	11
2.3. Objetivo General	12
2.4. Objetivos Específicos	12
2.5. Alcances	13
2.6. Limitaciones	14
3. Trabajo relacionado	16
4. Planteamiento del Problema	18
5. Hipótesis	19
6. Metodología	20
7. Marco Teórico	21
7.1. Fundamentos del Control Estadístico de Procesos	21
7.1.1. Definición Control Estadístico de Procesos (SPC)	22
7.1.2. La variabilidad	22
7.1.3. Diagrama de Ishikawa como herramienta en SPC	24
7.1.4. Uso de la gráfica de control estadístico	24
7.1.5. Definición de puntos fuera de control	25
7.1.6. Identificación de tendencias en las gráficas de Control Estadístico	26
7.1.7. Interpretación de la gráfica de control	28
7.1.8. ¿Cómo se sabe si el proceso (valor) está fuera de control?	29
7.1.9. La calidad es una responsabilidad de todos en la organización	29
7.2. Inteligencia Artificial en el Control Estadístico de Procesos	30
7.3. ISO y la estandarización del control de calidad	31
7.3.1. Las normas ISO más utilizadas en distintos sectores	31
7.3.2. Norma ISO 24165 para uso en criptomonedas	32
7.4. Introducción a conceptos básicos de la economía de mercados	33
7.4.1. Vocabulario utilizado	33
7.4.2. Principios básicos de la economía	34
7.4.3. Introducción a la oferta y la demanda	35
7.4.4. Efecto de exceso de oferta o demanda en las criptomonedas	37
7.4.5. Modelo de valoración de activos de capital (CAPM)	38
7.5. Introducción a las criptomonedas	41
7.5.1. El blockchain en el proceso de una criptomoneda	41
7.5.2. Resumen de su funcionamiento	41
7.5.3. Organización y formación del blockchain	42
7.5.4. Conceptos de Nodos, Minería y Contratos Inteligentes en blockchain	43
7.6. Características de las criptomonedas	44
7.6.1. Volatilidad	44

7.6.2.	Ejemplos de Volatilidad de las stablecoins	45
7.6.3.	Variabilidad de las criptomonedas estables (<i>stablecoins</i>)	47
7.6.4.	Análisis de las causas de la volatilidad en las criptomonedas estables	48
7.6.5.	Impacto de la volatilidad en inversores y mercados	50
7.6.6.	Liquidez en las criptomonedas	52
7.7.	Las criptomonedas estables	53
8.	Propuesta de gobernabilidad	55
8.1.	Gobernabilidad en criptomonedas estables	55
8.1.1.	El control está en manos de unos pocos	55
8.1.2.	Existe falta de transparencia	55
8.1.3.	No hay descentralización al 100 %	55
8.1.4.	Operan sin ninguna regulación	56
8.1.5.	Sin respaldo alguno	56
8.1.6.	No resuelven el problema	56
8.1.7.	Validez de la propuesta planteada	56
8.2.	Identificación de variables para estabilidad del valor monetario	57
8.2.1.	Variables identificadas en uso por las criptomonedas estables	57
8.2.2.	Variable no utilizada actualmente por las criptomonedas	57
8.3.	Requisitos identificados en una criptomoneda estable	58
8.4.	Otros requisitos identificados	58
8.5.	Propuesta para implementación de gráfica de control SPC	59
8.5.1.	Pseudocódigo para generar la gráfica de control SPC con datos reales	60
8.5.2.	Implementación de control SPC para la variación de precios en criptomonedas	62
8.5.3.	Generación de la gráfica de control SPC en criptomonedas estables	65
8.5.4.	Pseudocódigo para importar datos de criptomonedas en tiempo real	65
8.6.	Simulación de control con SPC para criptomonedas estables	67
8.6.1.	Modelo Actual de control	67
8.6.2.	Pseudocódigo para importar los datos y generar gráfica de control SPC	67
8.6.3.	Modelo propuesto de control con SPC para Criptomonedas	69
8.6.4.	Simulación de gráficas de control SPC	71
8.6.5.	Pseudocódigo para simulación de control de precios con opción de pánico externo	72
8.7.	Experimentos propuestos	74
8.7.1.	Experimento #1:	74
8.7.2.	Experimento #2:	75
8.7.3.	Pseudocódigo para simulación de una nueva criptomoneda estable Patacoin	77
9.	Propuesta de gobernabilidad en criptomonedas estables	79
9.1.	Modelo de control utilizando el control estadístico (SPC)	79
9.2.	La oferta y la demanda en el sistema de control propuesto	80
9.2.1.	Vocabulario y definiciones utilizadas	80
9.2.2.	Prueba de concepto propuesto con oferta y demanda	83
9.2.3.	Determinación de la Capacidad del Proceso en las criptomonedas	84
9.2.4.	Reglas de SPC para interpretación de gráficas de control	89
9.3.	El factor humano en el modelo de control	90
9.3.1.	Variables externas no perceptibles por algoritmos	91
9.3.2.	La participación humana en el control de gobernabilidad	92
9.3.3.	Pseudocódigo para simular la activación del comité director	95

9.3.4. Flujo de respuesta y acciones a tomar por el Comité Director (RFC)	96
9.4. Modelo de interacción humana en las criptomonedas	97
9.4.1. Descripción del funcionamiento con participación humana	99
10.Propuesta de control humano y el blockchain	100
10.1. Modelo de control híbrido: blockchain e interacción humana	100
10.2. Creación del fondo de reserva desde el blockchain	100
10.2.1. Procedimiento de inclusión en el blockchain y participación humana	101
10.2.2. Pseudocódigo para simulación de generación de fondo de reserva en Blockchain	102
10.2.3. Uso del fondo de reserva como contingencia	103
10.3. La oferta y la demanda para estabilizar el precio en el mercado	105
10.3.1. Aplicación de la oferta y demanda en el mercado de criptomonedas	105
10.3.2. Acciones para lograr la estabilidad en el punto de equilibrio	106
10.3.3. Pseudocódigo para determinar la oferta y la demanda de una criptomoneda estable	107
11.Análisis y discusión de resultados	109
12.Conclusiones	113
12.1. Estatus para ser aceptadas como moneda:	113
12.2. Factores externos, variabilidad y volatilidad:	115
12.3. Control automático o semi-automático con interacción humana:	115
12.4. El cuestionamiento de la descentralización:	116
12.5. Implementación del control SPC y participación humana:	116
12.6. Creación del fondo de reserva en dinero e interacción humana:	117
13.Recomendaciones	118
13.1. Inclusión de un sistema de control y gobernabilidad con participación humana . . .	118
13.2. Diseño e inclusión de plan de contingencia desde el blockchain	118
13.3. Incluir un sistema de control estadístico (SPC)	120
13.3.1. Ejemplos reales de no contar con una herramienta de control y alerta temprana	120
13.4. Tener un fondo de reserva en moneda fiduciaria para contingencias	121
13.5. Conformación de un Comité Director descentralizado	121
13.6. Contratación de un equipo administrativo externo	123
13.7. Ser considerada una criptomoneda estable	123
13.7.1. Seguridad criptográfica de ultima generación	123
13.7.2. Que requiera tener un valor estable	123
13.8. El factor humano en el control	124
13.9. Legislación y regulación territorial	124
14.Trabajo a futuro	125
15.Referencias	127
Apéndices	134
A. Datos de precios últimas 24 horas de Tether, USD-Coin, Binance-USD, DAI.	
Fecha: 26-Febrero-2024	134
A.1. Tabla 1 de 4 con datos de precios	134
A.2. Tabla 2 de 4 con datos de precios	134

A.3. Tabla 3 de 4 con datos de precios	134
A.4. Tabla 4 de 4 con datos de precios	134
B. Mecanismos de consenso en criptomonedas	139
B.1. Prueba de Trabajo - PoW (Proof of Work)	139
B.2. Prueba de Participación - PoS (Proof of Stake):	140
B.3. Algorand (<i>“Algorithmic Randomness”</i>):	141
C. Diferencias entre criptomonedas y dinero real	144
C.1. Criptomonedas estables (Stablecoins)	144
C.2. Moneda real (fiduciaria)	144
D. Scripts en Python utilizados para la simulación	146
D.1. Script #1: Simulación de gráfica de control SPC en una criptomoneda	146
D.2. Script #2: Simulación de monitoreo SPC para activación del Comité Director	152
D.3. Anexo #3: Gráfica de control SPC con datos reales utilizando API	158
D.4. Anexo #4: Extracción de datos reales con API para análisis SPC (24h/10min)	161
D.5. Anexo #5: Creación de fondo de reserva desde el blockchain de la criptomoneda	164
D.6. Anexo #6: Determinación de la oferta y la demanda para una criptomoneda estable	166
D.7. Anexo #7: Simulación de PataCoin vr criptomonedas reales	171
D.7.1. Anexo #7A: Gráficas de la simulación del PataCoin	178
D.7.2. Anexo #7B: Gráficas de la simulación del PataCoin vr criptomonedas reales	179

Índice de figuras

1.	Proceso de producción como un sistema	21
2.	Gráfica de control estadístico de procesos	22
3.	Fuentes de variabilidad de un proceso.	23
4.	Diagrama de Ishikawa (o de causa-efecto)	24
5.	Patrones de anormalidad en una gráfica de control.	25
6.	Ejemplo de un punto fuera de control	26
7.	Lectura e interpretación de gráficos estadísticos.	27
8.	Vista de una gráfica de control estadístico en SPC.	28
9.	Logos oficiales de la organización ISO registrados	31
10.	Curva de demanda de un bien (izq) y curvas de cambio en la demanda (der)	36
11.	Curva de oferta de un bien (izq) y curvas de cambio en la oferta (der)	36
12.	Exceso de Demanda en las curvas de oferta y demanda	37
13.	Exceso de Oferta en las curvas de oferta y demanda	38
14.	Punto de Equilibrio en las curvas de oferta y demanda	38
15.	Ejemplo de enlace de bloques en el blockchain	42
16.	Valor de mercado de las stablecoins al 30 de Mayo 2023.	46
17.	Valor de mercado de las stablecoins al 8 de Agosto 2023.	46
18.	Variabilidad de Tether en 24 horas 5/oct/2023 [23]	47
19.	Variabilidad de Binance-USD en 24 horas 5/oct/2023 [24]	47
20.	Variabilidad de USD-Coin en 24 horas 5/oct/2023 [25]	48
21.	Variabilidad de DAI en 24 horas 5/oct/2023 [26]	48
22.	Impacto del Covid-19 en los mercados de USA, Unión Europea y Japón	49
23.	Impacto en el precio de criptomonedas por quiebra del SVB Bank-Marzo 2023	51
24.	Cuadro comparativo de las criptomonedas estables	53
25.	Gráfica de control SPC últimas 24 horas monitoreadas cada 10 min	60
26.	Distribución normal y sus porcentajes respecto de la desviación estándar	62
27.	Curva de distribución normal y elementos de una gráfica de control SPC	63
28.	Comportamiento de las últimas 24 horas de las criptomonedas	65
29.	Modelo de control actual de una criptomoneda estable	67
30.	Variabilidad de precios de criptomoneda estable Tether.	69
31.	Bloques del modelo de control propuesto	70
32.	Modelo de control propuesto	70
33.	Gráficas simuladas de control de precios SPC	71
34.	Gráfica de control SPC con acción correctiva del Comité Director	71
35.	Modelo de control propuesto	81
36.	Modelo actual de control efecto de oferta y demanda.	83
37.	Curva de Capacidad del Proceso Normal	85
38.	Curva de capacidad de un proceso con su media $\bar{X}'$ descentrada.	87
39.	Tabla de interpretación de C_P normalizada en el control estadístico (SPC)	89
40.	Comportamiento del precio de Terra-Luna en Mayo 2022	92
41.	Diagrama del modelo propuesto de control	93
42.	Ejemplo de email enviado por el sistema de control SPC.	94
43.	Diagrama de flujo de respuesta o RFC básico para puntos fuera de control.	96
44.	Protocolo de interacción humana.	98
45.	Bloque especial para generar reserva desde el desarrollo	100
46.	Diagrama de bloques para el fondo de reserva	103
47.	Curva oferta y demanda en una criptomoneda estable	106

48.	Gráficas de control antes y después de acción correctiva	109
49.	Billetes de Costa Rica	144
50.	Gráficas de simulación del Patacoin	178
51.	Gráficas de simulación del Patacoin vr criptomonedas reales	179

List of Algorithms

1.	Análisis de precios de criptomonedas - extracción de datos últimas 24 horas	61
2.	Extracción de datos reales de criptomonedas para análisis estadístico en archivo de excel	66
3.	Generación de gráfico de control estadístico (SPC) en criptomonedas con datos reales	68
4.	Simulación de control de precios de criptomoneda con opción de pánico externo . .	73
5.	Simulación y comparación de PataCoin con stablecoins reales	78
6.	Envío automático de alertas por correo electrónico	95
7.	Simulación de generación de fondo de reserva en Blockchain	102
8.	Determinación de la oferta y la demanda de una criptomoneda estable	108

2. Introducción

2.1. Consideraciones preliminares

En esta investigación nos interesa estudiar las mayores criptomonedas en circulación, analizarlas y tratar de responder a la interrogante de ¿Por qué las criptomonedas no han logrado llegar a una estabilidad monetaria?, pues desde su aparición en el mercado tienen comportamientos volátiles en sus precios y no cuentan con un mecanismo de gobernabilidad descentralizado, con limitaciones en sus volúmenes lo cual las hacen altamente especulativas, además de que son vulnerables a hackeos o fraudes.

La caída en el valor de las criptomonedas en el 2022 apoya la tesis de que no es posible hacer una criptomoneda estable con un sistema 100 % automático, estas no pueden responder a variables externas tales como crisis de mercados financieros, variaciones de oferta y demanda, inestabilidad en ambientes geopolíticos ej: guerra en Ucrania, tensiones geopolíticas como China-USA-Taiwan, perdidas por hackeos o fraudes entre otros [2], etc. Paul Krugman, premio Nobel de Economía 2008 [3] describe en un artículo publicado en el New York Times que “las criptomonedas se han convertido en una estafa piramidal posmoderna y su caída es una oportunidad para regularlas”. Queremos hacer una propuesta que pueda servir como base para desarrollar una criptomoneda estable con sugerencias y/o recomendaciones para alcanzar la estabilidad.

2.2. Disclaimer: delimitación y alcance de nuestra propuesta

- 1) No somos economistas, nuestra propuesta incluye la mención de principios básicos de economía sobre la Ley de Oferta y Demanda, así como fondos de reserva.
- 2) Nadie puede garantizar la estabilidad monetaria de una moneda fiduciaria aunque existen mecanismos para estabilizarlas y mucho menos la estabilidad de una criptomoneda debido a su naturaleza, pues aun con nuestra propuesta, va a depender de los administradores y del comportamiento de las variables externas.
- 3) Debido a la magnitud del problema el uso de la Inteligencia Artificial es un tema bastante amplio, y como todavía está en desarrollo, se presta para trabajos a futuro.
- 4) Dada la complejidad para la gobernabilidad de una criptomoneda, los experimentos que diseñamos son propuestas para futuras investigaciones, no se implementan.

2.3. Objetivo General

- Definir los requisitos que una criptomoneda debe tener para hacer que su valor sea estable. Haremos una breve reseña del impacto ecológico de las criptomonedas. No trataremos la implementación de cripto tecnología.

2.4. Objetivos Específicos

- Para validar la hipótesis propondremos el diseño de una criptomoneda que cumpla con los requisitos que especificamos en nuestra propuesta.
 1. Identificar y definir los requisitos necesarios que una criptomoneda debe tener para lograr que su valor sea estable como moneda.
 2. Diseñar un modelo que incorpore los requisitos identificados y que cumpla con la regla de descentralización en la toma de decisiones.
 3. Diseñar un sistema que permita garantizar que la participación humana sea democrática y descentralizada con mínima o cero injerencias de los diseñadores.
 4. Explorar cuales de las opciones del modelo pueden ser más precisos para validar la hipótesis propuesta.

2.5. Alcances

1. En esta investigación se pretende identificar y determinar los requisitos mínimos para que una criptomoneda sea considerada “estable” en su valor monetario.
2. Se pretende presentar un modelo de gobernabilidad que considere los requisitos identificados para lograr estabilidad en el precio de la criptomonedas estables.
3. Se pretende justificar la necesidad de incluir el factor humano en la propuesta de gobernabilidad y el mecanismo de control de una criptomoneda con tecnología blockchain, para considerar factores externos del entorno que puedan afectar su precio de tal forma que continúe siendo considerada “estable” y bajo control con la moneda vinculada en \$1.00 dolar americano, o 1.00€ zona euro.
4. En esta investigación se presentan propuestas para el control y gobernabilidad de una criptomoneda en general, no está dentro de nuestro ámbito el factor legal, por lo tanto no se incluye ni ahonda en este tema ni en las regulaciones de las criptomonedas, las cuales son de competencia del sistema jurídico de cada país o estado.

2.6. Limitaciones

1. La disponibilidad de información sobre el diseño de las criptomonedas es una de las limitantes, no se encuentra información disponible.
2. Otra de las limitaciones es la falta de apertura y transparencia para brindar dicha información por parte de los desarrolladores, diseñadores ó dueños del producto, pues no brindan ninguna información al público sobre el proceso en la toma de decisiones para estabilizar el precio de la criptomoneda.
3. Una limitante importante es sobre la escogencia del factor humano para integrar el comité director y la administración, “partimos del supuesto de que las personas son honestas”, pues debido a que los seres humanos tienen diferentes reacciones ante situaciones de “poder” en las cuales tienen acceso al dinero y toma de decisiones sobre su uso, puede presentarse corrupción o manejo indebido, por ello se requiere que sean personas honestas, honradas, éticas y con principios morales.
4. Otra limitante importante de nuestra propuesta se refiere a la descentralización y escogencia democrática de los miembros del comité director y administración que controlarán la criptomoneda en caso de ser necesario, pues hay que considerar varias opciones importantes, algunas de las cuales son las siguientes:

Caso 1: La criptomoneda es nueva y no ha salido su oferta al mercado, la mayoría de tokens está en manos de unos pocos usuarios (ejemplo: propietarios y/o desarrolladores).

Caso 2: La criptomoneda ha sido liberada y recién sale al mercado, su operación está temporalmente centralizada en un área geográfica (por ejemplo: un país o un continente, no se ha esparcido globalmente).

Caso 3: La criptomoneda está ahora globalizada, sus dueños y tenedores están esparcidos por todo el mundo, no están centralizados en una sola región.

Caso 4: La criptomoneda opera en el mercado monetario a través de internet las 24 horas del día, 7 días a la semana, por lo que su monitoreo de control debe ser permanente pues opera en todas las zonas horarias, incluyendo fines de semana con miles de clientes esparcidos en todo el mundo.

5. Otra limitante importante es la participación humana para la administración y control del fondo de reserva propuesto en esta investigación, dado que este capital generado será depositado en cuentas reales en una institución bancaria, las personas que tendrán autorización para acceder dichos fondos deben estar estrictamente controladas y auditadas para evitar fraudes, robos y otras actividades ilegales.
6. No se incluyen en esta investigación el tipo de criptomonedas utilizadas como método de inversión tipo acciones o valores a futuro como Bitcoin, Ethereum, etc.
7. No se incluye en este trabajo el tema de legislación y regulaciones territoriales de las criptomonedas por parte de las diferentes naciones o estados, dado que nuestro enfoque en esta investigación es la gobernabilidad y el control para estabilizar su precio, tampoco se ahonda en su aceptación legal, puesto que este es un tema para especialistas jurídicos y políticos de cada nación o estado.

3. Trabajo relacionado

- El Fondo Monetario Internacional ha dedicado recursos para investigar a las criptomonedas estables con el fin de prepararse a esta nueva tendencia de valores financieros que ha emergido gracias al avance de la tecnología.

Como acciones futuras, se hacen recomendaciones para regular globalmente⁵ las criptomonedas estables, las cuales deben ser integrales, consistentes, basadas en el riesgo, flexibles y centrarse en sus características y uso estructurales.

Recomiendan que los requisitos sobre las criptomonedas estables deben cubrir todo el ecosistema, sus funciones clave, y sobre todo que deben tener una supervisión adicional.

Recomiendan que en los mercados donde los riesgos están creciendo rápidamente, las autoridades deben tomar medidas inmediatas utilizando todas las herramientas a su disposición.

- El departamento del Tesoro de los Estados Unidos de América (*U.S. Department of the Treasury*) también ha investigado las criptomonedas estables debido a que estas operan dentro de los mercados de esta nación [4], en su reporte oficial⁶ mencionan varios riesgos asociados a las criptomonedas estables dentro de los cuales se encuentran:

- 1) Su fracaso para mantener un valor estable puede exponer a los usuarios a pérdidas inesperadas y dañar la estabilidad financiera.
- 2) Si se dieran interrupciones en la cadena de pago que permitan hacer transferencias de monedas estables podrían conducir a una pérdida de eficiencia en el comercio y, dependiendo en la medida en que se utilicen las monedas estables afectar el funcionamiento de la economía en general.
- 3) Su aparición plantea problemas adicionales relacionados con el riesgo sistémico y la concentración de poder económico.
- 4) Su utilización también plantea preocupaciones y riesgos por actos ilícitos para la integridad financiera como por ejemplo: el lavado de dinero y el financiamiento del terrorismo.

⁵ver publicación del Fondo Monetario Internacional “Regulating the Crypto Ecosystem: The Case of Stablecoins and Arrangements”. Parma Bains et al. Vol 2022: Issue 008

⁶ver publicación del Department of the Treasury, U.S.A. “Report on stablecoins”, Nov.2021 [4]

- Hafner y otros, en su paper titulado “Los cuatro tipos de criptomonedas estables: un análisis comparativo” [5], se dieron a la tarea de clasificar los tipos de criptomonedas estables, separándolas en cuatro tipos en función de la fuente y la administración de la garantía, así como la investigación de la estabilidad de cada tipo en diferentes condiciones. Destacan las posibles inestabilidades de cada tipo y las compensaciones subyacentes utilizando simulaciones basadas en agentes. Sus resultados enfatizan la importancia de evaluar cuidadosamente el origen de la garantía de una moneda estable y el mecanismo de administración de colateral para garantizar su estabilidad y minimizar los riesgos.
- Gordon Liao y Caramichael en su paper titulado “Criptomonedas estables: Potencial crecimiento y su impacto en la banca” [6], investigan las criptomonedas para entender su gobernabilidad e impacto en el sistema bancario, utilizan diferentes aristas sobre las criptomonedas estables para hacer recomendaciones a la pregunta de ¿Como regularlas?, sus investigaciones se orientan en función de casos de uso, la transparencia de su reserva y otros, analizan las opciones de diseño, incluyendo las características de las monedas estables y cómo se podrían utilizar, considerando los tipos de pagos programables que podrían habilitarse; analizan los diseños técnicos y los riesgos para que los responsables políticos y analistas consideren.
- Ostrowski y Caudevilla en su paper titulado “Stablecoins: An Introduction and Recommendations for the European Union” [7], investigan la transparencia dentro de las criptomonedas estables, la cual es un factor de suma importancia que está en proceso continuo de análisis. Las ubican en diferentes niveles para su evaluación: en un primer nivel, la transparencia implica la comprensión y visibilidad del mecanismo utilizado para la colateralización y su valoración, luego a nivel de transacciones, consideran relevante la medida en que cada transferencia se registra en una cadena de bloques pública. Las criptomonedas estables pueden tener diversos grados de transparencia cuando se trata de su respaldo, su gobernanza y el nivel de privacidad; ellas van a depender del grado de las auditorías, las formas en que administran su respaldo y la tecnología utilizada para registrar sus transacciones.

4. Planteamiento del Problema

- En los últimos años surgen una gran cantidad de criptomonedas privadas para tratar de sustituir el dinero físico para la adquisición de bienes y servicios.
- El comportamiento volátil del valor de las criptomonedas hace que para los potenciales usuarios sea muy riesgoso cambiar moneda real fiduciaria por este tipo de moneda digital denominada criptomoneda.
- Como alternativa de negocio para minimizar el problema de volatilidad de las criptomonedas, surgieron otras denominadas “criptomonedas estables” o en inglés *Stablecoins* que según sus diseñadores están vinculadas al valor de una moneda real fiduciaria llámese Dolar Estadounidense, Euro, Libra Esterlina, etc.
- Se pretende abordar el problema de control presente en las criptomonedas estables como lo es su variabilidad o volatilidad del valor (precio), con una propuesta de los requerimientos para el diseño y simulación de un sistema de control basado en el control estadístico de procesos para la regulación de criptomonedas.

5. Hipótesis

Justificación:

- En los últimos 14 años han aparecido en el mercado financiero muchas criptomonedas basadas en un diseño con un común denominador: la tecnología de cadenas de bloques ó (*“Blockchain”*). La cual otorga un cierto grado de seguridad computacional a las criptomonedas, pero el solo uso de esta tecnología no es suficiente para garantizar su estabilidad en el valor como lo demuestran los datos e informes sobre volatilidad de sus valores.
- Aunque estas han demostrado ser eficientes hasta cierto grado, no hay ningún estudio que pruebe que utilizando solamente esta tecnología computacional una criptomoneda estable pueda lograr su estabilidad en el valor, o de aumentar su valor en el tiempo en el caso de criptomonedas utilizadas como títulos de valor o inversiones.
- La transparencia de las criptomonedas estables está siendo objeto de estudio a nivel internacional, sospechamos que tienen un mecanismo o entidad detrás para tomar decisiones sobre su valor y la cantidad de la oferta al público, el cual es propiedad del diseñador. En el transcurso de esta investigación encontramos que no publican esos algoritmos y no son accesibles al público.
- Por lo tanto, debido a que ninguna de las criptomonedas existentes desde su aparición se sostienen solas, somos partidarios de la tesis que dada la volatilidad del mercado no es posible hacer una criptomoneda estable con un sistema 100 % automatizado, puesto que el algoritmo no le permite responder a variables externas tales como crisis de mercados, variaciones en la oferta y la demanda, cambios en ambientes geopolíticos, guerras, etc.

Hipótesis a desarrollar:

- La hipótesis que planteamos sostiene que la implementación de un sistema descentralizado basado en blockchain, integrado con un mecanismo de gobernanza abierto y distribuido, con un mecanismo de control estadístico (SPC) y participación humana, contribuirá a la estabilidad del valor de la criptomoneda.

6. Metodología

La metodología para esta investigación se ha dividido en varias partes:

1. Recolección de información y datos para el marco teórico con una introducción al Control Estadístico de Procesos (*SPC en sus siglas del ingles*) el cual es un método de control aceptado y utilizado mundialmente, principios de economía sobre la oferta, demanda y punto de equilibrio en el mercado. Se brinda una breve introducción a las criptomonedas y el concepto de criptomoneda estable o *Stablecoin* las cuales utilizan la tecnología blockchain, enfatizando algunas características importantes tales como variabilidad, volatilidad y liquidez.
2. Seleccionamos cuatro criptomonedas estables: Tether (USDT), Binance-USD (BUSD), USD-Coin (USDC) y DAI (DAI), debido a que llevan algún tiempo operativas y que por su capital de mercado son catalogadas como las más importantes, lo que favorece al análisis de las criptomonedas estables ligadas a una moneda real de uso aceptado en el mercado mundial para el intercambio de bienes y servicios, en éste caso en criptomonedas cuyo valor es “equivalente” a \$1.00 dolar americano.
3. Se investiga la documentación técnica disponible de estas criptomonedas estables para recopilar información sobre sus requerimientos y diseños computacionales para elaborar un cuadro comparativo⁷ entre si.
4. Se incluye el concepto de Control Estadístico de Procesos o (SPC) para monitorear el precio o valor de las criptomonedas estables en tiempo real con el fin de alertar a la administración de variaciones indeseadas por factores externos para que pueda comenzarse con el análisis de datos y aplicar las acciones correctivas que afectan su valor.
5. Se presentan nuestras propuestas de control y gobernabilidad para lograr un diseño de una criptomoneda con valor estable, así como recomendaciones para su implementación, incluyendo la creación de un fondo de reserva desde el blockchain y la importancia de la participación humana para el control y gobernabilidad de las criptomonedas. Se ofrecen programas y experimentos como medio de validación.

⁷ver figura 24

7. Marco Teórico

7.1. Fundamentos del Control Estadístico de Procesos

- Originalmente el control estadístico de procesos se inicia a finales del siglo XIX con la publicación de Frederick Taylor (1856-1915) de 1911 titulada “Principios de la Administración Científica” donde describe la administración científica, y usó este término para definir “la única y mejor manera de realizar un trabajo” [8]. Los métodos estadísticos y su aplicación en el mejoramiento de calidad han tenido una larga historia, en 1924, Walter A. Shewhart de Bell Telephone Laboratories desarrolló el concepto de carta de control estadístico, al cual se considera como el inicio formal del control estadístico de calidad. Al final de los años 1920, Harold Dodge y Harry Romig ambos de la misma empresa citada, desarrollaron un sistema (ver figura 1) el cual consta de un muestreo basado en la estadística como una alternativa a la inspección 100 %.

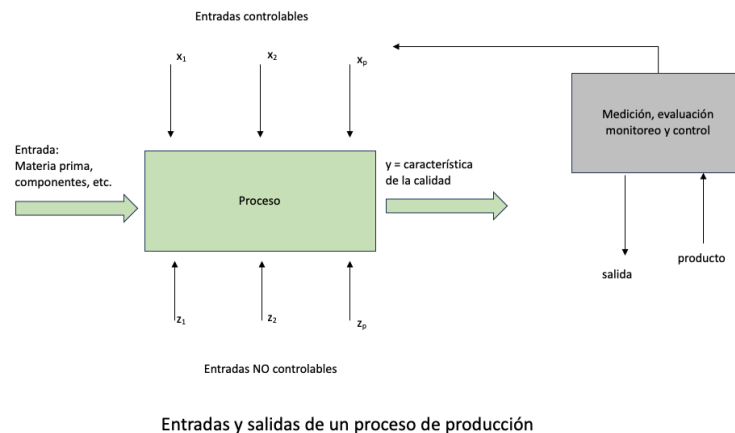


Figura 1: Proceso de producción como un sistema
Fuente: tomado de “Control estadístico de procesos” [8]

- Durante la segunda guerra mundial (1939-1945), su uso y aceptación se extendió en la industria de manufactura y puso de manifiesto que las técnicas estadísticas eran necesarias para mejorar y controlar la calidad de los productos. Su aplicación inicial fue en la industria química en los años 1950's, luego se extendió lentamente a finales de los 1970's y principios de 1980 debido a la pérdida de competitividad de la industria occidental contra la industria japonesa que había comenzado a utilizar estos principios desde los años 1960's. Así que desde los años 1980's se aceleró su uso en los Estados Unidos y la industria de occidente.

- Para la aplicación del control estadístico de procesos [9], se desarrolló una herramienta sumamente útil conocida como “gráfica de control”, la cual es una de las principales técnicas del control estadístico de procesos ó SPC (por sus siglas en inglés). Esta es una técnica de monitoreo del proceso, así cuando se detectan fuentes inusuales de variabilidad, las mediciones graficadas se visualizan fuera de los límites de control, esta es una señal de que deberá hacerse cierta investigación del proceso y comenzar una acción correctiva para eliminar estas fuentes inusuales de variabilidad, su uso sistemático es una excelente manera de reducir la variabilidad.

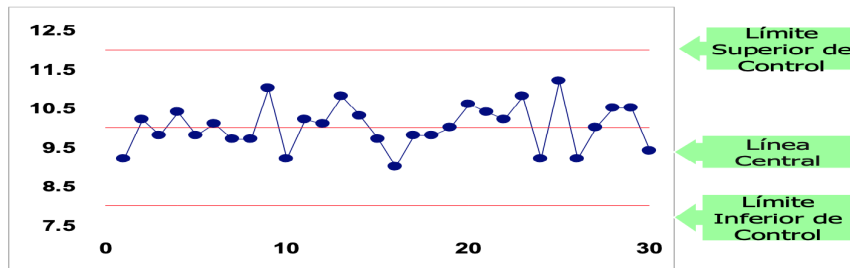


Figura 2: Gráfica de control estadístico de procesos
Fuente: tomado de “Control Estadístico del Proceso” [10]

7.1.1. Definición Control Estadístico de Procesos (SPC)

El concepto de control estadístico de procesos es muy conocido por sus siglas en inglés SPC (*Statistical Process Control*), este es un método para controlar y medir la calidad mediante el seguimiento de un determinado proceso, sea este de producción, servicios u otro (usado tanto con productos tangibles o intangibles).

Los parámetros de calidad se recopilan con datos en formas de producto, medición de procesos y lecturas, los cuales se utilizan para evaluar, monitorear y controlar un proceso [9].

7.1.2. La variabilidad

El reducir la variación de los procesos es un objetivo clave del control estadístico y de Seis Sigma. Por lo tanto, es necesario entender los motivos de la variación, y para ello se parte de que en un proceso (industrial o administrativo) interactúan las siguientes variables:

1. **materiales:** tecnología, algoritmos, etc.

2. **máquinas:** servidores, infraestructura, etc.
3. **mano de obra:** factor humano, pánico, inmigración, etc.
4. **mediciones:** monitoreo, mercados, etc.
5. **medio ambiente:** clima, guerra, desastres naturales, cambios políticos, etc.
6. **métodos:** procedimientos, desarrollos, etc.

Cada M aporta una parte, no necesariamente igual, de la variación total observada. Estos seis elementos (las 6M) determinan de manera global todo proceso y cada uno aporta algo de la variabilidad y de la calidad de la salida del proceso, como se esquematiza en la figura 3.

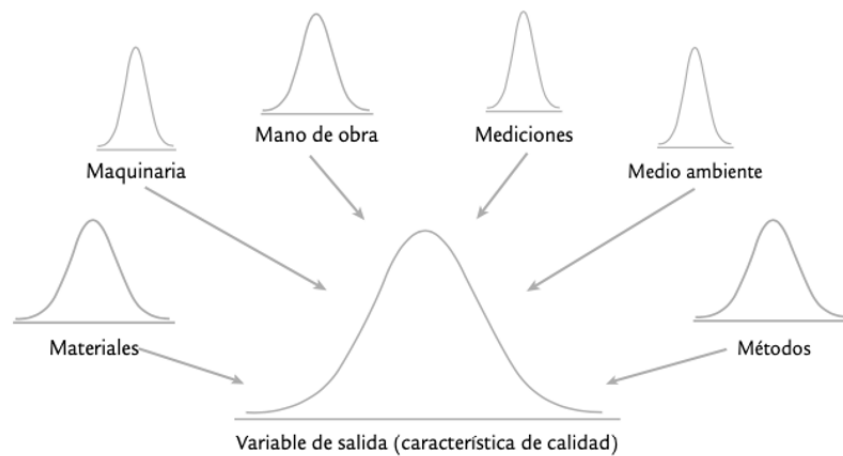


Figura 3: Fuentes de variabilidad de un proceso.

Fuente: tomado de “Control estadístico de la Calidad y Seis Sigma” [9]

El resultado de todo proceso se debe a la acción conjunta de las 6M, por lo que si hay un cambio significativo en el desempeño del proceso, sea accidental u ocasionado, su razón se encuentra en una o más de las 6M.

En un proceso, cada una de las 6M tiene y aporta su propia variación; por ejemplo, los materiales no son idénticos, ni toda la gente tiene iguales habilidades y entrenamiento. Por ello, será necesario conocer la variación de cada una de las 6M y buscar reducirla. Pero además es necesario monitorear de manera constante los procesos, ya que a través del tiempo ocurren cambios en las 6M, como la llegada de un lote de material no adecuado o con características especiales, descuidos u olvidos de la gente, desajustes y desgaste de máquinas y herramientas, etc.

7.1.3. Diagrama de Ishikawa como herramienta en SPC

En la figura 4 se muestra un Diagrama de Ishikawa (o de causa-efecto), que es una herramienta básica de Seis Sigma para el Control de Calidad en los procesos, en nuestro caso el Valor de la Criptomoneda.

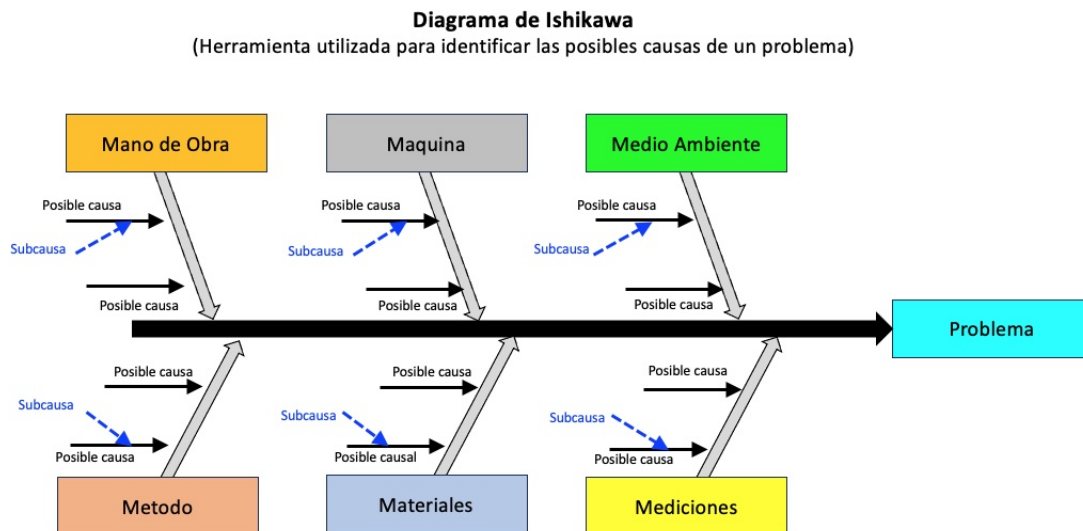


Figura 4: Diagrama de Ishikawa (o de causa-efecto)

Fuente: modificado de “Control estadístico de la Calidad y Seis Sigma” [9]

Esta herramienta es sumamente útil y necesaria cuando se utiliza en el control estadístico de procesos, su uso puede guiar al grupo de trabajo en los siguientes factores para llegar a determinar el origen o causa de una variación en cualquier proceso:

1. Seleccionar y caracterizar un problema: elegir un problema realmente importante, delimitarlo y describirlo, estudiar antecedente e importancia, y cuantificar su magnitud actual.
2. Buscar todas las posibles causas: Lluvia de ideas, utilizando el diagrama de Ishikawa en la forma de la figura 4. Participan aquí todos los involucrados en el proceso.
3. Investigar cuáles de las causas son más importantes: recurrir a datos, su análisis y conocimiento del problema.

7.1.4. Uso de la gráfica de control estadístico

Los gráficos utilizados en el Control Estadístico de Proceso (SPC) son una herramienta la cual puede permitir monitorear y visualizar la variabilidad de un producto, bien o servicio y también

de una criptomoneda, ayudando a determinar si está en control o fuera de control, en la figura 5 se muestra una gráfica de control de procesos:



Figura 5: Patrones de anomalía en una gráfica de control.
Fuente: tomado de “Control Estadístico del Proceso” [10]

1. Los gráficos de control detectan la variación anormal en un proceso, denominadas “causas especiales o causas asignables de variación.”
2. El patrón normal de un proceso se llama causas de variación comunes.
3. El patrón anormal debido a eventos especiales se llama causa especial de variación.

Los gráficos de control sirven para monitorear el proceso, prevenir defectos y facilitar la mejora. Hay dos tipos de gráficos de control:

1. por atributos (juzga productos como buenos o malos, pasa o no pasa).
2. por variables (precio, temperaturas, presión, cantidad, valor, etc.).

7.1.5. Definición de puntos fuera de control

La definición más simple para explicar los puntos fuera de control es cuando en un proceso cualquiera se comienzan a observar o detectar productos cuya característica de calidad que se está monitoreando, “se sale” ó “se cae” fuera de los límites de control.

Esta es la primera señal de que el proceso se está saliendo de control, como se muestra en la

figura 6, en este ejemplo, existe alguna causa específica que está incidiendo en este comportamiento, y, por lo tanto, se debe encontrar y corregir la situación para que el proceso vuelva a estar bajo control.

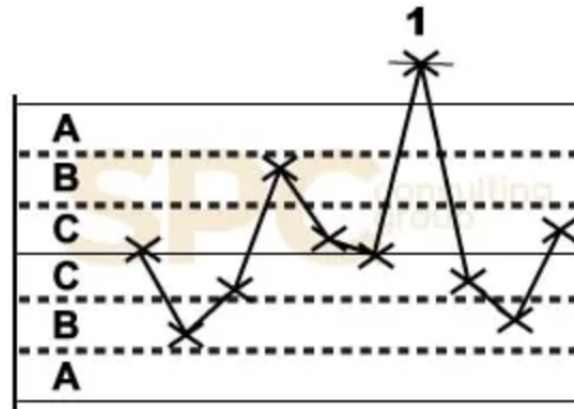


Figura 6: Ejemplo de un punto fuera de control
Fuente: tomado de “Seis Señales de un proceso fuera de control”. [11]

Un punto fuera de los límites de control es generalmente una señal de uno o más de los siguientes aspectos [11]:

1. El límite de control o punto graficado ha sido calculado o graficado erróneamente.
2. La variabilidad de lo que estamos monitoreando llámese “producto, pieza, precio, etc.”, los datos muestran que su dispersión y distribución se ha incrementado (empeorado), ya sea en ese punto o en parte de una tendencia.
3. El sistema de medición ha cambiado (escala, variable, especificación, etc.).
4. El sistema de medición requiere una discriminación diferente.
5. Puede que existan patrones o tendencias dentro de los límites de control.
6. Cuando uno o más puntos están por arriba o por debajo de los límites de control se denomina que está “Fuera de Control”.

7.1.6. Identificación de tendencias en las gráficas de Control Estadístico

En la figura 7 se muestran las diferentes tendencias que pueden presentar las gráficas de control estadístico, estas ayudan a interpretar si un proceso está en control o fuera de control.

Lectura de gráficos SPC

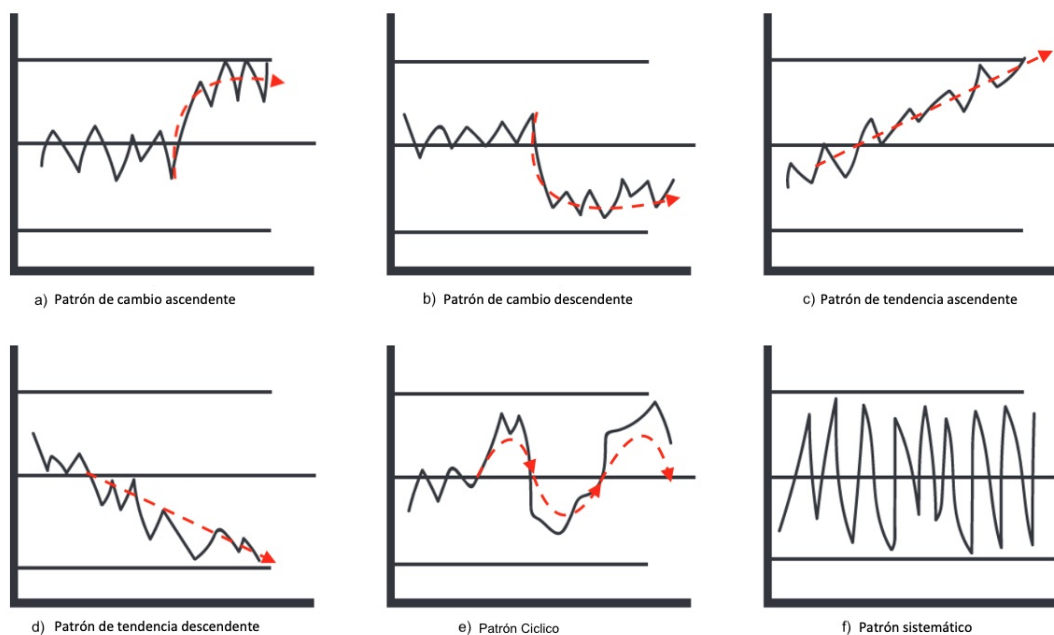


Figura 7: Lectura e interpretación de gráficos estadísticos.

Fuente: modificado de ¿Qué es el Control Estadístico del Proceso?[12]

En nuestra propuesta de control y gobernabilidad de las criptomonedas se puede aplicar esta herramienta de lectura de gráficos de control estadístico, la cual ayudaría al consejo director y/o ente administrador del sistema para identificar las diferentes tendencias que pueden presentarse en los precios de la criptomoneda de la siguiente manera:

- Patrón de cambio ascendente: cuando se observa una desviación de la media hacia el limite de control superior (LCS) por encima del precio de referencia.
- Patrón de cambio descendente: cuando se observa una desviación de la media hacia el limite de control inferior (LCI) por debajo del precio de referencia.
- Patrón de tendencia ascendente: cuando se observa una desviación de abajo hacia arriba, de tal forma que el valor va en aumento sin bajar, esto es un patrón ascendente de menor a mayor (valor en subida).
- Patrón de tendencia descendente: cuando se observa una desviación de arriba hacia abajo, de tal forma que el valor va en descenso sin estabilizarse, esto es un patrón descendente de mayor a menor (valor en bajada).
- Patrón de cambio cíclico: cuando se observa una variación ascendente y descendente en función

del tiempo, la inestabilidad en el valor se presenta de forma similar a una señal sinusoidal cíclica.

- f). Patrón sistemático: cuando se observan cambios de valor repentinos con picos cercanos a los límites de control superior e inferior.

7.1.7. Interpretación de la gráfica de control

- Al ser una herramienta para detectar si el proceso está funcionando correctamente, o si se están produciendo situaciones anómalas como algún punto fuera de control o tendencia, se debe iniciar una investigación para identificar la causa y tomar una acción correctiva [13].

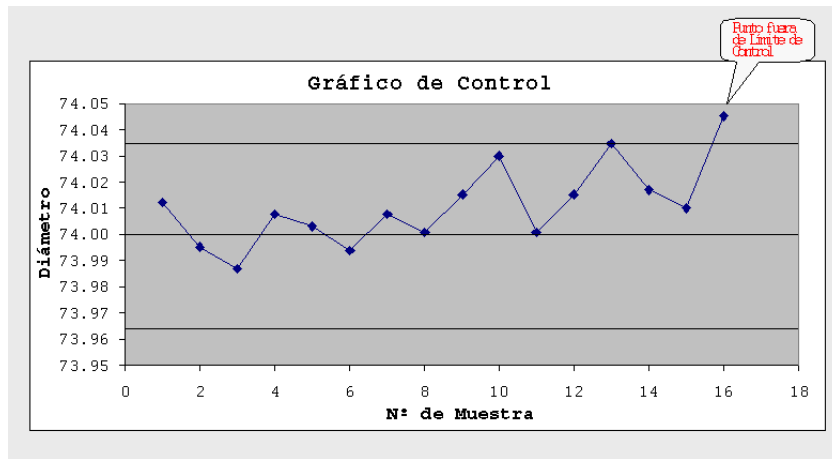


Figura 8: Vista de una gráfica de control estadístico en SPC.

Fuente: tomado de Diagramas de control: Gráficos para controlar procesos [13]

- Los valores mostrados en el diagrama de la figura 8, deben ser aleatorios y seguir una distribución estadística normal, estando centrados en el la linea del punto medio y teniendo una variabilidad que puede deberse a dos factores:
 - a) **Común:** que es inherente al proceso, y por lo tanto no podemos evitar.
 - b) **Especial:** que causa una variación excesiva, y debe ser corregida.

7.1.8. ¿Cómo se sabe si el proceso (valor) está fuera de control?

Cuando se presenten alguna de las siguientes situaciones se dice que un proceso está fuera de control, y por lo tanto deben analizarse las causas y tomar acciones correctivas:

1. Cuando hay un punto fuera de los límites de control del 95 % de la muestra, el 5 % de los puntos estarán fuera de este límite, por lo que este caso solo debería preocuparnos si el punto se aleja mucho del límite o si sospechamos que hay algo mal.
2. Cuando hay más de 3 puntos seguidos fuera de los límites del 75 % lo cual debería ser muy improbable.
3. Cuando se aprecian tendencias crecientes o decrecientes en más de 4 puntos seguidos.
4. Cuando más de 6 puntos seguidos se encuentran en la mitad superior o inferior del gráfico. El proceso está descentrado y hay que recalibrarlo mediante un análisis de los datos⁸
5. Cuando se aprecia que los valores siguen un patrón, no siendo estos valores aleatorios.

7.1.9. La calidad es una responsabilidad de todos en la organización

- La calidad de un producto o servicio es responsabilidad de todos en la organización, cada individuo es importante para mejorar la calidad sin importar si es un proceso de producción [14], industria alimentaria, banca y finanzas, servicio al cliente, etc.
- Las herramientas de Control Estadístico de Procesos (SPC) tienen como objetivo primordial el crear consenso sobre una iniciativa de calidad particular por parte de personas que trabajan y se esfuerzan por mantener, mejorar y aumentar su productividad constantemente, por ello las decisiones para mantener la calidad deben basarse con datos y hechos.
- En un proceso de producción, servicio al cliente u otro, las decisiones sobre qué cosa mejorar, identificar posibles formas de mejorar y que pasos se necesitan para mantener dicha mejora son hasta ahora esfuerzos realizados por seres humanos⁹, ello basado por nuestra capacidad para utilizar la sabiduría y adquirir experiencia mediante los sentidos como observación, etc.

⁸Explicaremos más adelante con la definición y cálculos del C_{PK}

⁹La Inteligencia Artificial está ganando terreno en procesos repetitivos, como explicaremos en la siguiente sección

7.2. Inteligencia Artificial en el Control Estadístico de Procesos

- Varias investigaciones apuntan a que la IA está ganando terreno en usos donde las tareas son repetitivas, por ejemplo en el paper de Zhiyong Hong et al., utilizan redes convolucionales neuronales¹⁰ titulado “Red neuronal convolucional para el reconocimiento de patrones de gráficos de control”, concluyen que el uso de redes neurales convolucionales para el reconocimiento de patrones en gráficos de control se facilita utilizando aprendizaje por transferencia en vez de hacerlo desde cero o manualmente.
- Otros estudios destacan el avance de la Inteligencia Artificial con herramientas para el reconocimiento de patrones utilizando modelos de Aprendizaje Profundo como el paper de Tsao Ban et al.¹¹ titulado “Control estadístico de procesos con inteligencia basado en el aprendizaje profundo”, el cual menciona que utilizando algunas técnicas para enseñar más rápidamente mediante el aprendizaje de máquina (*Machine Learning*), los patrones anormales pueden ser identificados efectivamente.
- En la actualidad, continúan las investigaciones con el objetivo de lograr mejoras en el control estadístico de procesos (SPC) mediante técnicas avanzadas utilizando Machine Learning, Deep Learning, Big Data, Redes Neuronales y otras que ayuden a la Inteligencia Artificial a facilitar su uso en tareas repetitivas¹².
- La IA puede utilizarse para interpretar gráficos de control de forma efectiva y rápida, su aprendizaje consistirá en los datos introducidos y los algoritmos de aprendizaje utilizados para el control SPC. Pero existe un desafío para la IA: las variables relacionadas con “la reacción del ser humano ante el pánico o miedo”, la cual no es predecible de acuerdo con estudios médicos del Instituto de Salud Mental de los Estados Unidos[15], por ello cualquier desviación relacionada a variaciones abruptas del comportamiento en el precio de las criptomonedas deberá analizarla un grupo de personas para determinar la causa de dicha variación y desarrollar las acciones correctivas como veremos más adelante en este trabajo.

¹⁰ver publicación: Convolutional Neural Network for Control Chart Patterns Recognition, Oct2019, Sanya, PRC

¹¹ver publicación: Statistical Process Control with Intelligence Based on the Deep Learning Model. Tao Zan, Zhihao Liu, Zifeng Su, Min Wang, Xiangsheng Gao, Deyin Chen, 2019

¹²Opinión propia basada en la lectura de diferentes papers y artículos disponibles en las bases de datos disponibles como IEEE y ACM Digital Library

7.3. ISO y la estandarización del control de calidad

- Existe una organización internacional llamada “International Organization for Standardization” conocida por sus siglas **ISO**, sus fundadores decidieron darle la forma abreviada ISO que procede del griego *ISOS*, que significa igual.
- Esta organización fue fundada en Octubre 1946 después del final de la 2da Guerra Mundial en Londres, Inglaterra con representantes de 25 países industrializados¹³, la cual tiene su sede en Ginebra, Suiza y se encarga de gobernar las normas de calidad internacionales de productos y servicios relacionados que satisfagan las expectativas de los clientes con respecto a los principios de calidad y desarrollo sostenible.



Figura 9: Logos oficiales de la organización ISO registrados

Fuente: tomado de página web oficial de ISO.org

7.3.1. Las normas ISO más utilizadas en distintos sectores

1. ISO 9001: Este es el estándar de manejo de calidad más conocido del mundo para empresas y organizaciones de cualquier tamaño, sus normas ayudan en la eficacia y reducción de errores de los productos.
2. ISO 13485: Normas de manejo de la calidad para dispositivos médicos.
3. ISO 14001: Normas de manejo ambiental para ayudar a reducir el impacto ambiental, disminución de los residuos y sostenibilidad.
4. ISO 22001: Normas de manejo de la calidad y seguridad en los alimentos, utilizada en la industria alimenticia y cadenas de suministros.
5. ISO 45001: Normas de seguridad y salud para reducción de accidentes laborales.
6. ISO 50001: Normas de manejo de la energía para ayudar en reducir el consumo energético.

¹³ver: Friendship among equals: recollections from ISO's first fifty years Author : International Organization for Standardization Central Secretariat Print Book , English , ©1997

7. ISO 27000: Normas de seguridad de la información digital, manejo de riesgos, excelencia operativa sin importar el tamaño de la organización.
8. ISO 20022: Normas para el manejo y control del intercambio electrónico de datos y mensajes¹⁴ entre cualquier participante de la industria (banca, finanzas, transacciones comerciales, SWIFT, etc.) independiente de la red de comunicación utilizada.
9. Existen otros estándares en uso, como por ejemplo el ISO 3166 el cual normaliza el código asignado a cada país para su identificación en transacciones y/o comunicaciones internacionales con el fin de evitar duplicidad a la hora de identificar la procedencia o destino¹⁵, la asignación de códigos está conformada con la lista de países inscritos y reconocidos por las Naciones Unidas (ejemplo: Costa Rica tiene asignados los códigos: CR, CRI o 188).
10. Existen otros estándares como ISO 37001: Manejo antisoborno; ISO 31000: Manejo de riesgos; y muchos otros disponibles para su utilización a nivel internacional¹⁶.

7.3.2. Norma ISO 24165 para uso en criptomonedas

- La norma ISO 24165-1, Digital token identifier (DTI), se ha creado debido a que anteriormente no existía una estandarización en el desarrollo de las criptomonedas. Por ello se encontró la necesidad de regular los identificadores de los tokens digitales que utilizan las criptomonedas. Esta norma todavía está en desarrollo¹⁷, define las características que debe seguirse con el fin de tener un identificador aleatorio, único, inequívoco, disponible públicamente y de longitud fija para los tokens digitales fungibles. De acuerdo con la organización ISO, este estándar será implementado por Etrading Software, la autoridad de registro de ISO 24165, que emitirá identificadores de tokens digitales y los mantendrá en un registro central de acceso público en su sitio web oficial.

¹⁴Esta norma está siendo adoptada por instituciones financieras para garantizar la fiabilidad de datos en las comunicaciones digitales.

¹⁵ver contenido en “The International Standard for country codes and codes for their subdivisions” disponible en www.iso.org

¹⁶Los estándares de ISO están disponibles en su sitio web oficial <https://www.iso.org/home.html>

¹⁷ISO/CD 24165-1 Digital token identifier (DTI) Registration, assignment and structure Part 1, Fuente <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/08/55/85546.html>

7.4. Introducción a conceptos básicos de la economía de mercados

Se describen a continuación algunos conceptos fundamentales utilizados en la economía, los cuales han afectado el comportamiento del intercambio de bienes y servicios desde la antigüedad¹⁸, al igual que cualquier bien o servicio que se negocie en los mercados, las criptomonedas también se ven afectadas por dichos principios en la actualidad, describiremos solamente algunos de ellos que consideramos importantes en nuestra investigación para poder explicar el comportamiento de los precios de las criptomonedas y como poder controlarlos con ayuda de estos principios.

7.4.1. Vocabulario utilizado

Mercado: Este se define como aquel en el cual un grupo de compradores y vendedores se ponen de acuerdo para interactuar.

Competencia: Este término se utiliza cuando se tienen varios proveedores de un bien o servicio con características similares, así que los compradores pueden escoger entre ellos.

Escasez: Esto significa que los recursos son limitados y no se pueden producir todos los bienes y servicios que las personas desearían obtener.

Compradores: Son aquellos que quieren adquirir un bien o servicio, estos son los que determinan la demanda para los bienes o servicios.

Vendedores: Son aquellos que producen un bien o servicio y quieren venderla a aquellos que los necesiten o quieran adquirirlos, estos determinan la oferta de dichos bienes o servicios.

Oferta: Esta es la cantidad ofrecida de cualquier bien o servicio que los vendedores quieren y pueden vender.

Demanda: Esto se describe como la cantidad de un bien o servicio que de ese bien están dispuestos a adquirir los compradores.

Punto de Equilibrio: Este se da cuando el precio marcado ha llegado al nivel en el cual la cantidad ofrecida equivale a la cantidad demandada.

¹⁸“Debt: The first 5000 years” *En Deuda: los primeros 5000 años*. David Graeber, 2011. [53]

7.4.2. Principios básicos de la economía

De acuerdo con el economista Gregory Mankiw¹⁹, la economía tiene diez principios básicos:

Principio 1: Las personas enfrentan disyuntivas. Esto significa que las personas deben afrontar la toma de decisiones para elegir entre uno u otro objetivo, no ambos.

Principio 2: El costo de oportunidad. Es aquello a lo que se renuncia para obtener otra, es mutuamente excluyente.

Principio 3: Las personas racionales piensan en términos marginales. Una persona racional toma una decisión para emprender una acción si y sólo si el beneficio marginal de esta acción es mayor al costo marginal.

Principio 4: Las personas responden a los incentivos. Un incentivo es aquello que induce a una persona a actuar, puede ser una recompensa o un castigo. Las personas racionales responden a incentivos debido a que toman decisiones comparando los costos y los beneficios.

Principio 5: El comercio puede mejorar el bienestar de todos. Este permite a cada parte especializarse en aquellas actividades que mejor saben hacer, el cual permite tener acceso a una mayor variedad de bienes y servicios con un menor precio.

Principio 6: Los mercados normalmente son un buen mecanismo para organizar la actividad económica. Los mercados facilitan el intercambio de bienes y servicios, estos son un mecanismo a través del cual los compradores y vendedores pueden llevar a cabo transacciones de bienes y servicios de forma voluntaria.

Principio 7: El gobierno puede mejorar algunas veces el resultado del mercado. El gobierno juega un importante papel en el desarrollo económico de un país para corregir las fallas del mercado y mejorar la eficiencia económica, algunas de las cuales son: dominación por pocos, eliminar incentivos para ser eficientes, desigualdad en la distribución, exterioridad, información imperfecta, falla para proveer bienes públicos, inestabilidad macroeconómica, etc.

Principio 8: El nivel de vida de un país depende de la capacidad que tenga para producir bienes y servicios. Esto significa que el nivel de vida de un país en un momento

¹⁹Profesor de Economía en Harvard University, graduado en Economía en Princeton University, 1980. Ph.D., Department of Economics, M.I.T., 1984. consultado en <https://scholar.harvard.edu/mankiw/home>

determinado se refiere a la cantidad de bienes y servicios que están disponibles por persona en ese país en ese momento.

Principio 9: Los precios suben cuando el gobierno imprime demasiado moneda.

Una alta tasa de inflación se relaciona con un rápido aumento en la cantidad de dinero en circulación y una baja inflación está asociada con un lento crecimiento de la cantidad de dinero circulante [54].

Principio 10: La sociedad enfrenta a corto plazo una disyuntiva entre inflación y desempleo. Esto significa que entre más moneda emitida hay circulando resulta en un aumento de los precios y se paga más por la misma cantidad de bienes o servicios.

7.4.3. Introducción a la oferta y la demanda

Se explican a continuación algunos conceptos fundamentales en la economía de mercado como lo son la oferta y la demanda. Al igual que en los mercados de bienes y servicios, estos conceptos se aplican a las operaciones de las criptomonedas en general, sean estables o no. Ambos interactúan entre sí, como dos fuerzas que hacen funcionar la economía del mercado desde tiempos antiguos y determinan la cantidad y el precio al que debe venderse un bien o servicio, los dos juntos afectan la economía [41].

- **La demanda:** como bien lo mencionamos es la cantidad de un bien o servicio que los compradores están dispuestos a adquirir. El comportamiento de la demanda asume que el ingreso del comprador permanece constante²⁰, cuando el precio aumenta, el consumidor compra menos; por ello la cantidad demandada de un bien o servicio cambia al variar el precio. Debido a que un menor precio incrementa la cantidad demandada, la curva de la demanda tiene una pendiente negativa como podemos observar en la figura 10 (izquierda).
- **Variaciones en las curvas de la demanda:** en el caso de que alguna variable altere la cantidad demandada a un precio establecido, automáticamente la curva de la demanda se desplazará positiva o negativamente como se aprecia en la siguiente figura 10 (derecha), así un cambio que incremente la cantidad que los compradores desean adquirir desplazará la curva a la derecha y cualquier cambio que reduzca la cantidad desplazar la curva a la izquierda.

²⁰Se asume que todas las otras variables permanecen constantes, ver principios de Economía de Mankiw [41]

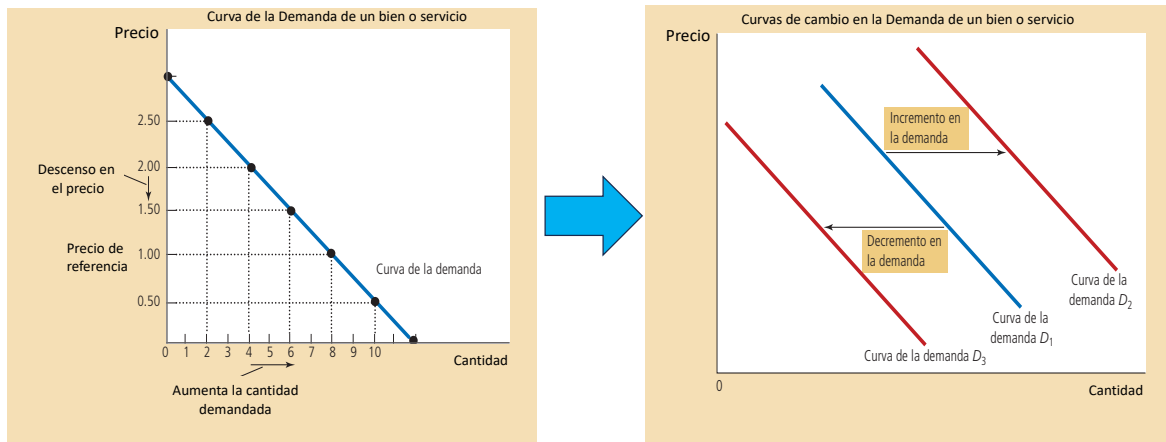


Figura 10: Curva de demanda de un bien (izq) y curvas de cambio en la demanda (der)
Fuente: propia adaptada del libro “Principios de Economía”, Mankiw [41].

- **La oferta:** de cualquier bien o servicio es la cantidad que los vendedores quieren y pueden vender. Cuando el precio de un bien o servicio es bajo, los productores tienen una menor rentabilidad por lo que deciden producir menos. Debido a esto cuando operan con precios bajos, algunos productores pueden optar por detener la producción y la cantidad ofrecida baja a cero, por el contrario, si el precio aumenta, la cantidad ofrecida aumenta, por ello la curva de la oferta tiene pendiente positiva, a mayor precio, mayor será la cantidad ofrecida como podemos observar en la figura 11 (izquierda).

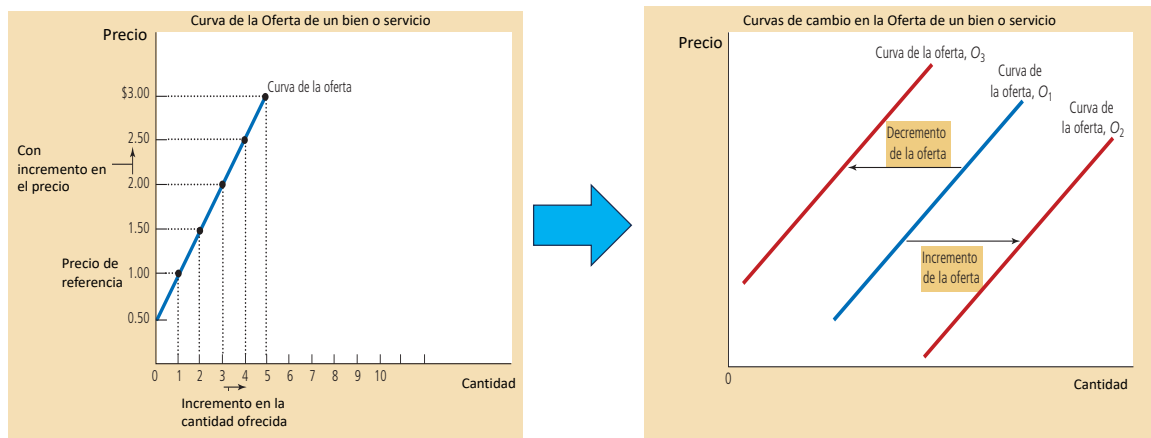


Figura 11: Curva de oferta de un bien (izq) y curvas de cambio en la oferta (der)
Fuente: propia adaptada del libro “Principios de Economía”, Mankiw [41].

- **Variaciones en las curvas de la oferta:** en el caso de que alguna variable altere la cantidad ofertada, por ejemplo una caída en el precio desplazará la curva de oferta a la derecha lo cual se conoce como incremento de la oferta, y en el opuesto, cuando hay una cambio que cause una reducción en la cantidad ofertada por los productores, la curva se desplaza a la izquierda,

llamándole los economistas decremento de la oferta (ejemplo: si el precio de la materia prima sube de precio, se reduce la cantidad de materia prima comprada por el productor y por ende, se produce menos para el cliente).

7.4.4. Efecto de exceso de oferta o demanda en las criptomonedas

- **Exceso de Demanda:** Cuando se está ante una situación en la cual el precio de la criptomoneda estable tiene un precio de mercado de \$0.85 por debajo del precio de equilibrio de \$1.00, la cantidad demandada (10 unidades) es superior a la cantidad ofrecida (4 unidades), indicando que hay escasez, pues hay muchos compradores tratando de comprar criptomonedas que están escasas, por lo que los vendedores pueden aprovechar esta escasez para incrementar el precio.

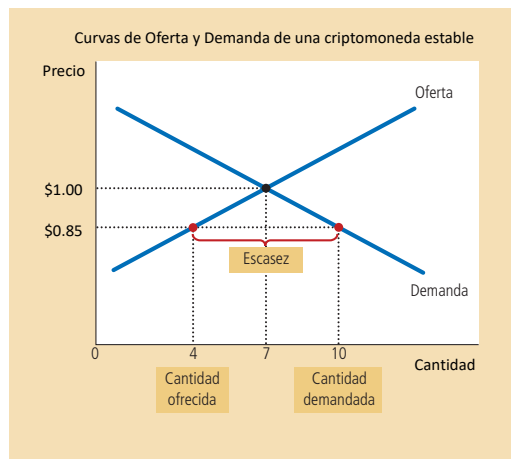


Figura 12: Exceso de Demanda en las curvas de oferta y demanda
Fuente: propia adaptada del libro “Principios de Economía”, Mankiw [41].

- **Exceso de Oferta:** En la siguiente figura 13, explicamos este concepto, el cual se presenta cuando se está ante una situación en la que hay una sobre-oferta o exceso de criptomonedas ofrecidas, debido a que el precio de mercado de \$1.15 está por encima del precio de equilibrio (referencia) de \$1.00, la cantidad ofrecida en este caso de (10 unidades) es superior a la cantidad demandada (4 unidades), por lo que hay un excedente como se aprecia en el gráfico, así que para estimular las ventas y lograr vender más criptomonedas, los vendedores reducen el precio del bien o servicio y este movimiento aproxima el precio al nivel de equilibrio, por lo que el precio tiende a bajar.

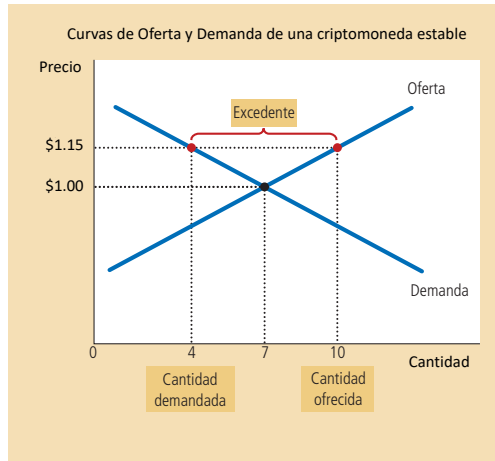


Figura 13: Exceso de Oferta en las curvas de oferta y demanda
Fuente: propia adaptada del libro “Principios de Economía”, Mankiw [41].

- **Punto de Equilibrio:** En la siguiente figura 14, explicamos el concepto del punto de equilibrio, el cual es aquel punto en el que las curvas de la oferta y la demanda se intersectan en el gráfico, en este caso de una criptomoneda estable el precio de equilibrio es fijado por especificación con un valor de \$1.00, y la cantidad ofrecida es igual a la cantidad demandada Q_{EQ} que puede ser la cantidad emitida por los desarrolladores o vendedores.

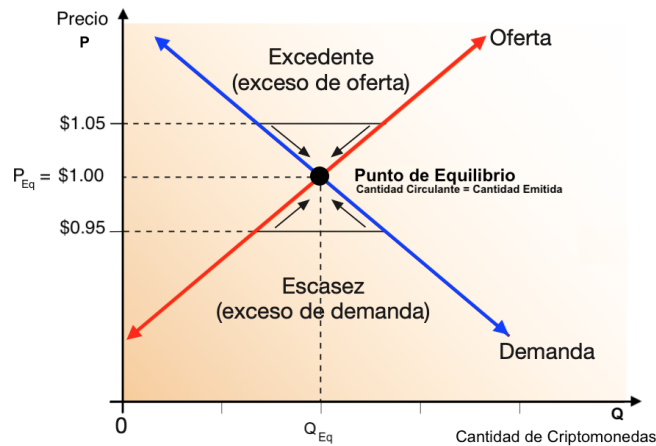


Figura 14: Punto de Equilibrio en las curvas de oferta y demanda
Fuente: propia adaptada del libro “Principios de Economía”, Mankiw [41].

7.4.5. Modelo de valoración de activos de capital (CAPM)

- El modelo de valoración de activos de capital, conocido como CAPM (Capital Asset Pricing Model en inglés), fue desarrollado por W. Sharpe en 1964 y J. Litner en 1965 [16]. Sus estudios se basaron en investigaciones realizadas por Markowitz y Tobin 1960, los cuales afirmaban que los inversionistas seleccionan sus carteras a través de un criterio de media-varianza.

- Su objetivo fue el de cuantificar e interpretar la relación entre el riesgo y el rendimiento en las finanzas, pues con esa relación lineal se podría establecer el equilibrio en el mercado financiero.
- El modelo CAPM de Sharpe/Litner se basa en algunos supuestos como los siguientes:
 1. Es estático, existe un único período en el que los activos se negocian al principio y se liquidan al final, cuando los activos producen un pago o rendimiento.
 2. Los inversionistas que actúan en el mercado son personas que evitan el riesgo, maximizan la utilidad esperada en un solo período y aceptan el precio vigente.
 3. La expectativa de los inversionistas sobre los rendimientos esperados son las mismas, “buscan y toman los mejores precios”, buscando mayores rendimientos en su inversión.
 4. La cantidad disponible de títulos con riesgo se encuentran fijos y su oferta está dada para negociarlos, son divisibles y no generan dividendos, solo ganancias de capital.
 5. Otro supuesto es que existe la posibilidad de invertir en un título libre de riesgo, con oferta neta igual a cero y a cuyo rendimiento se le puede solicitar y otorgar una cantidad ilimitada de recursos.
 6. Otro supuesto es que el mercado presenta una competencia perfecta, es decir, ningún inversionista es más importante que otros para influir en el precio de los títulos.
 7. Este modelo asume que el mercado es ideal y sin fricciones, no hay cargos por transacciones, ni impuestos a las ganancias.
 8. Por ultimo, asumen que la información de los mercados es fidedigna y real, donde el precio de los títulos o activos representan el consenso acerca de su valor, implicando que no hay información oculta.
- El CAPM se resume como un modelo de valoración de los activos o títulos de valor (utilizados en las finanzas) con el cual se puede calcular la tasa de retorno de estos, tomando en cuenta el riesgo asumido.
- Sansores Guerrero (2007), en su paper titulado “El modelo de valuación de activos de capital aplicado a mercados financieros emergentes. El caso de México 1997-2006” [17], utiliza datos reales de México entre 1997 y 2006 para validar el modelo y analizar el comportamiento de la economía de este país, obtiene resultados de que existen factores de riesgo que afectan el rendimiento tales como la inflación, la inseguridad, el ambiente político y que el rendimiento

o tasa por el riesgo pagado en el mercado mexicano es más bajo con respecto a la obtenida con el modelo CAPM; por lo que concluye que no hay equilibrio en el mercado ya que se tienen acciones/títulos de valores sobrevaluados y otros menos valuados.

- El modelo CAPM ha sido muy utilizado por economistas desde su propuesta porque facilita el calculo de la tasa de rentabilidad que podría obtener para los activos o títulos en los cuales se quiere invertir, tomando en cuenta el riesgo que supone éste en el mercado y la sensibilidad de ese activo o titulo con el riesgo sistemático (el CAPM original asume que todos los activos/títulos tienen el mismo nivel de riesgo), lo cual en las criptomonedas no se aplicará este modelo, pues no es similar el invertir en bonos del Tesoro de USA que en una criptomoneda como Bitcoin, en donde el riesgo es muy alto.

7.5. Introducción a las criptomonedas

7.5.1. El blockchain en el proceso de una criptomoneda

- El blockchain es una tecnología que permite almacenar datos, fuentes, direcciones de origen y destino en la Internet; todo esto de manera descentralizada, creando una base de datos precisa, permanente y económica.
- Su primera aplicación de uso en las criptomonedas se realizó con el desarrollo y lanzamiento del bitcoin²¹, a partir de ese momento, su uso ha sido exponencial en el mundo de las criptomonedas.
- La tecnología blockchain hace posible mantener el registro de datos contables de manera segura y confiable de forma descentralizada, por lo que la confianza del consumidor al utilizar cuentas bancarias basadas en esta tecnología ha venido creciendo dado que ha demostrado que el factor “descentralización” hace más económico y rápido el poder realizar transferencias entre cuentas.
- El blockchain permite asignar la propiedad de cada dato a un titular de cuenta, siendo esto la innovación que la tecnología blockchain ha traído a la sociedad [18].

7.5.2. Resumen de su funcionamiento

- En el bitcoin, a medida que se agregan periódicamente datos nuevos a la red, se crea un nuevo “bloque” y se une a la “cadena”. Esto implica que todos los nodos actualizan el libro mayor del blockchain para que sean idénticos mediante consenso, el cual se realiza cada 10 minutos²¹.
- Estos bloques en el bitcoin se añaden por medio del concepto de “minería” que consiste en resolver un tipo de “rompecabezas criptográfico”, premiando al primero que lo resuelva y dejando que el ganador registre la transacción exitosa, así se crea un nuevo bloque en el blockchain de bitcoin.
- Los nodos realizan una verificación de los nuevos datos para confirmar su autenticidad y validez antes de que se pueda agregar al libro de contabilidad como un nuevo bloque.

²¹Satoshi Nakamoto. 2008. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Consultado en <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>

- Debido a esta estricta forma para crear un nuevo bloque dentro del blockchain es por lo que se considera una tecnología bastante segura.
- Al utilizarse en criptomonedas, esta tecnología blockchain puede implicar asegurar que las nuevas transacciones no sean falsas o fraudulentas, o que las monedas no se hayan gastado/-traspasado más de una vez en otra transacción anterior.

7.5.3. Organización y formación del blockchain

- El blockchain se va formando cuando se van añadiendo bloques uno tras otro secuencialmente como se muestra en la figura 15, así cada bloque se conecta al bloque anterior y al posterior. Se forma así, una cadena de bloques de datos²² a medida que el activo se va moviendo de un lugar a otro, o si la propiedad cambia de manos.
- En cada bloque queda registrada la información conteniendo los datos con la secuencia de las transacciones realizadas, estos se van encadenando de manera segura para evitar que ningún bloque pueda ser manipulado o modificado, o que dentro de la cadena se inserte un bloque entre dos bloques ya existentes.

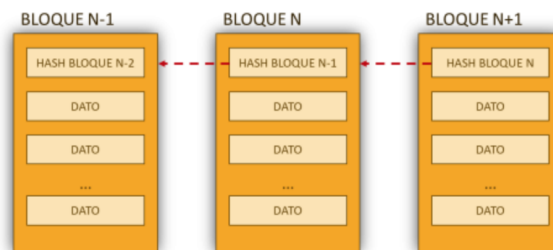


Figura 15: Ejemplo de enlace de bloques en el blockchain
Fuente: Tomado de Agencia Española Protección de Datos.

- A medida que se produce una transacción, se registra como un “bloque” de datos. Estas transacciones muestran el movimiento de un activo, que puede ser tangible (un producto) o intangible (intelectual).
- Un bloque de datos puede registrar cualquier tipo de información que se requiera, por ejemplo: nombres (documentar autores: ¿quién o quienes?); descripción (¿qué es?); fecha y hora

²²Agencia Española Protección de Datos, Blockchain: Conceptos básicos desde la protección de datos. Nov 2020

(¿cuando?); ubicación o lugar (¿adónde?); cantidades (¿cuánto?); otros parámetros tales como temperatura, área, presión, longitud, número de serie, etc.

- La “inmutabilidad” es una propiedad del blockchain que asegura la integridad de los datos almacenados. No permite agregar, borrar o modificar datos almacenados en un bloque sin que se produzca un cambio en el valor del hash utilizado como vínculo en el bloque siguiente.
- Esta propiedad garantiza que cualquier cambio o alteración de los datos en un bloque quede debidamente registrado dejando documentada su trazabilidad o constancia de la transacción realizada.
- Cuando se habla de la “inmutabilidad” del blockchain, esta debe ser entendida de forma relativa [18], pues para realizar alguna modificación en los bloques administrando su integridad sería necesario la implementación de una política de trazabilidad de los nodos que los almacenan y una política de consenso entre todas las partes participantes para ejecutar y/o aceptar dicha alteración.

7.5.4. Conceptos de Nodos, Minería y Contratos Inteligentes en blockchain

- Los “nodos” son computadoras en las cuales se registran y almacenan las transacciones del blockchain, cada nodo almacena una copia idéntica de todos los registros de transacciones.
- Existe un nodo “minero” el cual es el que valida el siguiente lote de transacciones en un bloque, de tal forma que los bloques son validados siempre por cada nodo minero.
- Las criptomonedas por lo general tienen miles de nodos, por ejemplo el caso de Ethereum como lo menciona el paper de Said et al.²³, el cual tiene decenas de miles de nodos que operan en un momento dado y cada nodo en la red Ethereum guarda una copia de todos sus contratos inteligentes (Smart Contracts en inglés), incluyendo datos, saldos de cuenta y estado de transacciones [31].

²³Said et al. Detailed analysis of Ethereum network on transaction behavior, community structure and link prediction. PeerJ Comput. Sci. 7:e815 <http://doi.org/10.7717/peerj-cs.815>

7.6. Características de las criptomonedas

7.6.1. Volatilidad

- En economía, la definición de la palabra “volatilidad” significa inestabilidad del valor o del precio, según la definición consultada en el diccionario de la Real Academia Española.
- Ayten Kahya et al. [19], en su paper titulado “Reduciendo la volatilidad de las criptomonedas: una encuesta sobre las monedas estables”²⁴, menciona que desde la aparición del Bitcoin en el 2009, las criptomonedas muestran una alta volatilidad en su precio en periodos que van desde meses, semanas, días y hasta horas. Por lo cual algunos investigadores y desarrolladores se enfocan en el diseño de las llamadas criptomonedas estables.
- El mayor desafío que se tiene con las criptomonedas es su extrema volatilidad. Los precios de las criptomonedas no se pueden determinar con una certeza similar a los precios del mercado de valores.
- Das Gupta et al. [20] en su paper titulado “Pronóstico de precios de criptomonedas utilizando modelos secuenciales y de series temporales”²⁵, investigan con diferentes modelos utilizando series temporales y secuenciales para el aprendizaje con Machine Learning, en la cual se utilizaron varios modelos aplicados para modelar el precio, el modelo BI-LSTM arrojó mejores resultados en sus aproximaciones con respecto a los otros modelos, es importante aclarar una mención que hacen los investigadores en su reporte sobre “diferentes aspectos” de las criptomonedas que afectan el movimiento del precio, sin mencionar cuales son esos aspectos.
- Dado que los mercados tienen un horario de operación (apertura y cierre), los datos que utilizaron en la investigación fue el precio al cierre como característica para su predicción de precios. El resultado de su investigación la propuesta de un modelo híbrido entre LSTM-GRU, el cual puede producir resultados diferentes y puede que hasta mejores que el utilizar modelos convencionales como LSTM y GRU [20], se aclara que todos los cálculos para predicciones de los precios o valores de las criptomonedas se basan en patrones mostrados anteriormente por las criptomonedas.
- En la mayoría de fuentes consultadas sobre “Volatilidad en las criptomonedas”, llama la aten-

²⁴Reducing the Volatility of Cryptocurrencies - A Survey of Stablecoins, Ayten Kahya et. all. 2020

²⁵ver paper Forecasting Cryptocurrency Prices using Sequential and Time Series Models, Das Gupta et al., 2022

ción que el factor riesgo aparece en la mayoría de investigaciones realizadas, indistintamente de las técnicas utilizadas por los investigadores (matemáticos, economistas y/o estadísticos), dentro de las discusiones en la comunidad científica sobre este particular, el factor riesgo sigue presente en el comportamiento futuro del precio de las criptomonedas como lo muestra el paper de Haruna Umar Yahaya et al. [21], titulado “Modelado y pronóstico de la rentabilidad y la volatilidad de las criptomonedas: una aplicación de los modelos GARCH”²⁶, utilizando modelos matemáticos en las investigaciones, específicamente el modelo GARCH con el efecto ARCH y el modelo ARIMA fueron los que se utilizaron para estimar el comportamiento de la criptomoneda para estimar el comportamiento del precio a futuro.

- Las conclusiones y recomendaciones a que llegaron los investigadores es que se debe tener cuidado con movimientos “en falso” en el mercado de las criptomonedas porque podrían tener un impacto muy grande en el sector financiero, lo que se podría interpretar como que el riesgo estará presente en cualquier transacción que involucre criptomonedas.

7.6.2. Ejemplos de Volatilidad de las stablecoins

- En la figura 16 se muestran los valores de mercado de las cuatro criptomonedas estables que escogimos en nuestro estudio y que son las más populares del mercado al 30 de mayo 2023 [22] (*Top 4 stablecoins en inglés*) según su valor de capitalización.
- En el caso de las criptomonedas Binance-USD su valor era de \$5270 millones y USD-Coin su valor era de \$29000 millones para esta fecha del 30 de mayo 2023.

²⁶Modeling and Forecasting Cryptocurrency Returns and Volatility: An Application of GARCH Models. Universal Journal of Finance and Economics, 2022

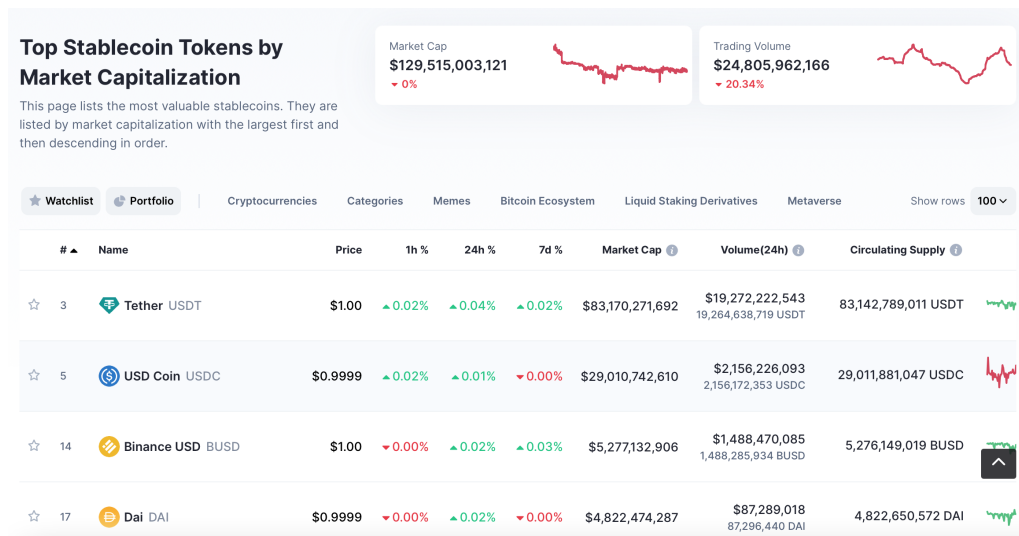


Figura 16: Valor de mercado de las stablecoins al 30 de Mayo 2023.
Fuente: Datos extraídos de CoinMarketCap [22].

- En la figura 17 se muestran las mismas criptomonedas con su valor de mercado [22] tomado 10 semanas después, específicamente el 8 de Agosto 2023, en la cual Binance-USD presentó una caída de \$1880 millones respecto a su valor del 30 de mayo anterior; para el caso de USD Coin, esta presenta una caída de \$3300 millones respecto a la fecha anterior 30 de mayo 2023.

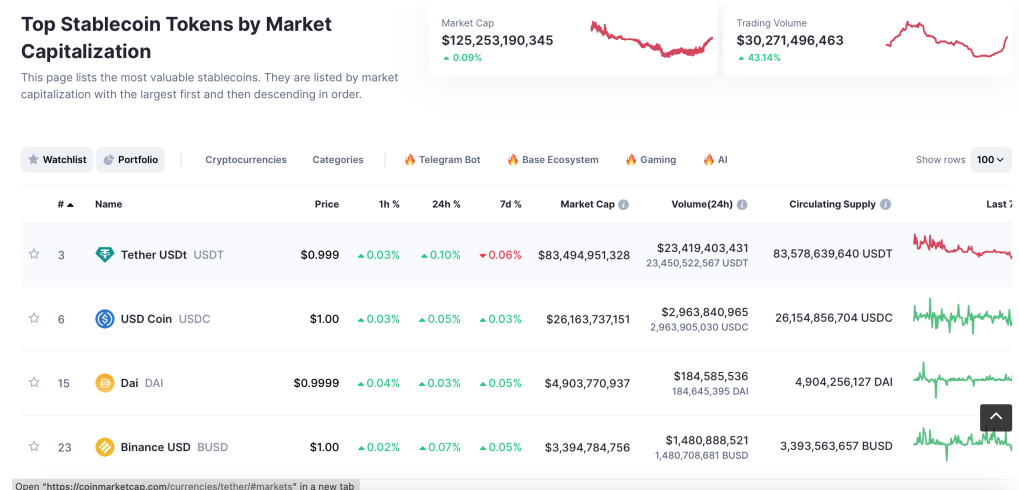


Figura 17: Valor de mercado de las stablecoins al 8 de Agosto 2023.
Fuente: Datos extraídos de CoinMarketCap [22]

- USD-Coin y Binance-USD mostraron una variabilidad negativa del valor de mercado en 10 semanas. Estas pérdidas de valor de la criptomoneda no son comparables o equivalentes a las monedas reales a las cuales están vinculadas.

7.6.3. Variabilidad de las criptomonedas estables (*stablecoins*)

- En las siguientes figuras se muestran los gráficos de precios que muestran la variabilidad en las criptomonedas estudiadas Tether, Binance-USD, USD-Coin y DAI.
- Los gráficos son de un periodo de 24 horas del 5 de octubre 2023 para análisis en nuestra investigación:



Figura 18: Variabilidad de Tether en 24 horas 5/oct/2023 [23]
Fuente: Gráfico generado desde www.coindesk.com/price/tether/



Figura 19: Variabilidad de Binance-USD en 24 horas 5/oct/2023 [24]
Fuente: Gráfico generado desde www.coindesk.com/price/binance-usd/

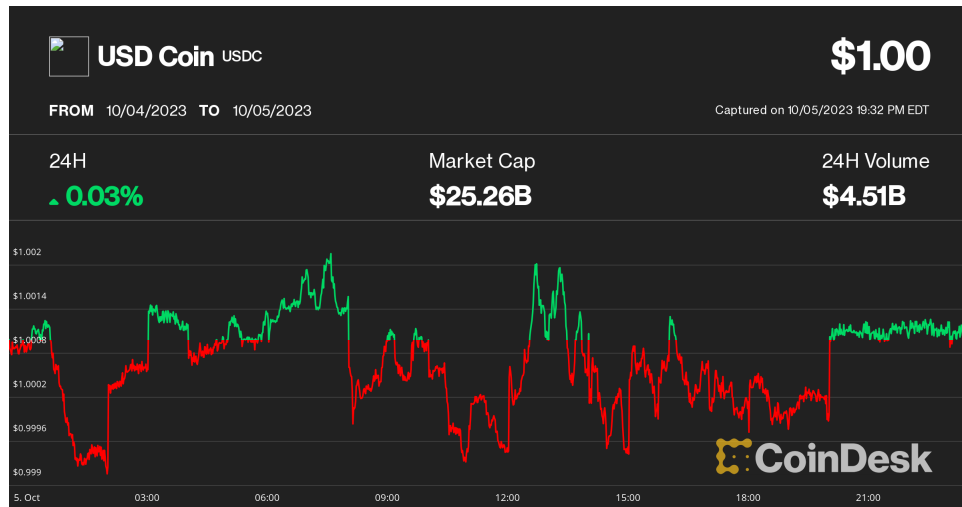


Figura 20: Variabilidad de USD-Coin en 24 horas 5/oct/2023 [25]
Fuente: Gráfico generado desde www.coindesk.com/price/usd-coin/



Figura 21: Variabilidad de DAI en 24 horas 5/oct/2023 [26]
Fuente: Gráfico generado desde www.coindesk.com/price/dai/

7.6.4. Análisis de las causas de la volatilidad en las criptomonedas estables

- Una de las causas de la volatilidad en las criptomonedas es la manipulación y especulación como lo menciona el estudio de Hayes titulado “Qué factores dan valor a las criptomonedas: un análisis empírico”, 2015 [27], con el caso del Bitcoin para que subiera de valor por encima de los \$1000.00 en el año 2013. Se encontraron pruebas de que el aumento del precio de un bitcoin se debió en gran medida a una manipulación coordinada de precios en la bolsa de Mt. Gox que implicaba algoritmos comerciales fraudulentos que robaban cuentas de clientes²⁷.

²⁷Neil Gandal, JT Hamrick, Tyler Moore, Tali Oberman, Price Manipulation in the Bitcoin Ecosystem, Journal of Monetary Economics (2017), DOI: 10.1016/j.jmoneco.2017.12.004

- Otra de las causas de la volatilidad es la desviación del valor fijo o de referencia, en nuestro caso ese valor es de \$1.00, siendo cualquier desviación hacia abajo o hacia arriba de ese valor, uno de los riesgos más importantes para las criptomonedas estables.
- En otro estudio realizado en la Escuela de Comercio de Londres por Yhlas Sovbetov [28] titulado “Factores que influyen en los precios de las criptomonedas: evidencia de Bitcoin, Ethereum, Dash, Litecoin y Monero”²⁸, encuentra que la volatilidad en los mercados de criptomonedas parece ser un determinante estadísticamente significativo a corto y largo plazo para todas las criptomonedas.
- Un efecto de la volatilidad en los mercados es que puede ejercer presión a la baja sobre el precio, así como también podría desencadenar una huida hacia otras opciones y aumentar la demanda de otras criptomonedas estables para asegurar su inversión, lo que podría aumentar el precio (tendencia a subir).
- Con la declaratoria mundial de la Pandemia del Covid-19, la volatilidad de los mercados quedó en evidencia como se muestra en el estudio de Gormsen y Koijen [29] titulado “Coronavirus: impacto en los precios de las acciones y las expectativas de crecimiento”²⁹, puesto que cuando se declaró la Pandemia en Marzo 2020, los mercados de valores de Estados Unidos, la Unión Europea y Japón se desplomaron hasta un 30 % como se muestra en la figura 22, puesto que a partir de ese momento, las implicaciones del Covid-19 eran inciertas tanto para la salud pública como para la economía global y otros numerosos aspectos de la vida cotidiana [29].

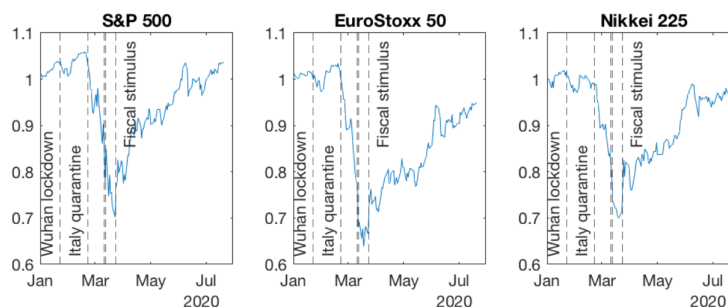


Figura 22: Impacto del Covid-19 en los mercados de USA, Unión Europea y Japón
Fuente tomada de “Coronavirus: Impact on Stock Prices... de Gormsen y Koijen” [29]

- Para los investigadores financieros, el alcance de las reacciones del mercado todavía resultaban

²⁸Factors Influencing Cryptocurrency Prices: Evidence from Bitcoin, Ethereum, Dash, Litecoin, and Monero. 2018

²⁹Coronavirus: Impact on Stock Prices and Growth Expectations, 2020

desconcertantes pues no había explicación para que el mercado de valores cayera un 30 por ciento sólo debido a las expectativas de crecimiento revisadas antes de este evento.

- La pandemia del Covid-19 demostró la volatilidad en los mercados financieros, creó importantes crisis de salud pública en el mundo y al mismo tiempo disparó alarmas sobre una creciente preocupación por las consecuencias económicas nunca antes vistas, ya que muchos gobiernos ordenaron a la población quedarse en casa para frenar la propagación del virus[30].
- Se desconocía en gran medida el impacto que la “pausa” por el Covid-19 pudiera tener en las cadenas de suministro como alimentos, medicinas, energía, etc. Incluyendo la demanda de los hogares al no poder trabajar, el ingreso y la estabilidad financiera de la economía. Como resultado, las autoridades, las empresas y los participantes del mercado se dieron a la tarea de revisar las expectativas de crecimiento para los próximos años [31].

7.6.5. Impacto de la volatilidad en inversores y mercados

- La volatilidad de los activos de reserva utilizados como respaldo del valor de la criptomoneda estable (ejemplo: 1 criptomoneda = \$1.00 real en cuenta bancaria), tienen un impacto significativo en la liquidez, ya que la cantidad de dinero real que hoy respalda el valor de mercado de dicha criptomoneda, puede que no sea suficiente para el valor del día siguiente como lo mencionan investigadores del MIT y Princeton, Catalini et al. [32], en su estudio titulado “Sobre el diseño económico de las monedas estables”³⁰.
- La volatilidad también puede verse afectada por factores de operación como los que resguardan los activos reales en instalaciones físicas (dinero real en cuentas de bancos), uno de esos factores es el efecto del fin de semana ya que las criptomonedas funcionan 24x7/365 días al año, mientras que las instituciones bancarias no trabajan los fines de semana como lo menciona Polizu et al. [33] en su estudio titulado “Criptomonedas estables: una inmersión profunda en la valoración y la desvinculación”³¹, eso puede afectar el perfil de riesgo de la moneda estable para los poseedores de monedas.
- Un problema serio de volatilidad ocurrió durante el fin de semana del 10 al 13 de Marzo 2023 con la quiebra del Silicon Valley Bank (SVB) en Estados Unidos y luego después del anuncio

³⁰On the Economic Design of Stablecoins, Catalini et al., 2021

³¹Stablecoins: A Deep Dive into Valuation and Depegging, Polizu et al., 2023

del cierre del SVB dos bancos más fueron cerrados: Signature Bank y Silvergate Bank.

- Como el anuncio se produjo durante el fin de semana (Viernes 10 de marzo al final del día), su efecto en las criptomonedas DAI y USD Coin (USDC) se notó en pocas horas, puesto que se vieron impactadas con una caída en sus valores de un 13%.
- La caída de precios en USD Coin se produjo después de que su empresa administradora/propietaria Circle confirmara que tenían depósitos en esos bancos por un monto de \$3300 millones de dólares como reservas de efectivo para respaldar el valor de la criptomoneda USD-Coin (USDC).
- La caída en el valor de la criptomoneda DAI siguió al de USD-Coin debido a que DAI utiliza como respaldo otras criptomonedas³¹, en ese momento tenía más de la mitad de su fondo de respaldo en USD-Coins.
- Es importante recalcar que algo que evitó un mayor impacto y permitiera que estas criptomonedas volvieran a su valor en \$1.00, fue el anuncio de la Reserva Federal confirmando que apoyaría a los acreedores de estos bancos.

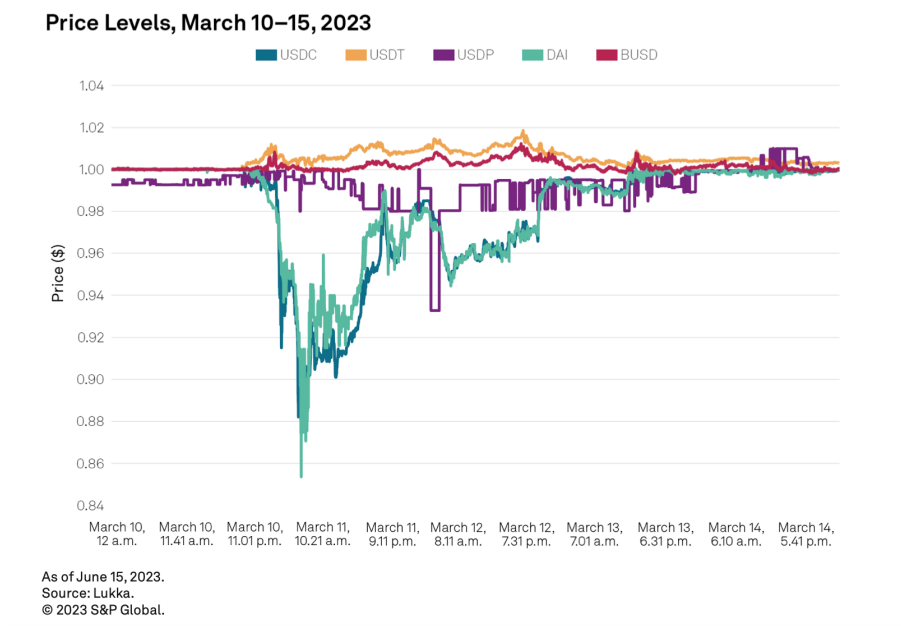


Figura 23: Impacto en el precio de criptomonedas por quiebra del SVB Bank-Marzo 2023
Fuente tomada de “Stablecoins: A Deep Dive into Valuation and Depegging”

7.6.6. Liquidez en las criptomonedas

- En términos financieros, la palabra “liquidez” se define como la relación que existe entre el conjunto de dinero en caja (disponible) y de bienes fácilmente convertibles en dinero, y el total de los activos de un banco u otra entidad³².
- En las criptomonedas estables, la liquidez es el fondo de dinero de respaldo real que garantiza su valor, sus propietarios/administradores “aseguran” que están respaldadas en una relación “1:1” en caso de emisión y venta, lo cual podría suponer que el riesgo de cambiar dolares reales por criptomonedas estables sería mínimo, pero que en la realidad, el respaldo de las criptomonedas estables no es del 100 % respecto a su valor de mercado.
- La liquidez es relativa, pues algunas criptomonedas aseguran tener depósitos en cuentas fiduciarias (bancos reales) para garantizar la inversión y algunas tienen sus reservas en otras criptomonedas, pero lo que sucede en la realidad es que se ha comprobado que no tienen respaldo real pues sus reservas no cubren el 100 % de los tokens generados y no cuentan con la confianza del consumidor.
- Un claro ejemplo es que una de las más importantes criptomonedas estables del mercado llamada “Tether” ha estado en medio de investigaciones debido a que existe una controversia de cuanto dinero tienen de reserva y de acuerdo con un estudio realizado por Bains, Parma, et al. [34] del Fondo Monetario Internacional titulado “Regulación del ecosistema criptográfico: el caso de las monedas estables y sus acuerdos”³³, las reservas reales de Tether son apenas del 6 % que no cubre el respaldo de 1:1 para seguridad de los usuarios.

Otro ejemplo es el de Terra la cual dejó perdidas multimillonarias a los que creyeron e invirtieron su dinero real en esta criptomoneda estable de \$1.00 en Marzo del 2022 como lo señala el estudio de Badev y Watsky para la Reserva Federal de los Estados Unidos de America, Junio 2023 [35] titulado “DeFi interconectado: efectos dominó del colapso de Terra”³⁴.

³²definición consultada en el diccionario de la Real Academia Española

³³Regulating the Crypto Ecosystem: The Case of Stablecoins and Arrangements, IMF, September 26, 2022

³⁴Interconnected DeFi: Ripple Effects from the Terra Collapse.

7.7. Las criptomonedas estables

- En el curso de nuestra investigación encontramos el término de *Stablecoins* [69] la cual según los analistas intentan cerrar la brecha entre las opciones de criptomonedas vinculadas a un valor específico de una moneda real y otras criptomonedas que han mostrado volatilidad pero que según algunos medios ofrecen mayores beneficios de utilidad por ejemplo: velocidad y costos de transferencias [34].
- Una criptomoneda estable es una moneda digital vinculada con un activo de reserva estable como el dólar (USD\$), el euro (€), etc. Están diseñadas para reducir la volatilidad propia de las criptomonedas sin respaldo como el Bitcoin[5], su objetivo es el de ofrecer estabilidad en el valor y comportarse de manera predecible como lo hacen las monedas fiduciarias. En la siguiente figura se muestra un cuadro comparativo con algunas características de diseño que tienen las criptomonedas estables de nuestra investigación (Tether[56], Binance-USD[57], USD-Coin[58] y DAI[59]):

Parametro	Tether (USD T)	Binance USD (BUSD)	USD Coin (USDC)	DAI
Algoritmo de Consenso	Prueba de Reserva (PoR)	Prueba de Reserva (PoR)	Prueba de Reserva (PoR)	Algoritmo de Prueba de Trabajo (PoW) y Prueba de Participación (PoS) en Ethereum
Mecanismos de Estabilidad	Respaldo 1:1 por USD en reservas bancarias	Respaldo 1:1 por USD en reservas bancarias	Respaldo 1:1 por USD en reservas bancarias	Colateralizado con criptomonedas (principalmente ETH) y otros activos colaterales
Distribución y Descentralización	Centralizada (emitido por Tether Limited)	Centralizada (emitido por Paxos en asociación con Binance)	Centralizada (emitido por Circle en asociación con Coinbase)	Descentralizada (gestionado por la comunidad MakerDAO)
Seguridad y Privacidad	Seguridad dependiente de auditorías externas, privacidad limitada	Seguridad dependiente de auditorías externas, privacidad limitada	Seguridad dependiente de auditorías externas, privacidad limitada	Alta seguridad en blockchain, privacidad limitada a través de contratos inteligentes
Escalabilidad y Eficiencia	Alta escalabilidad y eficiencia en transacciones, tiempo de confirmación rápido	Alta escalabilidad y eficiencia en transacciones, tiempo de confirmación rápido	Alta escalabilidad y eficiencia en transacciones, tiempo de confirmación rápido	Moderada escalabilidad debido a la dependencia en Ethereum, tiempo de confirmación más lento
Documentación	https://tether.to/es/whitepaper/	https://www.binance.com/en/research/projects/binance-usd	https://www.circle.com/en/usdc	https://makerdao.com/en/

Figura 24: Cuadro comparativo de las criptomonedas estables
Fuente: información recopilada de distintos documentos [56][57][58][59].

- Las monedas fiduciarias son las monedas que se utilizan físicamente para comprar comestibles y servicios como el dólar estadounidense, la libra esterlina, el euro, el colón, etc. Estas ofrecen una cantidad de valor estable y en gran medida predecible, lo que las hace adecuadas para transacciones financieras a corto y largo plazo (compra y venta de bienes y servicios).

- Tipos de criptomonedas estables, se definen cuatro tipos:
 1. **Criptomonedas estables respaldadas por monedas fiduciarias:** las cuales son respaldadas por monedas reales en una proporción de uno a uno.
 2. **Criptomonedas estables respaldadas por materias primas:** las cuales son las que utilizan materias primas como el oro, plata, bienes raíces o metales para proporcionar su estabilidad.
 3. **Criptomonedas estables con respaldo criptográfico:** las cuales son las que utilizan una o más criptomonedas como garantía.
 4. **Criptomonedas estables algorítmicas:** las cuales son las que utilizan algoritmos para controlar su suministro y lograr la estabilidad en el mercado.
- Es importante documentar que las criptomonedas estables no son aceptadas en bancos comerciales por múltiples razones, las cuales incluyen incertidumbre en su regulación y de su integridad comercial, por ello los desarrolladores buscan colocar su “capital de reserva” en pocos bancos comerciales que las acepten pero como dinero físico real [34] y no como criptomonedas.

8. Propuesta de gobernabilidad

8.1. Gobernabilidad en criptomonedas estables

Dado que en el transcurso de nuestra investigación nos encontramos con la existencia de “criptomonedas estables”, al estudiarlas y revisar lo que ellas proponen, descubrimos que presentan varios requerimientos inherentes de una criptomoneda que no cumplen, a los cuales llamamos puntos de no conformidad y que son necesarios para que sean realmente criptomonedas estables, dentro de estos puntos encontrados de no conformidad se tienen los siguientes:

8.1.1. El control está en manos de unos pocos

Debido a que una de las principales características de las “criptomonedas estables” o *stablecoins* es que sean “descentralizadas” hemos podido comprobar un caso real que está en manos de unos pocos, la más importante “criptomoneda estable” del mercado llamada Tether [36] donde cuatro personas controlan el 86 % del total de esta.

8.1.2. Existe falta de transparencia

Otra de las características que no se cumplen por ninguna es que sean “transparentes”, nos hemos encontrado con que contienen algoritmos oscuros (secretos) de control que no se hacen del conocimiento público, tal es el caso de falta de transparencia descubierto con Tether, ninguna documentación publicada hace mención sobre los mecanismos de control.

8.1.3. No hay descentralización al 100 %

No hay ninguna criptomoneda estable *stablecoin* que cumpla con la característica de ser 100 % descentralizada como lo señala el reporte de Mell y Yaga [37] titulado “Understanding Stablecoin Technology and Related Security”. En todos los proyectos de estas criptomonedas existe un ente que decide sobre el protocolo en mayor o menor medida. En el caso de las criptomonedas estables emitidas por empresas, como Tether, USD-Coin, Binance-USD, la centralización se puede ver. Son sus desarrolladores los que se encargan de garantizar el respaldo de los tokens. Como tal, pueden regular la emisión y hasta congelar fondos de determinadas direcciones en caso de ser necesario por ejemplo, en caso de hackeos o si la Justicia de un país lo ordena.

8.1.4. Operan sin ninguna regulación

Al ser productos o artículos de índole comercial ofrecidos por productores (desarrolladores) para ser vendidos o negociados a través de internet en mercados financieros son considerados “productos privados” por lo que no están obligados a brindar información sobre su control interno, no hemos encontrado información de ninguna criptomoneda estable sobre la forma de como mantienen su valor y no están reguladas por ninguna entidad financiera ni gubernamental en ningún país.

8.1.5. Sin respaldo alguno

No tienen un respaldo real pues sus reservas no cubren el 100 % de los tokens generados. Un claro ejemplo es que una de las más importantes criptomonedas estables del mercado llamada “Tether” está en medio de investigaciones debido a que existe una controversia de cuanto dinero tienen de reserva [34] que no cubre el respaldo de 1:1 para seguridad de los usuarios, otro caso fue el de la criptomoneda Terra la cual se derrumbó dejando a sus inversores con pérdida total [35].

8.1.6. No resuelven el problema

Debido a los hallazgos de la investigación de las criptomonedas estables y que además presentan problemas de estabilidad, confirmamos que no están resolviendo el problema que queremos resolver en esta investigación.

8.1.7. Validez de la propuesta planteada

Por todo lo expuesto anteriormente nuestra propuesta planteada inicialmente en esta investigación cobra aún una mayor validez. Debemos aclarar que debido a la identificación de variables externas³⁵ a las criptomonedas que no pueden ser controladas automáticamente, estas pueden afectar su valor en el mercado, por ello en nuestra propuesta del sistema de gobernabilidad se requiere de la participación humana, por lo que no puede hacerse un sistema completamente distribuido.

³⁵Ver la descripción más adelante en la sección 10.3.1 “Variables externas no perceptibles por algoritmos”

8.2. Identificación de variables para estabilidad del valor monetario

Hemos podido identificar algunas de las variables y requisitos necesarios que deben estar presentes en un modelo de estabilidad para lograr que una criptomoneda sea considerada “estable”:

1. Vinculación a un activo estable: Asociar o vincular el valor de la criptomoneda a un activo o moneda fiduciaria estable (ej: Dólar americano (\$), Euro (€), Libra esterlina (£), etc.).
2. Base de activos: Crear una base de activos: ejemplo: el oro, donde un gramo de oro equivale a un token.
3. Mecanismo de retroalimentación: Utilizar un mecanismo de retroalimentación de precios.
4. Controles algorítmicos: Utilizar controles algorítmicos sin intervención humana (ej. Bitcoin).

8.2.1. Variables identificadas en uso por las criptomonedas estables

De las cuatro variables enumeradas anteriormente, tres de ellas ya están en uso en algunas criptomonedas estables, pero hay una en particular que identificamos para lograr una estabilidad que no la pueden dar las otras variables por sí solas, la cual es *que tengan un mecanismo de retroalimentación de precios*.

8.2.2. Variable no utilizada actualmente por las criptomonedas

- La variable de retroalimentación por medio de un mecanismo de control para la toma de decisiones de estabilidad, no está considerada dentro de las criptomonedas estables.
- Como mencionamos en los objetivos de nuestra investigación, la propuesta de la variable a trabajar es la de diseñar y documentar un mecanismo de estabilidad de gobernabilidad descentralizado, democrático y transparente que mejor se adapte al proyecto y que por la dinámica mundial de la economía, las criptomonedas actuales fallan en su respuesta.

8.3. Requisitos identificados en una criptomoneda estable

Hemos identificado los siguientes requisitos para que una criptomoneda estable brinde confianza al consumidor en términos de credibilidad y su comportamiento de estabilidad en su valor:

1. **Control de gobernabilidad:** descentralizadas, democráticas, para el proceso de toma de decisiones. ← [Enfoque nuestro](#).
2. **Tengan un mecanismo de consenso:** utilizado actualmente por las criptomonedas (algoritmo de consenso). ← Lo tienen.
3. **Control de emisión de tokens:** las reglas para emitir nuevos tokens, suministrar, distribuir y regir por un conjunto de especificaciones. ← Lo tienen.
4. **Seguridad:** especificaciones para proteger la red, el cifrado, la supervisión y las actualizaciones regulares de software. ← Lo tienen.

8.4. Otros requisitos identificados

Basado en nuestra investigación, los siguientes son otros requisitos identificados:

1. **Transparencia:** el que tengan transparencia es esencial, las especificaciones que la rigen deben incluir medidas para garantizar la transparencia en las transacciones, como libros abiertos, registros de transacciones y direcciones públicas.
2. **Interoperables:** esto es que pueden operar en diferentes cadenas de bloques haciendo y permitiendo transacciones entre distintas criptomonedas.
3. **Auditable:** deben poder ser auditadas en su cumplimiento, en este caso las criptomonedas podrían estar sujetas a varias leyes y reglamentos, deben incluir medidas de cumplimiento para garantizar que cumpla con las leyes y reglamentos pertinentes.
4. **Control proactivo:** deben tener un monitoreo en tiempo real para controlar proactivamente el precio de la criptomoneda, y esto se puede lograr a través de la implementación de SPC, actualmente sus controles demuestran ser reactivos (reaccionan tarde), no hay evidencia de que se tomen medidas para analizar puntos fuera de control.

8.5. Propuesta para implementación de gráfica de control SPC

A continuación se describe la propuesta para implementar y utilizar gráficas de control SPC en el monitoreo de precios de las criptomonedas estables con el fin de de monitorear su comportamiento en tiempo real y brindar la retroalimentación necesaria para tomar acciones en caso de que algún comportamiento anormal del precio fuera detectado:

1. Uno de los requisitos para implementar gráficos de control en SPC es que hay que identificar la(s) variable(s) que se requieren para poder monitorearlas y elaborar planes de acción.
2. En el caso de las criptomonedas, la variable a controlar es el “precio” en los mercados de valores; como esta información es publica, se puede obtener en tiempo real desde distintas plataformas de intercambio llamadas “Exchange” los cuales son sitios web dedicados a transacciones de compra, venta e intercambio de criptomonedas a dinero real o entre diferentes criptomonedas, algunos de estos más reconocidos son: Coingecko.com, Coindesk.com, Coinbase.com, Coinmarket.com, etc.
3. Para la obtención de datos para generar la gráfica de control SPC de las criptomonedas de nuestra investigación, se necesitan extraer los datos contenidos como: nombre, precio, fecha y hora de las criptomonedas mencionadas, para esto se ha escogido la plataforma exchange llamada “Coingecko.com” debido a que esta opera de manera *Open Source* y permite accesar los datos con un API gratuito, mientras que en las otras plataformas exchange cobran por ello.

4. En nuestra propuesta de diseño, se implementa una gráfica de control para las criptomonedas estables: Tether (USDT), USD-Coin (USDC), Binance-USD(BUSD) y DAI(DAI).
5. En la siguiente figura se muestra una gráfica de control de SPC con información real del precio en un periodo de 24 horas con una frecuencia de datos de cada 10 minutos y el script utilizado para generar este gráfico se muestra a continuación.

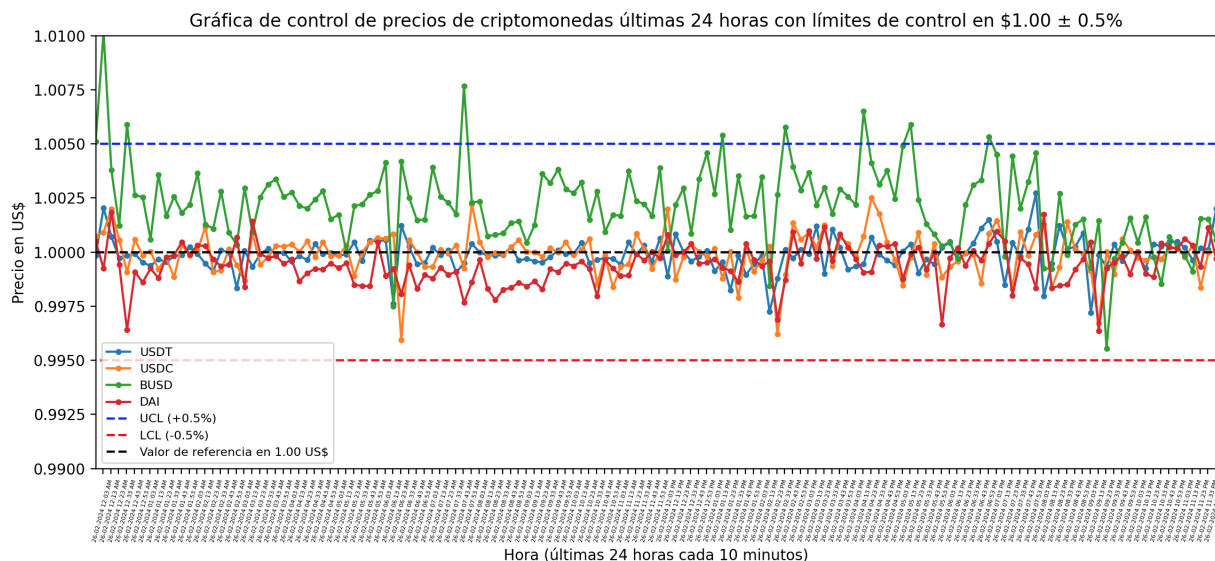


Figura 25: Gráfica de control SPC últimas 24 horas monitoreadas cada 10 min
Fuente: Propia con datos Anexo A

8.5.1. Pseudocódigo para generar la gráfica de control SPC con datos reales

- El siguiente pseudocódigo³⁶ se utiliza para extraer los datos y generar una gráfica de control (SPC) de los precios en las últimas 24 horas de varias criptomonedas estables los cuales son extraídos mediante un API externo que llama al servidor de coingecko.com (gratuito), una vez hecho esto se genera una gráfica de control de precios utilizando Matplot la cual incluye los límites de control para poder realizar un análisis visual de los precios de las criptomonedas en función del tiempo.
- El intervalo de tiempo que se utiliza es de cada 10 minutos para tener una mejor visibilidad del comportamiento del precio

³⁶El script en Python está disponible en el Anexo D.3 #3

Algorithm 1 Análisis de precios de criptomonedas - extracción de datos últimas 24 horas

Importar módulos:

- requests
- matplotlib.pyplot as plt
- datetime
- timedelta

```
function OBTENER_DATOS_CRIPTOMONEDA(criptomoneda, intervalo)
    url ← "https://api.coingecko.com/api/v3/coins/markets"
    parametros ← {
        'vs_currency': 'usd',
        'ids': criptomoneda,
        'sparkline': 'true',
        'price_change_percentage': intervalo
    }
    respuesta ← requests.get(url, params=parametros)
    if respuesta.status_code = 200 then
        datos ← respuesta.json()
        return datos[0]
    else
        return None
    end if
end function

Criptomonedas ← ['tether', 'usd-coin', 'binance-usd', 'dai']
intervalo ← '24h'
fig, ax ← plt.subplots(tamaño=(10, 5))
for cada criptomoneda en Criptomonedas do
    datos_criptomoneda ← OBTENER_DATOS_CRIPTOMONEDA(criptomoneda, intervalo)
    if datos_criptomoneda existe then
        etiqueta ← datos_criptomoneda['symbol'].upper()
        precios_cambio ← datos_criptomoneda['sparkline_in_7d']['price'][-144:]
        hora_actual ← datetime.now()
        marcas_tiempo ← [hora_actual - timedelta(minutos=i*10) para i en Rango(144)]
        ax.plot(marcas_tiempo, precios_cambio, marcador='.', etiqueta=etiqueta)
    end if
end for

num_puntos ← 144
ucl ← [1.005] * num_puntos
lcl ← [0.995] * num_puntos
ax.plot(marcas_tiempo, ucl, 'b-', etiqueta='UCL (+0.5 %)')
ax.plot(marcas_tiempo, lcl, 'r-', etiqueta='LCL (-0.5 %)')
ax.axhline(y=1, color='black', estilo_línea='-', etiqueta='Valor de referencia en 1.00 US$')
valor_y_min ← 0.99
valor_y_max ← 1.01
ax.set_ylim(valor_y_min, valor_y_max)
ax.legend(propiedad='tamaño': 8)
plt.xticks(tamaño_fuente=4)
ax.set_xlim(marcas_tiempo[-1], marcas_tiempo[0])
ax.xaxis.set_major_locator(plt.matplotlib.dates.MinuteLocator(intervalo=10))
ax.xaxis.set_major_formatter(plt.matplotlib.dates.DateFormatter('%d- %m- %Y %I: %M %p'))
ax.set_xlabel('Hora (últimas 24 horas cada 10 minutos)')
ax.set_ylabel('Precio en US$')
ax.set_title('Gráfica de control de precios de criptomonedas últimas 24 horas con límites de control en $1.00 ± 0.5 %')
ax.tick_params(eje='x', rotación=75)
plt.tight_layout()
plt.show()
```

8.5.2. Implementación de control SPC para la variación de precios en criptomonedas

La variación del precio en las criptomonedas estables es lo que se requiere controlar para mantener su precio en el valor deseado (en nuestra investigación las criptomonedas estables en \$1.00).

- El precio de las criptomonedas, similarmente a un proceso de producción presenta una variación alrededor de la media, esta variación se puede medir utilizando la desviación estándar de un proceso la cual se muestra en la gráfica de una distribución normal³⁷ mostrada a continuación:

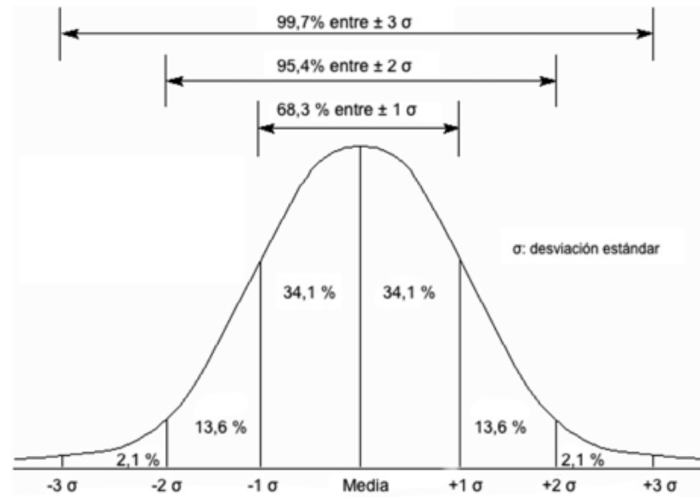


Figura 26: Distribución normal y sus porcentajes respecto de la desviación estándar
Fuente: tomado de “Estadística descriptiva e inferencial”, de Romero et al., 2013.

- El concepto teórico que queremos aplicar en nuestra propuesta de control de precios, se muestra teóricamente en la figura 26 con una visualización gráfica de una distribución normal de datos (precios) y como dentro del área de esta curva se espera encontrar la mayoría de los datos de precios, para luego implementar límites de control con el fin de asegurarse de que el proceso esté controlado dentro de los valores de $\pm 3\sigma$ (donde σ es la desviación estándar).
- En esta investigación se aplica para el monitoreo de los precios de una criptomoneda utilizando los valores de precios, su valor de referencia en \$1.00, el valor medio, desviación estándar, mínimos y máximos, así como el cálculo de los límites de control (o en este caso los valores que se deseen ponerse y que estén dentro de la curva de distribución normal).

³⁷ Estadística descriptiva e inferencial. Capítulo 22. Pedro Romero Aroca et al. Enero 2013.

- La desviación estándar para la población es la distancia entre la media y el punto de inflexión en una curva normal, la cual es conocida por el símbolo Sigma (σ) y se puede estimar la desviación estándar (S) de una muestra por la siguiente ecuación:

$$\sigma \simeq S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

- La media es el valor medio de los datos dividido entre la cantidad de datos, con la siguiente ecuación se obtiene la media:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2)$$

donde:

σ es la desviación estándar poblacional.

S es la desviación estándar de la muestra.

N es el tamaño de la muestra.

$\bar{x}$ es la media de la muestra.

x_i son los valores individuales de la muestra.

- En la figura 27 se muestra una curva de distribución normal y la representación de los datos dentro de la gráfica con límites de control, por ejemplo: el precio de las criptomonedas en un periodo de 24 horas, se espera que estén dentro del área dentro la curva en $\pm 3\sigma$, lo que equivale a que el 99.7 % de las veces, los precios estarán dentro de esta curva.

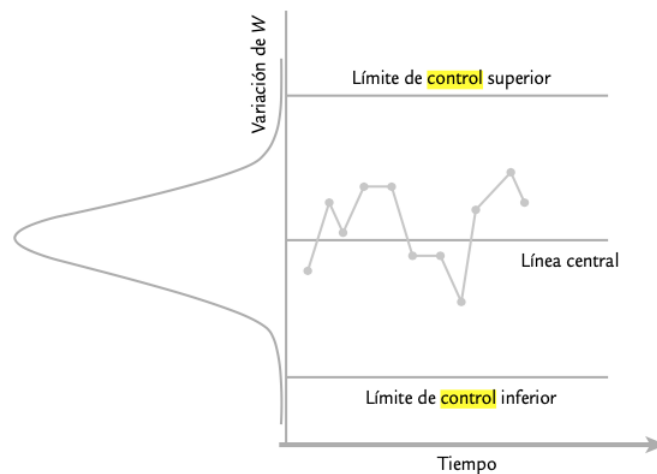


Figura 27: Curva de distribución normal y elementos de una gráfica de control SPC
Fuente: Tomado de “Control estadístico de calidad y seis sigma” [9]

- Los valores de los puntos mínimos y máximos se obtienen con:

$$\text{Mínimo} = \min(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3)$$

$$\text{Máximo} = \max(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (4)$$

- Los limites de control superior e inferior se calculan mediante:

$$LCS = \bar{x} + (k)\sigma \quad (5)$$

$$LCI = \bar{x} - (k)\sigma \quad (6)$$

Donde: $\bar{x}$ es la media de la muestra y N es el tamaño de la muestra.

x_i son los valores de la muestra.

$\min$ es el mínimo de la muestra y $\max$ es el máximo de la muestra

k es el factor de ajuste para el número de desviaciones estándar y σ es su desviación estándar.

- Utilizando los datos reales³⁸ de las criptomonedas, el Cuadro 1 muestra los valores resultantes del valor medio (media), la desviación estándar, mínimos y máximos de la muestra, así como la detección de puntos fuera de los límites de control ó OOC (Out of Control sus siglas en ingles), se puede observar que el sistema de monitoreo ha detectado 9 puntos fuera de los límites de control en la criptomoneda Binance-USD, estos límites de control son definidos para todas las criptomonedas monitoreadas con un valor de \$1.00 +/- 0.5 %

Medición	tether	usd-coin	binance-usd	dai
Desviación estándar	0.0008	0.0010	0.0019	0.0009
Media	0.9999	1.0000	1.0022	0.9995
Máximo	1.0027	1.0025	1.0102	1.0018
Mínimo	0.9972	0.9959	0.9956	0.9963
Límite Control Superior (LCS)	1.0050	1.0050	1.0050	1.0050
Límite Control Inferior (LCI)	0.9950	0.9950	0.9950	0.9950
Cantidad de puntos fuera de control	0	0	9	0

Cuadro 1: Análisis estadístico (SPC) de comportamiento criptomonedas en 24 horas

Fuente: Cálculos propios utilizando datos Anexo A.

³⁸ver datos en Anexo A, con precios de Tether, USD-Coin, Binance-USD, DAI de últimas 24 horas del 26-Feb-24

8.5.3. Generación de la gráfica de control SPC en criptomonedas estables

- La siguiente gráfica de control SPC Figura 28, muestra visualmente el comportamiento de los precios de las criptomonedas estables en el periodo de 24 horas con intervalos de 10 minutos³⁹, se pueden apreciar en la gráfica los 9 puntos fuera de control de la criptomoneda Binance-USD señalados en el Cuadro 1 y el momento en que se detectaron (fecha y hora).

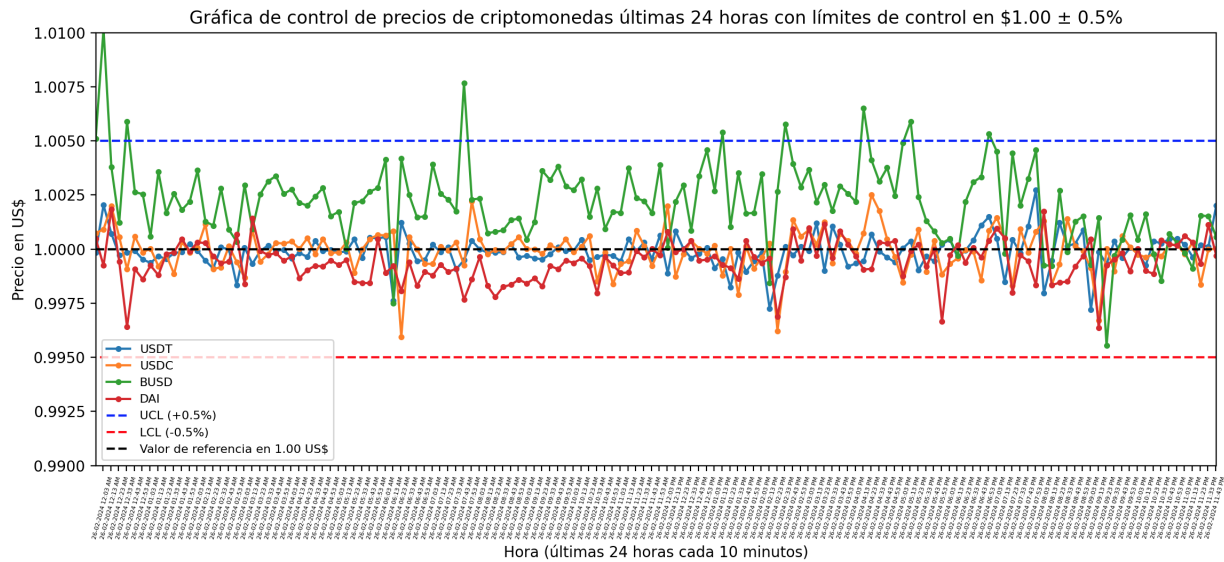


Figura 28: Comportamiento de las últimas 24 horas de las criptomonedas

Fuente: Datos extraídos de coingecko.com, ver Anexo A.

8.5.4. Pseudocódigo para importar datos de criptomonedas en tiempo real

- El código diseñado se utiliza para importar datos de las criptomonedas en un periodo de 24 horas y guardarlo en un archivo para su respectivo uso y análisis estadístico.
- A continuación se muestra el pseudocódigo el cual permite extraer los datos de las 4 criptomonedas Tether, Binance-USD, USD-Coin y DAI en tiempo real. Este script se hace con fines didácticos, normalmente se hace de forma automática, los datos importados se muestran en las tablas del Anexo A.

³⁹Limitaciones de la API gratuita, el periodo mínimo que puede utilizarse es de 10 minutos para extraer los datos.

Algorithm 2 Extracción de datos reales de criptomonedas para análisis estadístico en archivo de excel

Require:

```
criptomonedas: Lista de criptomonedas estables
intervalo: Intervalo de tiempo (definir aquí, por ejemplo, '24h')
function OBTENER_DATOS_CRIPTOMONEDA(criptomoneda, intervalo)
    url ← "https://api.coingecko.com/api/v3/coins/markets"
    parametros ← {'vs_currency' : 'usd', 'ids' : criptomoneda, 'sparkline' : 'true', 'price_change_percentage' :
intervalo}
    respuesta ← requests.get(url, params = parametros)
    if respuesta.status_code == 200 then
        datos ← respuesta.json()
        return datos[0]
    else
        return Nulo
    end if
end function
datos_criptomonedas ← {}
for criptomoneda en criptomonedas do
    datos_criptomoneda ← OBTENER_DATOS_CRIPTOMONEDA(criptomoneda, intervalo)
    if datos_criptomoneda no es Nulo then
        datos_criptomonedas[criptomoneda] ← datos_criptomoneda['sparkline_in_7d']['price'][-144:] #ultimas
24 hr
    end if
end for
hora_actual ← DATETIME.NOW
fechas_horas ← [hora_actual - timedelta(minutes = i * 10) para i en range(144)] #ultimas 24 hr
fechas ← [fecha_hora.strftime('%Y - %m - %d') para fecha_hora en fechas_horas]
horas ← [fecha_hora.strftime('%H : %M : %S') para fecha_hora en fechas_horas]
df ← PD.DATFRAME({'Dia' : fechas, 'Hora' : horas})
for criptomoneda, precios en datos_criptomonedas.items() do
    df[criptomoneda] ← precios
end for
df.sort_values(by = 'Dia', inplace = True)
ruta_destino ← '/Users/remorera/Desktop/datos_precios_cripto_24hr.xlsx'
df.to_excel(ruta_destino, index = False)
Imprimir "Datos exportados correctamente a 'ruta_destino'."
```

8.6. Simulación de control con SPC para criptomonedas estables

8.6.1. Modelo Actual de control

- Al analizar la información disponible sobre las criptomonedas estables, nos encontramos con la falta de transparencia en la documentación sobre sus modelos de control, debido a este obstáculo, asumimos que estas criptomonedas basadas en blockchain, utilizan un algoritmo de consenso en su lógica interna de diseño y que tienen alguna lógica de control del precio la cual no es publica, por lo que en la figura 29 se muestra un diagrama de bloques para representar su sistema de control interno utilizando el término “caja negra”⁴⁰ para referirnos a la lógica, composición y estructura interna de la criptomoneda.

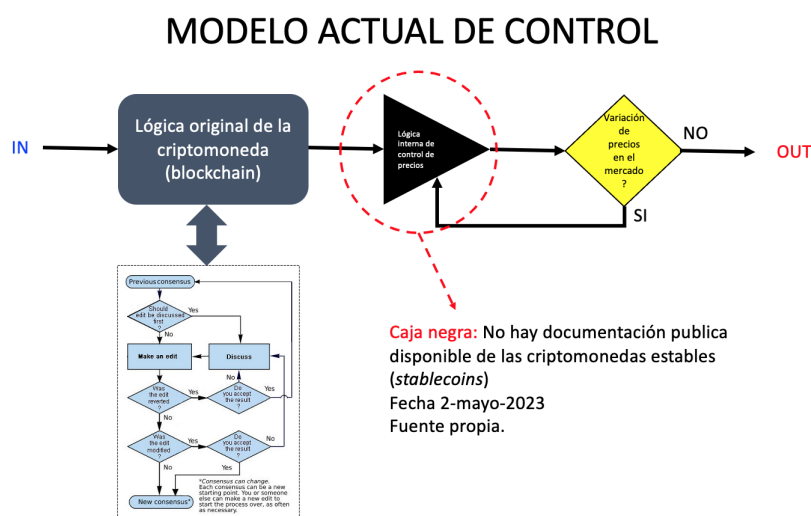


Figura 29: Modelo de control actual de una criptomoneda estable
Fuente: Elaboración propia

8.6.2. Pseudocódigo para importar los datos y generar gráfica de control SPC

A continuación se muestra un pseudocódigo el cual permite importar los datos de las criptomonedas Tether, Binance-USD, USD-Coin y DAI en tiempo real en un periodo de 24 horas para generar la gráfica de control estadístico como la mostrada en la figura 28.

- En la siguiente figura 30, se muestra la información graficada de la criptomoneda Tether,

⁴⁰El término caja negra se utiliza en ingeniería electrónica para representar un sistema el cual tiene entradas y salidas pero que no se tiene información de su composición interna, no se sabe cual es su funcionamiento interno, solo se toman las entradas y salidas para su análisis.

Algorithm 3 Generación de gráfico de control estadístico (SPC) en criptomonedas con datos reales

Importar módulos:

- requests
- matplotlib.pyplot as plt
- datetime
- timedelta

function OBTENER_DATOS_CRIPTOMONEDA(criptomoneda, intervalo)url $\leftarrow$ "https://api.coingecko.com/api/v3/coins/markets"parametros $\leftarrow$ {

- 'vs_currency': 'usd',
- 'ids': criptomoneda,
- 'sparkline': 'true',
- 'price_change_percentage': intervalo

}

respuesta $\leftarrow$ requests.get(url, params=parametros)**if** respuesta.status_code = 200 **then**datos $\leftarrow$ respuesta.json()**return** datos[0]**else****return** None**end if****end function**Criptomonedas $\leftarrow$ ['tether', 'usd-coin', 'binance-usd', 'dai']intervalo $\leftarrow$ '24h'fig, ax $\leftarrow$ plt.subplots(tamaño=(10, 5))**for** cada criptomoneda en Criptomonedas **do**datos_criptomoneda $\leftarrow$ OBTENER_DATOS_CRIPTOMONEDA(criptomoneda, intervalo)**if** datos_criptomoneda existe **then**etiqueta $\leftarrow$ datos_criptomoneda['symbol'].upper()precios_cambio $\leftarrow$ datos_criptomoneda['sparkline_in_7d']['price'][-144:]hora_actual $\leftarrow$ datetime.now()marcas_tiempo $\leftarrow$ [hora_actual - timedelta(minutos=i*10) para i en Rango(144)]

ax.plot(marcas_tiempo, precios_cambio, marcador='.', etiqueta=etiqueta)

end if**end for**num_puntos $\leftarrow$ 144ucl $\leftarrow$ [1.005] * num_puntoslcl $\leftarrow$ [0.995] * num_puntos

ax.plot(marcas_tiempo, ucl, 'b-', etiqueta='UCL (+0.5 %)')

ax.plot(marcas_tiempo, lcl, 'r-', etiqueta='LCL (-0.5 %)')

ax.axhline(y=1, color='black', estilo_línea='-', etiqueta='Valor de referencia en 1.00 US\$')

valor_y_min $\leftarrow$ 0.99valor_y_max $\leftarrow$ 1.01

ax.set_ylim(valor_y_min, valor_y_max)

ax.legend(propiedad='tamaño': 8)

plt.xticks(tamaño_fuente=4)

ax.set_xlim(marcas_tiempo[-1], marcas_tiempo[0])

ax.xaxis.set_major_locator(plt.matplotlib.dates.MinuteLocator(intervalo=10))

ax.xaxis.set_major_formatter(plt.matplotlib.dates.DateFormatter('%d- %m- %Y %I: %M %p'))

ax.set_xlabel('Hora (últimas 24 horas cada 10 minutos)')

ax.set_ylabel('Precio en US\$')

ax.set_title('Gráfica de control de precios de criptomonedas últimas 24 horas con límites de control en \$1.00 $\pm$ 0.5 %')

ax.tick_params(eje='x', rotación=75)

plt.tight_layout()

plt.show()

puede apreciarse su variabilidad respecto a la media de (\$1.00), la cual no presenta límites de control definidos (SPC). El comportamiento de su precio en el mercado está variando en función del tiempo (oferta y demanda) sin evidencia de algún tipo de control para estabilizarla.

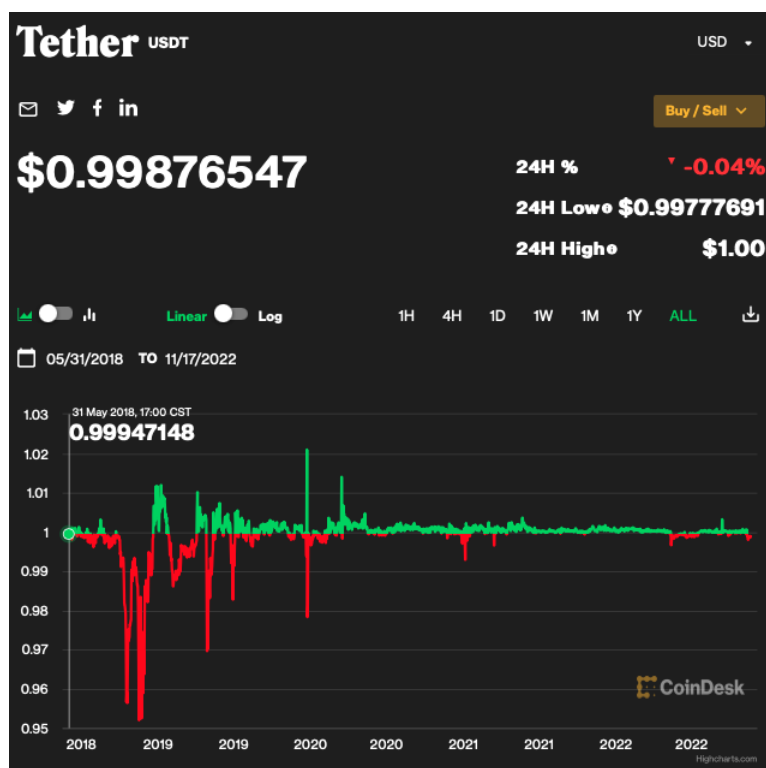


Figura 30: Variabilidad de precios de criptomoneda estable Tether.
Fuente: datos extraídos desde plataforma exchange “coindesk.com”.

8.6.3. Modelo propuesto de control con SPC para Criptomonedas

- Nuestra propuesta consiste en implementar un sistema de control de precios utilizando herramientas de control SPC para monitorear en tiempo real⁴¹ y brindar retroalimentación al equipo administrador para detectar y visualizar puntos fuera de control (OOC del inglés Out of Control) o tendencias no deseadas en el comportamiento del precio de las criptomonedas, que sirva para alertar a la administración de que algo está sucediendo y tomar las acciones correspondientes para poner en control el precio de la criptomoneda. En la figura 31 se muestra a nivel de bloques para ayudar mejor con su comprensión.

⁴¹Depende de la limitante de la API, si es gratuita frecuencia permitida mínima es de 10 min

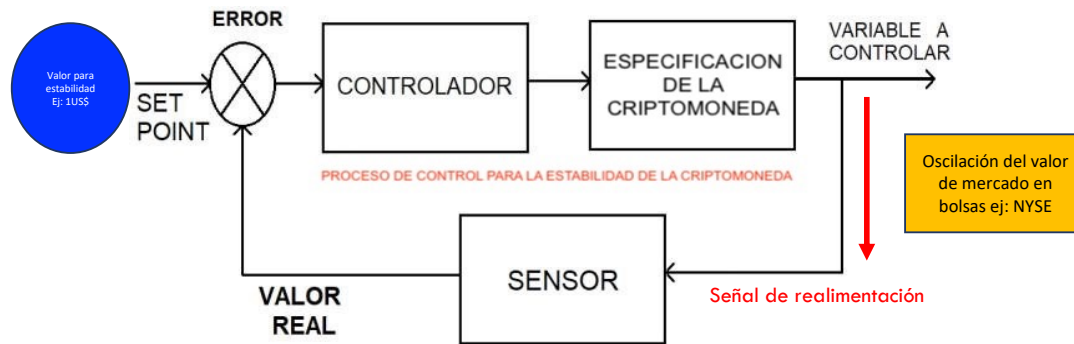


Figura 31: Bloques del modelo de control propuesto
Fuente: Elaboración propia

- El sistema propuesto para el control de estabilidad es similar o análogo a un *filtro paso banda* utilizado en la electrónica, representado aquí en el diagrama lógico mostrado en la figura 32, el cual es un tipo de filtro de señales que deja pasar solamente un determinado rango de frecuencias de una señal y filtra el paso del resto de otras señales no deseadas, en nuestro caso se utilizará para mostrar las señales dentro de los límites de control que se requieren para mantener el precio estable en $\$1.00 \pm 5\%$.
- La curva teórica de una distribución normal y la respuesta esperada del sistema propuesto son muy similares como se muestra en la siguiente figura con $P_R \pm 5\%$.

Diagrama lógico de la propuesta

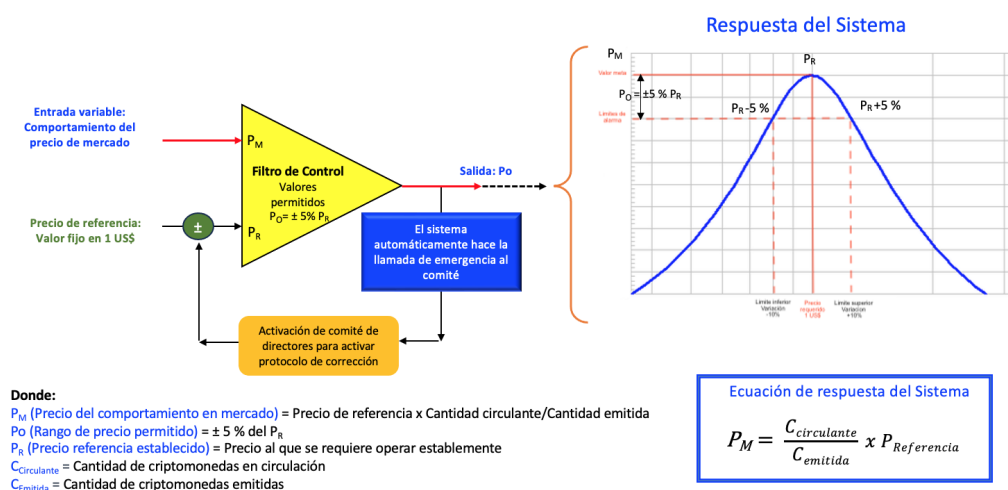


Figura 32: Modelo de control propuesto
Fuente: Elaboración propia

8.6.4. Simulación de gráficas de control SPC

- Se diseña una simulación que permite obtener una gráfica de control⁴², en la cual se puede visualizar una variación de precios de una criptomoneda en el mercado en tiempo real. La figura 33 muestra las gráficas simuladas sin intervención (a) y con intervención humana (b).

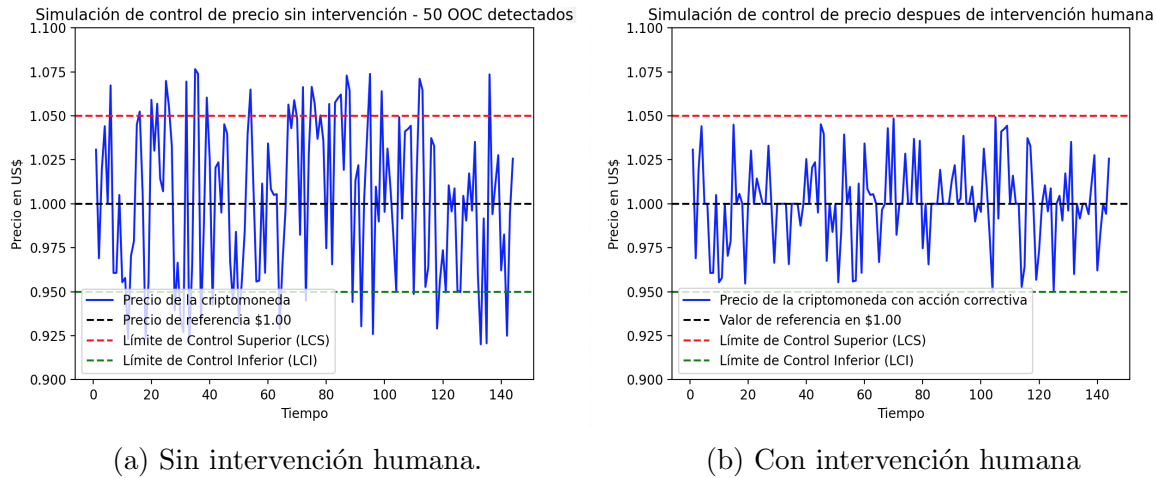


Figura 33: Gráficas simuladas de control de precios SPC

Fuente: Elaboración propia

- En la figura 34 se muestra la gráfica de control simulada de forma continua en el tiempo luego de aplicar la acción correctiva con intervención humana por parte del Comité Director, notese como se mantiene el precio de la criptomoneda dentro de los limites de control.

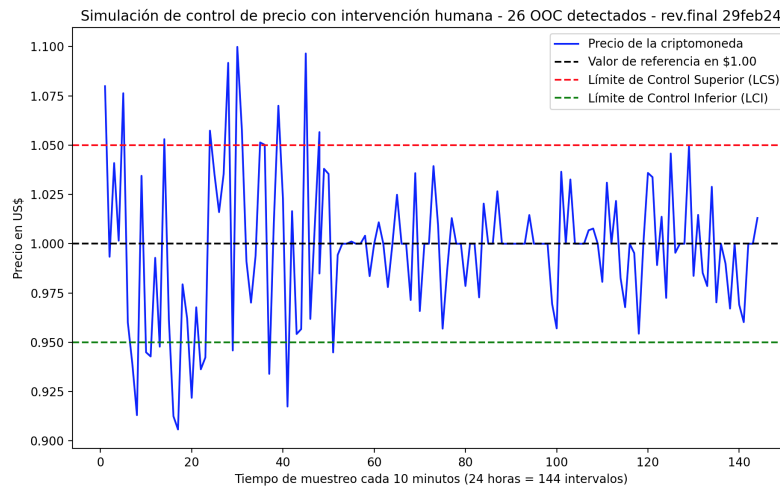


Figura 34: Gráfica de control SPC con acción correctiva del Comité Director

Fuente: Elaboración propia

⁴²Ver scripts de simulación en Anexos D.1 y D.2

8.6.5. Pseudocódigo para simulación de control de precios con opción de pánico externo

- El script de simulación contiene los siguientes requerimientos:
 1. El sistema pregunta al usuario o administrador del control de la criptomoneda: ¿Tiene la aprobación del Comité Director para ejecutar la acción correctiva?
 2. En caso de que la respuesta sea “sí”, se ejecutará una acción correctiva⁴³ que previamente determinó el Comité Director después de analizar las variables que causaron la inestabilidad y encontrar la causa principal que generó la inestabilidad.
 3. En la gráfica de la figura 33(a) sin intervención humana se muestran los puntos fuera de control que generaron la alerta (puntos OOC) y en la gráfica de la figura 33(b) se muestra el efecto luego de la acción correctiva.
 4. Una vez autorizada la acción correctiva, se genera el nuevo gráfico de control como el que se muestra en la figura 34, la estabilidad comienza a verse a partir del bloque 48 equivalente a 8 horas en intervalos de 10 minutos.
 5. Es importante mencionar que asumimos que ese intervalo de 8 horas es el tiempo en el cual el Comité Director necesitaría para reunirse, analizar las variables, definir la acción correctiva, validarla e implementarla para lograr llevar el precio a la estabilidad dentro de los límites de control establecidos en \$1.00 +/- 5 %.
 6. Se puede apreciar en esta gráfica que la variabilidad de los puntos alrededor de la media de \$1.00 no sobrepasan los límites de control del precio de la criptomoneda a partir de ese momento, por lo tanto a partir de que se implementó la acción correctiva por parte del Comité Director, los valores del precio de la criptomoneda están dentro de los límites de control.

⁴³Esta acción correctiva es simulada, disminuyendo la variabilidad a números por debajo de los límites de control para simular que la acción fue efectiva

Algorithm 4 Simulación de control de precios de criptomoneda con opción de pánico externo

```
Parametros:
precio_referencia = 1,00
UCL = 1,05  (Límite Superior de Control)
LCL = 0,95  (Límite Inferior de Control)
MARGIN = 0,05  (Margen del 5 % para la acción correctiva)
respuesta_tendencia ← input("¿Quiere modelar sistema con tendencia anormal (pánico ext.)? (si/no): ")
tendencia_anormal ← respuesta_tendencia.lower() == 'si'
puntos_OOC ← int(input("¿Cuántos puntos seguidos desea detectar para generar la alarma? "))
respuesta ← input("¿Desea graficar la simulación? (si/no): ")
generar_grafico ← respuesta.lower() == 'si'
autorizacion ← None
alarma ← 0
OOC_total ← 0
tiempo_transcurrido ← 48
while tiempo_transcurrido ≤  $\frac{24 \times 60}{10}$  do
    variacion ← generar_variacion(tendencia_anormal)
    precio_actual ← precio_referencia + variacion
    if precio_actual > UCL or precio_actual < LCL then
        if autorización is None then
            Imprimir: "Alerta: tendencia anormal detectada puntos OOC."
            autorización ← input("¿Tiene autorización del comité director acción correctiva? (si/no): ")
            if autorización.lower() != 'si' then
                Imprimir: "Esperando autorización del comité director."
                while autorizacion.lower() != 'si' do
                    if input("Presione 'q' para continuar o ingrese 'si' para autorizar: ").lower() == 'q' then
                        break
                    end if
                end while
            end if
        else
            if precio_actual > UCL then
                precio_actual ← UCL - MARGIN
            else if precio_actual < LCL then
                precio_actual ← LCL + MARGIN
            end if
        end if
    end if
    if generar_grafico then
        analizar_precio(precio_actual)
    end if
    tiempo_transcurrido ← tiempo_transcurrido + 1
    if precio_actual > UCL or precio_actual < LCL then
        alarma ← alarma + 1
        OOC_total ← OOC_total + 1
        if alarma ≥ puntos_OOC then
            Imprimir: "Alerta: tendencia anormal detectada"
            autorización ← input("¿Tiene autorización del comité director? (si/no): ")
        end if
    end if
end while
```

8.7. Experimentos propuestos

8.7.1. Experimento #1:

“Análisis comparativo de requerimientos y diseño computacional”

Planteamiento del Problema:

¿Cómo se comparan los requerimientos y el diseño computacional de una nueva criptomoneda estable y distribuida con participación humana con las criptomonedas estables existentes (Tether, USD-Coin, Binance-USD y DAI)?

Objetivo:

Identificar y comparar los requerimientos técnicos y de diseño entre las criptomonedas estables existentes y una propuesta teórica de una criptomoneda estable y distribuida con participación humana para su gobernabilidad.

● **Metodología:**

1. Recolección de Datos:

- a) Investigar la documentación técnica disponible sobre Tether, Binance-USD, USD-Coin y DAI para recopilar información sobre sus requerimientos y diseño computacional.
- b) Tratar de entrevistar a desarrolladores y expertos en blockchain de criptomonedas estables reconocidas para obtener un mayor conocimiento e información adicional sobre los diseños actuales y posibles mejoras.

2. Análisis Comparativo:

- a) Incluir algoritmos de consenso utilizados, mecanismos de estabilidad (respaldos, colaterales), distribución y descentralización, seguridad, privacidad, escalabilidad y eficiencia.
- b) Identificar fortalezas y debilidades de cada criptomoneda en relación con los aspectos mencionados anteriormente.

3. Propuesta de Diseño:

- a) Basado en el análisis comparativo, delinear los requerimientos y diseño computacional para una criptomoneda estable y distribuida con participación humana.

- b) Describir cómo la nueva criptomoneda estable propuesta abordaría las debilidades identificadas en las criptomonedas actuales.

4. Resultados Esperados:

- a) Redactar un informe detallado que muestre las diferencias y similitudes en los requerimientos y diseños computacionales.
- b) Realizar una propuesta de diseño de una criptomoneda estable que podría superar las limitaciones actuales.

8.7.2. Experimento #2:

“Evaluar la utilidad de las criptomonedas estables como moneda de intercambio”

Planteamiento del Problema:

¿Han sido útiles las criptomonedas estables actuales (Tether, Binance-USD, USD-Coin y DAI) para su uso como moneda de intercambio?

Objetivo:

Validar la utilidad de las criptomonedas estables existentes como medios de intercambio comparándolas con la propuesta de una nueva criptomoneda estable y distribuida.

● **Metodología:**

1. **Recolección de Datos:**

- a) Recopilar datos de transacciones, volumen de uso, aceptación en comercios y plataformas de intercambio para Tether, Binance-USD, USD-Coin y DAI.
- b) Elaborar encuestas dirigidas a los usuarios y comerciantes que utilizan estas criptomonedas para obtener opiniones sobre su utilidad y experiencia de uso.

2. **Criterios de evaluación:**

- a) Estabilidad del precio.
- b) Facilidad de uso y aceptación por parte de usuarios y comerciantes.
- c) Costos de transacción y tiempos de procesamiento.
- d) Seguridad y protección contra fraudes.

3. Simulación:

- a) Desarrollar un modelo de simulación para evaluar la propuesta de la nueva criptomoneda estable en un entorno controlado.
- b) Comparar los resultados de la simulación con los datos reales de las criptomonedas actuales.

4. Análisis crítico:

- a) Elaborar una crítica basada en los datos recopilados y los resultados de la simulación, muy importante el enfocarse en la utilidad real como moneda de intercambio .
- b) Proponer mejoras o modificaciones necesarias en el diseño de la nueva criptomoneda estable basada en los hallazgos.

5. Resultados Esperados:

- a) Elaborar un informe crítico que evalúe la efectividad de las criptomonedas estables actuales como medios de intercambio similar a la operación de las monedas fiduciarias.
- b) Datos empíricos y resultados de simulación para validar la propuesta de una nueva criptomoneda estable y distribuida.

8.7.3. Pseudocódigo para simulación de una nueva criptomoneda estable Patacoin

- El script de simulación contiene los siguientes requerimientos para el comportamiento de una criptomoneda estable ficticia llamada PataCoin (PCCR).
 1. Se generan números aleatorios para un periodo de 365 días.
 2. Se modela la fluctuación del precio con una variación permitida de $\pm 0.3\%$ del valor de referencia de \$1.00 y se extraen datos reales de algunas criptomonedas estables para compararlas.
 3. Se define una clase llamada PataCoin para modelar la criptomoneda estable. Esta clase tiene métodos para emisión (mint) o quemar (burn) tokens, así como para simular el mercado.
 4. Se simulación el mercado para 365 días, durante cada día, el precio de la PataCoin fluctúa aleatoriamente dentro de un rango específico, y se emiten o queman tokens dependiendo de si el precio sube o baja.
 5. Se extraen datos reales⁴⁴ de las criptomonedas estable Tether, Binance-USD, USD-Coin y Dai, utilizando la API de CoinGecko.
 6. Se generan varios gráficos para visualizar los resultados de la simulación y compararlos con los datos reales obtenidos de las criptomonedas estables.
 7. Se visualizan y contabilizan los puntos fuera de control (OOC), que son aquellos número de puntos fuera de los límites de control tanto para la simulación de PataCoin como para los datos reales de las criptomonedas estables.
 8. Se grafican utilizando Matplotlib.
- A continuación se muestra el pseudo código abreviado debido a su tamaño, puede apreciarse el script completo en el Anexo #7

⁴⁴estos datos se utilizan para comparar con la simulación de PataCoin.

Algorithm 5 Simulación y comparación de PataCoin con stablecoins reales

Nota: Pseudo Código abreviado $\leftarrow$ [Ver código completo en Anexo #7](#)

Importar las bibliotecas necesarias ...

Definir la clase PataCoin

class PataCoin:

def __init__(self, initial_supply, initial_collateral, collateral_ratio):

 self.oferta $\leftarrow$ initial_supply ...

def mint(self, amount):

 required_collateral $\leftarrow$ amount * self.ratio_colateral ...

def burn(self, amount):

 self.oferta $\leftarrow$ self.oferta - amount ...

def simulate_market(self, days, daily_demand_fluctuation):

 prices $\leftarrow$ [] ...

Inicializar la simulación

initial_supply $\leftarrow$ 1000000

initial_collateral $\leftarrow$ 2000000

collateral_ratio $\leftarrow$ 2

pccr $\leftarrow$ PataCoin(initial_supply, initial_collateral, collateral_ratio)

Definir límites de control y valor de referencia

control_limits $\leftarrow$ \$1.00 $\pm$ 0.5 % ...

Simular el mercado durante 365 días -fluctuación diaria demanda de $\pm$ 0.3 %

simulated_prices, oferta, fondoreserva, ooc_count $\leftarrow$ pccr.simulate_market(365, 0.003) ...

Obtener datos reales usando la API de CoinGecko

cg $\leftarrow$ CoinGeckoAPI() ...

def get_historical_data(coin_id, vs_currency, days)

 url $\leftarrow$ f"https://api.coingecko.com/api/v3/coins/{coin_id}/market_chart" ...

Definir las criptomonedas estables a comparar

stablecoins $\leftarrow$ {'tether': 'Tether (USDT)', 'binance-usd': 'Binance-USD (BUSD)', 'usd-coin': 'USD-Coin (USDC)', 'dai': 'Dai (DAI)'}

vs_currency $\leftarrow$ 'usd' ...

Obtener datos históricos

stablecoin_prices $\leftarrow$ {}...

Calcular puntos fuera de control para los datos reales

ooc_count_real $\leftarrow$ 0 ...

Crear gráficos con subplots para datos reales: comparar PataCoin y criptomonedas reales ...

Crear gráficos con datos simulados del Patacoin con 3 subplots

fig.suptitle('Gráfico 1: Simulación de Patacoin', fontsize=12)

Gráfico de precios, Oferta y Fondo de Reserva

...

plt.show(block=True)

9. Propuesta de gobernabilidad en criptomonedas estables

9.1. Modelo de control utilizando el control estadístico (SPC)

- Debido a que el control estadístico de procesos (SPC) es muy amplio y abarca diferentes parámetros para controlar la calidad de un producto o servicio; se hace necesario delimitar cuales de sus herramientas serán consideradas para su uso e implementación en el modelo de control de precios propuesto, a continuación se detallan:
 1. Implementación de gráficos de control para monitorear el precio de mercado en tiempo real.
 2. Los limites de control superior e inferior son definidos por el usuario basado en un porcentaje del precio de referencia de $\pm 5\%$ de \$1.00, simulando la especificación por parte del dueño o desarrollador de la criptomoneda, estos limites serán fijos puesto que no se permite que el precio caiga o sobrepase los valores mínimos o máximos especificados en el diseño.
 3. El valor central en la gráfica de control, al ser una criptomoneda apegada a \$1.00 americano, su media $\bar{X}$ y/o promedio es fija en \$1.00, ello porque las herramientas de SPC podrían sugerir recalcular el proceso a otro valor⁴⁵, por lo que este requerimiento debe ser respetado.
 4. Se utilizan otras herramientas SPC, tales como el análisis de capacidad del proceso C_P y capacidad real del proceso C_{PK} , las cuales ayudan a entender si el proceso es capaz o no de mantener el valor centrado en \$1.00 dentro de los limites de control establecidos. Esto permite buscar soluciones que ayuden en la toma de decisiones sobre los cambios necesarios para estabilizar el precio dentro del valor deseado.
 5. Cuando exista una desviación de la media $\bar{X}$ de alguna criptomoneda, el control con SPC no deberá recalcular⁴⁶ los limites, pues lo que se requiere es que dicho promedio vuelva a centrarse en el valor de referencia de \$1.00 fijado originalmente.

⁴⁵Dependiendo de la variabilidad, podría darse el caso de recalcular la media por encima o debajo de \$1.00

⁴⁶Normalmente los limites de control SPC se recalculan en un proceso de producción

6. Cualquier acción correctiva que se vaya a implementar para corregir una desviación o puntos fuera de control, será tomada para que la criptomoneda estable lleve su valor al valor de referencia original de \$1.00 con una tolerancia máxima menor a los límites de control definidos, de tal forma que se apegue al valor especificado en su diseño.

9.2. La oferta y la demanda en el sistema de control propuesto

9.2.1. Vocabulario y definiciones utilizadas

Precio de Mercado: Es el precio que tiene la criptomoneda en el mercado en un determinado momento (P_M).

Precio de salida al Mercado (P_O): Es el precio que tiene la criptomoneda mercado en un determinado momento (P_O) luego de pasar por el filtro de control estadístico y mantener sus valores dentro los límites de control permitidos por el sistema propuesto.

Precio de Referencia: Es el valor de la moneda fiduciaria real (física) a la cual está apegada la criptomoneda estable, ejemplo: (P_R)= \$1.00 USD (valor fijo en la especificación).

Cantidad Emitida(*ofertada*): Es la cantidad de criptomonedas estables emitidas y lanzadas al mercado para venderse (la oferta es la $C_{Emitida}$ que esta disponible).

Cantidad Circulante(*demandada*): Es la cantidad de criptomonedas estables que están circulando en el mercado y que han sido compradas por los clientes (demanda equivale a la $C_{Circulante}$ que ha sido comprada o se quiere comprar).

Límites de Control: son los límites definidos por el comité director o administrador para mantener el precio dentro de un rango de variación aceptable respecto al precio de referencia de acuerdo con el comportamiento del mercado, dichos valores permitidos se definen como (P_O) = $\pm 5\% P_R$ (definidos en la especificación).

Límite de control superior (LCS): Es el límite del precio en la banda superior por encima del precio de referencia permitido para una variabilidad controlada (ej: LCS=\$1.05).

Límite de control inferior (LCI): Es el límite del precio en la banda inferior por debajo del precio de referencia permitido para una variabilidad controlada (ej:

LCI=\$0.95).

Punto fuera de control (OOC) *del ingles Out of Control*: Es aquel valor del precio en determinado momento en el cual el precio superó alguno de los limites de control, ya sea con valores por encima del LCS o por debajo del LCI.

Punto de equilibrio: Es aquel en donde el valor de la cantidad de producto emitido ú ofertado (por venderse) y la cantidad de producto circulante o demandada (por comprarse por parte de los consumidores) están en equilibrio.

- Como se explicó anteriormente el modelo de control propuesto incorpora el control SPC y también el factor humano debido a que la participación de personas es necesaria para el análisis de datos para identificar las potenciales causas de los puntos fuera de control detectados por el monitoreo SPC que no pueden ser interpretados de forma automática, por ejemplo: pánico en los mercados u otras variables externas.

Diagrama lógico de la propuesta

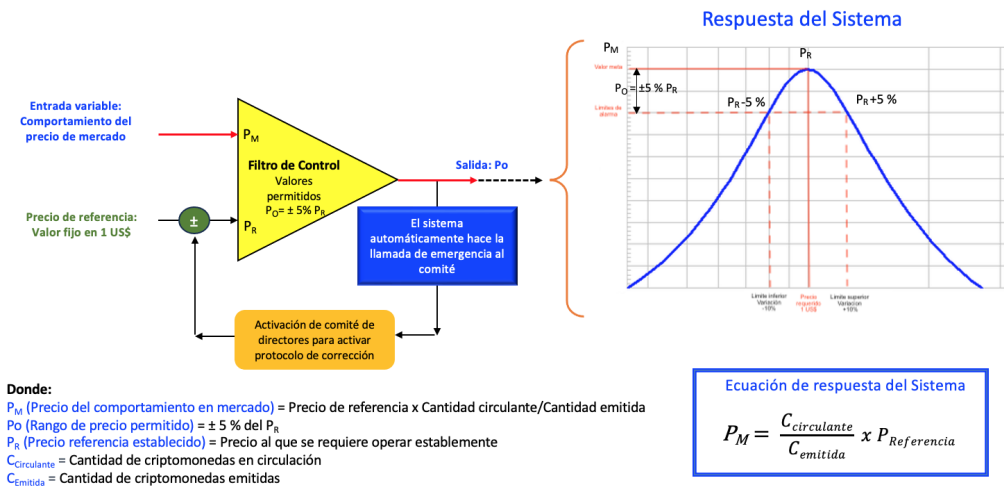


Figura 35: Modelo de control propuesto
Fuente: Elaboración propia.

- En la figura 35 se muestra el sistema de control y estabilización propuesto, el cual incluye los siguientes parámetros:
 1. **Entrada variable:** Comportamiento del precio de mercado.
 2. **Precio de referencia (P_R)**= \$1.00 USD (valor fijo en la especificación)
 3. **Salida P_O :** Precio de mercado (salida del sistema).

4. **Límites de Control con valores permitidos de $(P_O) = \pm 5\% P_R$** (definidos en la especificación)

5. **Un nodo de retroalimentación:** el cual tiene las siguientes funciones:

- a) Detectar puntos fuera de control y alertar automáticamente al comité director informando de la anormalidad, llama a reunión de emergencia al comité director.
- b) Se activa el comité director para iniciar el protocolo de corrección.
- c) El comité director se reúne para analizar datos y determinar la causa, luego brinda una respuesta para estabilizar el precio en su valor de referencia P_R original.
- d) La respuesta del sistema está programada para actuar si la variación $\geq \pm 5\%$ del P_R
- e) La ecuación de respuesta del sistema es la siguiente:

$$P_M = \frac{C_{circulante}}{C_{emitido}} * P_{Referencia} \quad (7)$$

Donde:

P_M (Precio del comportamiento en mercado) = Precio de referencia x Cantidad circulante/Cantidad emitida

P_O (Rango de precio permitido) = $\pm 5\%$ del P_R (valor de salida de la criptomoneda al público)

P_R (Precio referencia establecido) = Precio al que se requiere operar establemente

$C_{Circulante}$ = Cantidad de criptomonedas en circulación

$C_{Emitida}$ = Cantidad de criptomonedas emitidas

- En la figura 36 se representa la interacción entre la cantidad circulante (demandada), la cantidad emitida (ofertada) y el precio de referencia de \$1.00 con el precio de mercado.

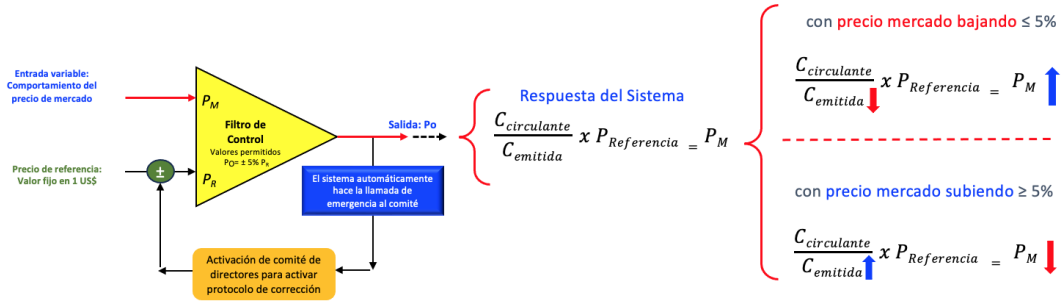


Figura 36: Modelo actual de control efecto de oferta y demanda.
Fuente: Elaboración propia.

9.2.2. Prueba de concepto propuesto con oferta y demanda

Prueba del concepto $\rightarrow$ Precio Subiendo

$$P_M = \$1.15 \text{ (precio de mercado por encima de \$1.00)}$$

$$P_R = \$1.00 \text{ (precio de referencia centrado en \$1.00)}$$

$$C_{Circulante} = 3,000,000 \text{ (cantidad en circulación)}$$

$$C_{Emitida} = 3,000,000 \text{ (cantidad emitida)}$$

De la ecuación de respuesta del sistema (7), despejamos para encontrar cual debe ser la cantidad circulante para estabilizar el sistema:

$$C_{circulante} = P_M * \frac{C_{emitido}}{P_{Referencia}} \quad (8)$$

$$C_{circulante} = 1,15 * \frac{3,000,000}{1,00} = 3,450,000 \quad (9)$$

$$3,450,000 C_{circulante} - 3,000,000 C_{emitido} = 450,000 \quad (10)$$

La cantidad de circulante que se ocupa $= 3,450,000 \rightarrow$ hay que emitir 450,000 unidades.

Prueba del concepto $\rightarrow$ Precio Bajando

$$P_M = \$0.85 \text{ (precio de mercado por debajo de \$1.00)}$$

$$P_R = \$1.00 \text{ (precio de referencia centrado en \$1.00)}$$

$$C_{Circulante} = 3,000,000 \text{ (cantidad en circulación)}$$

$$C_{Emitida} = 3,000,000 \text{ (cantidad emitida)}$$

Aplicamos la ecuación para determinar la cantidad circulante (8) para estabilizar el sistema:

$$C_{circulante} = 0,85 * \frac{3,000,000}{1,00} = 2,550,000 \quad (11)$$

$$2,550,000C_{circulante} - 3,000,000C_{emitido} = -450,000 \quad (12)$$

La cantidad de circulante que se ocupa = 2,550,000 ← hay que retirar 450,000 unidades en exceso para que el precio se equilibre.

9.2.3. Determinación de la Capacidad del Proceso en las criptomonedas

- La capacidad del proceso es uno de los factores más importantes en control estadístico de procesos (SPC), por ello, es necesario el análisis de datos para analizar las variaciones en el proceso que conduzcan luego a tomar las acciones correctivas antes de que se produzcan puntos fuera de control de acuerdo con las especificaciones.
- En el control estadístico de procesos se utilizan dos índices para calcular la capacidad de un proceso [38], estos son el C_P y el C_{PK} , los cuales son dos medidas relacionadas con la capacidad del proceso, pero se diferencian en la forma de cómo consideran la posición de la media $\bar{X}$ del proceso en relación con los límites de control especificados (LCS y LCI).

1. **El índice de capacidad del proceso conocido como C_P :** es una medida estadística relacionada con el rendimiento real de un proceso, esta evalúa la capacidad de un proceso para producir productos dentro de los límites de la especificación y es utilizada en la industria para cuantificar la variabilidad del proceso.

El requerimiento mínimo es que las muestras estén dentro de los límites de control contenidos en ± 3 desviaciones estándar en un proceso centrado normal con 3σ a cada lado de la media o promedio ($\bar{X}$), en total el producto está dentro de $\pm 3\sigma$, lo que significa que el 99.7% de las muestras va a estar dentro del margen de tolerancia en 6σ como la figura 37.

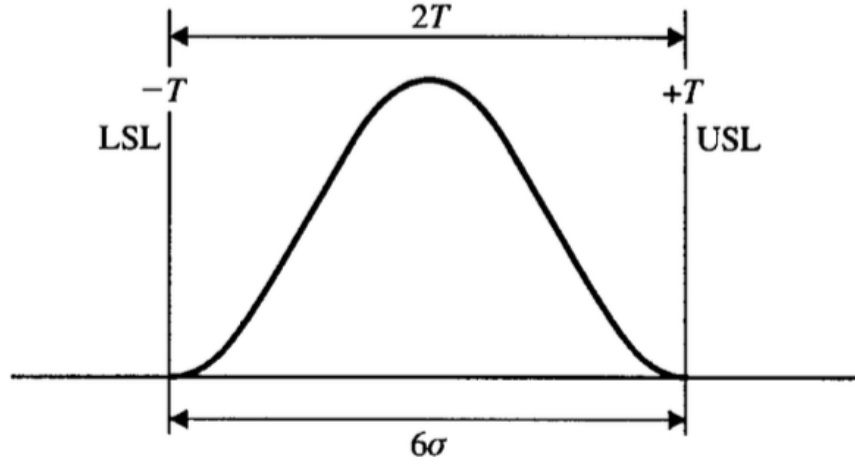


Figura 37: Curva de Capacidad del Proceso Normal
Fuente: Statistical Process Control. Pag. 260 [38].

2. Para asegurarnos de que el proceso o producto esté dentro de la especificación, la diferencia entre los valores máximos y mínimos debe ser menor que el total de la variación del proceso.

Así, un valor de $C_p < 1$ significa que la variación del proceso es mayor que la especificada en los límites de tolerancia y el proceso se denomina como “incapaz o no capaz”.

En el caso opuesto, si el valor del $C_p > 1$ el proceso se denomina como “capaz”, por lo que entre mayor sea el valor del C_p se dice que es más capaz.

3. Determinamos a continuación el C_p de nuestras criptomonedas estables Tether, USD-coin, Binance-USD y DAI, utilizando una muestra de 144 intervalos de tiempo de 10 minutos cada una (equivalente a 24 horas), mediante la siguiente ecuación:

$$C_p = \frac{LCS - LCI}{6\sigma} = \frac{2T}{6\sigma} \quad (13)$$

Donde:

$N = 144$ (tamaño de la muestra en 24 horas)

σ = desviación estándar de cada criptomoneda (figura 22)

$\sigma_{Tether} = 0.0008$

$\sigma_{USD-coin} = 0.00010$

$$\sigma_{Binance-USD} = 0.0019$$

$$\sigma_{DAI} = 0.0009$$

$$LCS = 1.005 \text{ (límite de control superior)}$$

$$LCI = 0.995 \text{ (límite de control inferior)}$$

En el siguiente cuadro se muestran los resultados obtenidos de calcular el C_p de cada criptomoneda con los datos reales⁴⁷ y gráfico obtenido en la figura 28.

Medición	tether	usd-coin	binance-usd	dai
Desviación estándar	0.0008	0.0010	0.0019	0.0009
Media	0.9999	1.0000	1.0022	0.9995
Máximo	1.0027	1.0025	1.0102	1.0018
Mínimo	0.9972	0.9959	0.9956	0.9963
Límite Control Superior (LCS)	1.0050	1.0050	1.0050	1.0050
Límite Control Inferior (LCI)	0.9950	0.9950	0.9950	0.9950
Cantidad de puntos fuera de control	0	0	9	0
Capacidad del proceso (C_p)	2.1966	1.7329	0.8918	1.7846

Cuadro 2: C_p de las criptomonedas Tether, USD-coin, Binance-USD, DAI.

Fuente: Cálculos propios con datos de anexo A

4. El índice de capacidad del proceso C_p permite medir si el proceso es capaz de mantener el producto dentro de los límites de control definidos en las especificaciones:

a) **Si el C_p es mayor que 1:** Este valor indica que el proceso tiene la capacidad para producir unidades dentro de los límites de control de la especificación.

Por lo tanto, cuanto mayor sea el valor C_p , menor será la variabilidad del proceso, lo que significa que el proceso es más estable y capaz de mantenerse en control.

b) **Si el C_p es menor que 1:** Este valor indica que el proceso no es capaz de cumplir con los requisitos de la especificación, ya que la dispersión de datos del proceso es muy amplia en comparación con los límites de control.

Por lo tanto, cuanto menor sea el valor del C_p , mayor será la variabilidad del proceso, por lo que se considera que el proceso es inestable y no es capaz de mantener los productos dentro de los límites de control.

5. **El índice de capacidad real del proceso conocido como C_{PK} :** es básicamente una versión corregida del C_p , con la diferencia de que toma en cuenta el centrado del

⁴⁷ver datos en cuadros del Anexo A

proceso [38].

Este índice “ajustado” del C_p , es necesario en algunos casos en los cuales uno de los valores monitoreados presenta una desviación de su media $\bar{X} \rightarrow \bar{X}'$ esto es que se corre la media del valor centrado en $\pm 3\sigma$ a un nuevo valor, por lo que se hace necesario recalcular⁴⁸ la capacidad del proceso considerando esta desviación.

- a) Cuando un proceso se desvía hacia un lado de la media $\bar{X}$ de la curva de distribución se conoce como “proceso no centrado”, en este caso, los valores del precio de la criptomoneda que presente el problema de valor descentrado, causaría que encontremos más puntos fuera de control en dicha criptomoneda, como se aprecia en el área gris de la siguiente figura 38, donde los puntos medidos como fuera de control se encontrarían por encima del límite de control superior.

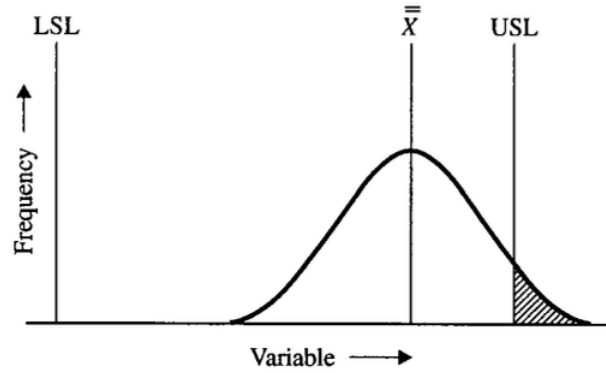


Figura 38: Curva de capacidad de un proceso con su media $\bar{X}'$ descentrada.

Fuente: Tomado de Statistical Process Control, pag 264 [38].

- b) Esta situación va a requerir de un índice de capacidad diferente al (C_p) para tomar en cuenta las variaciones de los precios monitoreados⁴⁹ de las criptomonedas analizadas Tether, USD-Coin, Binance-USD y DAI todas ligadas a \$1.00.
- c) Para comprobar si las criptomonedas son capaces de mantenerse en control hay que determinar la capacidad real del proceso de cada una, se deben calcular los valores utilizando los límites de control superior e inferior para obtener los nuevos valores de capacidad conocidos como C_{PK} , en los cuales obtendremos dos valores (superior e inferior):

⁴⁸Por ejemplo los valores de la media de Binance-USD del cuadro 3, donde $\bar{X}=\$1.00 \rightarrow \bar{X}'=\1.0022 deberían recalcularse de acuerdo con SPC, pero al estar ligados a \$1.00 la especificación de la criptomoneda no lo permite.

⁴⁹Ver datos en anexo A de las criptomonedas Tether, USD-Coin, Binance-USD y DAI

- 1) C_{PKS} (**superior**): Este índice relaciona la diferencia entre la media $\bar{X}$ del proceso y el límite de control superior (área de la curva en $+3\sigma$) que representa la mitad de la variación total del proceso, el cual se calcula con la siguiente formula

$$C_{PKS} = \frac{LCS - \bar{X}}{3\sigma} \quad (14)$$

- 2) C_{PKI} (**inferior**): Este otro índice relaciona la diferencia entre la media $\bar{X}$ del proceso y el límite de control inferior (área de la curva en -3σ) que representa la mitad de la variación total del proceso) el cual se calcula mediante la siguiente formula:

$$C_{PKI} = \frac{\bar{X} - LCI}{3\sigma} \quad (15)$$

- d) **El C_{PK} (real)**: es el mínimo de los valores obtenidos de calcular el C_{PKS} y C_{PKI} , el cual es un indicador para calcular la capacidad del proceso muy útil en aquellos casos de que solo se dispongan de un límite de control nada más (LCS o LCI) [38].
6. En la tabla del cuadro 3, al analizar los datos extraídos⁴⁹ y representados en formato de gráfico de control SPC en la figura 28, se obtiene que los valores de C_P y de C_{PK} de tres criptomonedas son mayores a 1:
- 1) Tether > 2
 - 2) USD-Coin > 1.7
 - 3) DAI > 1.59 .
 - 4) Binance-USD $< 1 \leftarrow$ este es un producto con problema de capacidad
7. Como Binance-USD presenta un C_{PK} menor que 1 ($C_{PK} = 0,4973$), esto significa que la variación del proceso y su valor medio $\bar{X}'$ centrado es tal que los valores de precios excederían al menos uno de los límites de control (en este caso el límite superior), por lo que se tiene que el proceso es incapaz de mantenerse en control, como lo muestra la siguiente tabla⁵⁰ en la figura 39.

⁵⁰Interpretación del C_p normalizada en SPC tomada del libro “Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma” de Gutierrez Pulido y de la Vara Salazar

Medición	tether	usd-coin	binance-usd	dai
Desviación estándar	0.0008	0.0010	0.0019	0.0009
Media	0.9999	1.0000	1.0022	0.9995
Máximo	1.0027	1.0025	1.0102	1.0018
Mínimo	0.9972	0.9959	0.9956	0.9963
Límite Control Superior (LCS)	1.0050	1.0050	1.0050	1.0050
Límite Control Inferior (LCI)	0.9950	0.9950	0.9950	0.9950
Cantidad de puntos fuera de control	0	0	9	0
Capacidad del proceso (C_p)	2.1966	1.7329	0.8918	1.7846
Cpk superior (C_{pkS})	2.2478	1.7315	0.4973	1.9761
Cpk inferior (C_{pkI})	2.1453	1.7343	1.2863	1.5930
Cpk	2.1453	1.7315	0.4973	1.5930

Cuadro 3: C_P y C_{PK} de las criptomonedas Tether, USD-Coin, Binance-USD, DAI
Fuente: Cálculos propios con datos del Anexo A.

Valores del C_p y su interpretación.		
VALOR DEL ÍNDICE C_p	CLASE O CATEGORÍA DEL PROCESO	DECISIÓN (SI EL PROCESO ESTÁ CENTRADO)
$C_p \geq 2$	Clase mundial	Se tiene calidad Seis Sigma.
$C_p > 1.33$	1	Adecuado.
$1 < C_p < 1.33$	2	Parcialmente adecuado, requiere de un control estricto.
$0.67 < C_p < 1$	3	No adecuado para el trabajo. Es necesario un análisis del proceso. Requiere de modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria.
$C_p < 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones muy serias.

Figura 39: Tabla de interpretación de C_P normalizada en el control estadístico (SPC)
Fuente: Tomado de Control estadístico de calidad y seis sigma [9]

8. Se puede observar que Binance-USD tiene una desviación con respecto a la media $\bar{X}$ de \$1.00 con un $C_P = 0,8918$, el cual se interpreta con ayuda de la tabla anterior que Binance-USD cae dentro de la categoría 3 del proceso, lo que sugiere que este producto requiera de un análisis del proceso y de modificaciones serias para alcanzar una estabilidad satisfactoria de acuerdo con las normas de SPC [9].

9.2.4. Reglas de SPC para interpretación de gráficas de control

- Para implementar SPC, a nivel internacional existen reglas que se deben seguir para interpretar las gráficas de control como lo documenta Jiju Antony et al. en su estudio titulado “Un marco conceptual para la implementación efectiva del control de procesos estadísticos” [39] para determinar si un proceso está dentro o fuera de control, estas reglas son las siguientes:

1. **Regla 1:** Se dice que un proceso está fuera de control si un punto cae fuera de los límites de control (LCS o LCI).
 2. **Regla 2:** Un proceso está fuera de control si dos de cada tres puntos sucesivos caen fuera de los límites de advertencia en el mismo lado de la línea central ($\bar{X}$), estos límites de advertencia normalmente se colocan a dos desviaciones estándar (2σ) de la línea central.
 3. **Regla 3:** Se dice que un proceso está fuera de control si cuatro de cada cinco puntos sucesivos caen fuera de uno de los límites en una desviación estándar (1σ) y en el mismo lado de la línea central.
 4. **Regla 4:** Un proceso está fuera de control si siete o más puntos sucesivos caen en uno de los lados de la línea central (proceso descentrado lado superior o inferior de la media $\bar{X}$).
 5. **Regla 5:** Se dice que un proceso está fuera de control si hay una secuencia de siete o más puntos sucesivos ya sea por encima o por debajo.
 6. **Regla 6:** Se dice que un proceso está fuera de control si la gráfica muestra ciclos de puntos altos y bajos (lo que se conoce como patrón cíclico de variación).
- En el caso de que se aplique alguna de las reglas anteriores y se tenga un proceso fuera de control o inestable se deben investigar de inmediato las posibles causas que disparan las alertas del sistema y generan las situaciones fuera de control.
 - Es recomendable tener un plan de acción cuando el sistema detecte puntos fuera de control debido a causas de variación especiales (que no son comunes).
 - Se recomienda también que se documenten los incidentes que se presenten por puntos detectados fuera de los límites de control con el fin de facilitar el análisis y ayudar a prevenir casos similares en el futuro.

9.3. El factor humano en el modelo de control

- La participación humana ha estado presente en prácticamente todas las decisiones que puedan afectar la actividad económica, no es sino hasta la aparición de las criptomonedas cuando se quiso dejar de lado el criterio de las personas para proponer métodos libre de

intervención humana, pues aún en actividades como la exploración espacial, submarina, el desarrollo de la inteligencia artificial y la capacitación de nuevos algoritmos de aprendizaje, supervisión e interpretación de resultados los cuales han requerido la participación del ser humano.

- En la propuesta de incluir al ser humano en la gobernabilidad de las criptomonedas se parten de varios supuestos, algunos de los cuales son los siguientes:

Supuesto 1: Las criptomonedas estables tienen un control interno de su precio⁵¹, el cual está diseñado para “autorregularse” de tal forma que no hay interacción humana alguna para controlar su valor.

Supuesto 2: No habrá corrupción⁵², ya que las personas son honradas y honestas, trabajan por el bien común y no buscarán enriquecerse ilícitamente ni buscaran favorecerse en las decisiones.

9.3.1. Variables externas no perceptibles por algoritmos

Existen diferentes factores externos que pueden incidir en el comportamiento humano, la reacción de las personas difiere de un factor al otro, por lo que esto puede afectar el mecanismo de control interno de las criptomonedas y hacen que sus precios sean variables, volátiles y especulativos, algunos de estos factores externos que se identifican son los siguientes:

- a) Pánico en los mercados financieros.
- b) Crisis en los mercados de alimentos y energía (ej: petróleo, trigo, aceites, gas, etc.).
- c) Tensiones y conflictos con bloqueos comerciales entre naciones (ej: China-Estados Unidos, Taiwan-China, Siria, Israel, Irán, Países Árabes, etc.).
- d) Guerras y golpes de estado (ej: Rusia-Ucrania, Israel-Palestina).
- e) Migraciones y desplazamientos de poblaciones (ej: Venezuela, Siria, Ucrania, etc.).
- f) Cambio climático y escasez de materias primas (ej: disminución del nivel de agua de las represas para la producción de energía eléctrica, etc.).
- g) Desastres naturales (ej: terremotos, huracanes, inundaciones, sequías, etc.).

⁵¹No hay información publica disponible sobre los mecanismos de control internos de las criptomonedas.

⁵²Se recomienda tomar en cuenta el problema de la corrupción en el factor humano.

- h) Cambios de gobierno y políticas monetarias (devaluaciones, impuestos, etc.).
- i) Otras causas externas perceptibles por los seres humanos.

9.3.2. La participación humana en el control de gobernabilidad

- La intervención humana se hace necesaria para analizar y mitigar el impacto de las variables descritas anteriormente con el fin de buscar soluciones para estabilizarlas. En la figura 40 se muestra un caso real en donde el mecanismo de control automático simplemente no funcionó.

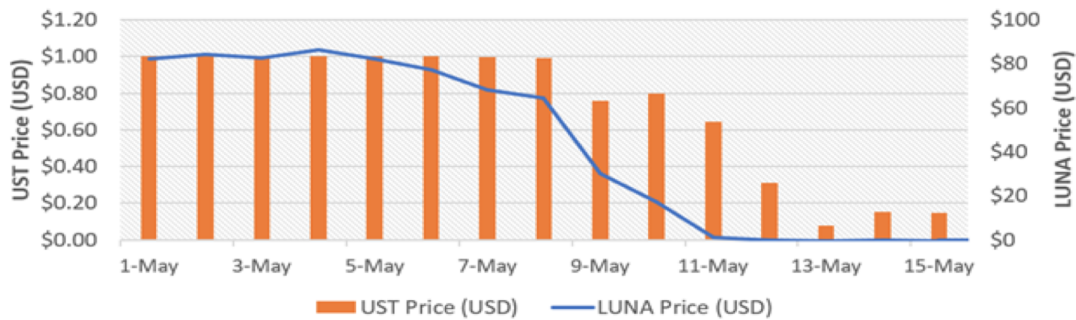


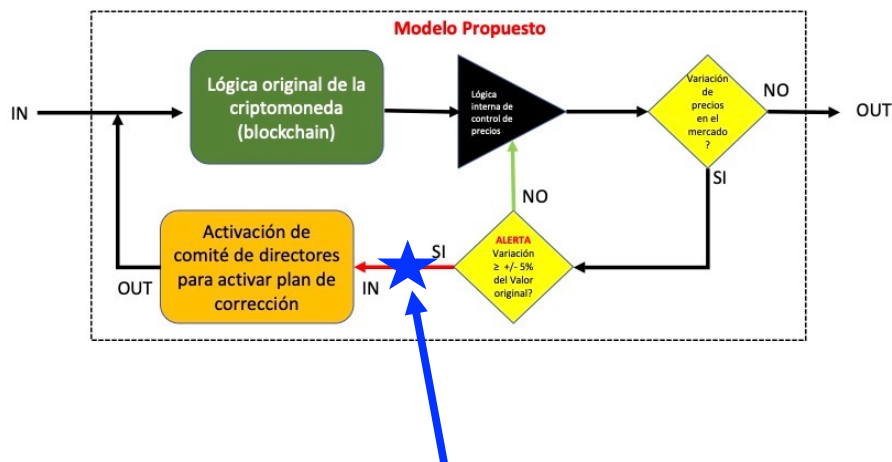
Figura 40: Comportamiento del precio de Terra-Luna en Mayo 2022

Fuente: tomado de Interconnected DeFi: Ripple Effects from the Terra Collapse [35]

- Cuando se está en la situación de una caída severa de precios y el mecanismo de control interno no es capaz de estabilizarlos, se hace necesaria la participación humana para tomar en consideración dichas variables externas, las cuales requieren de un análisis del contexto para lograr determinar la causa raíz (*rootcause en inglés*) que está originando el problema con el fin de tomar las acciones correctivas antes de que el impacto sea grande e irreversible.
- El caso del colapso de Terra-Luna es un ejemplo real que tuvo un impacto significativo en la credibilidad y confianza de las criptomonedas estables, como se documenta en el estudio de Badev et al., titulado “Interconnected DeFi: Ripple Effects from the Terra Collapse” [35], donde la criptomoneda comenzó a presentar puntos fuera de control el 5 de Mayo 2022 y no se reaccionó a tiempo para frenar su caída. Este ejemplo demuestra la importancia de tomar en cuenta las variables del entorno y analizarlas desde diferentes ángulos por un equipo de personas para investigar las posibles causas y proponer las

soluciones conforme se avance en dichas investigaciones.

- Al incluir el control estadístico SPC en el control y monitoreo del precio de una criptomoneda, se hace necesario la participación humana en nuestra propuesta de gobernabilidad.
- Sugerimos que la participación humana esté conformada por un “Comité Director”, similar al que tienen las grandes empresas que cotizan en las bolsas de valores con el fin de garantizar la estabilidad y rendimiento de sus acciones⁵³, de tal modo que el comité director estaría formado por personas electas de manera democrática y de forma descentralizada, que no pertenezcan a una misma organización, país o región geográfica, la cual garantizaría cero injerencias por parte de los desarrolladores de la criptomoneda.
- Para la incorporación de la participación humana se recomienda el uso de un contrato de nivel de servicios o (SLA: Service Level Agreement en inglés) para la toma de decisiones consensuadas en cuanto a las acciones correctivas requeridas y definir el tiempo máximo para tomar dichas acciones con el fin de estabilizar el valor lo más rápido posible.



El algoritmo es el que sugiere que se reúna el organismo de directores para tomar acciones dado el contexto.

Figura 41: Diagrama del modelo propuesto de control
Fuente: Elaboración propia.

- En el diagrama de bloques de la figura 41 se introduce el concepto de la participación humana para la gobernabilidad como un nuevo bloque interactuando con el sistema de control estadístico (SPC), el cual tiene la finalidad de analizar los datos y elaborar planes de contingencia para lograr la estabilidad del precio y garantizar la estabilidad de la

⁵³Ejemplo de esto son los comité directores de empresas como Intel, Apple, Microsoft, IBM, etc.

criptomonedas.

- El funcionamiento de este modelo propuesto se explica de la siguiente manera:
 1. Una vez que el sistema de monitoreo de control SPC detecta puntos fuera de control, debido a que el precio de la criptomoneda está variando en un porcentaje mayor al $\pm 5\%$ del valor de referencia de \$1.00, entonces el sistema automáticamente genera una alerta dirigida al administrador de la criptomoneda.
 2. En la siguiente figura 42, se muestra un ejemplo de cómo se vería el email generado automáticamente por el sistema SPC, el cual es enviado a los miembros del comité director para activar la reunión de emergencia debido a que el sistema detectó que el precio está fuera de control.

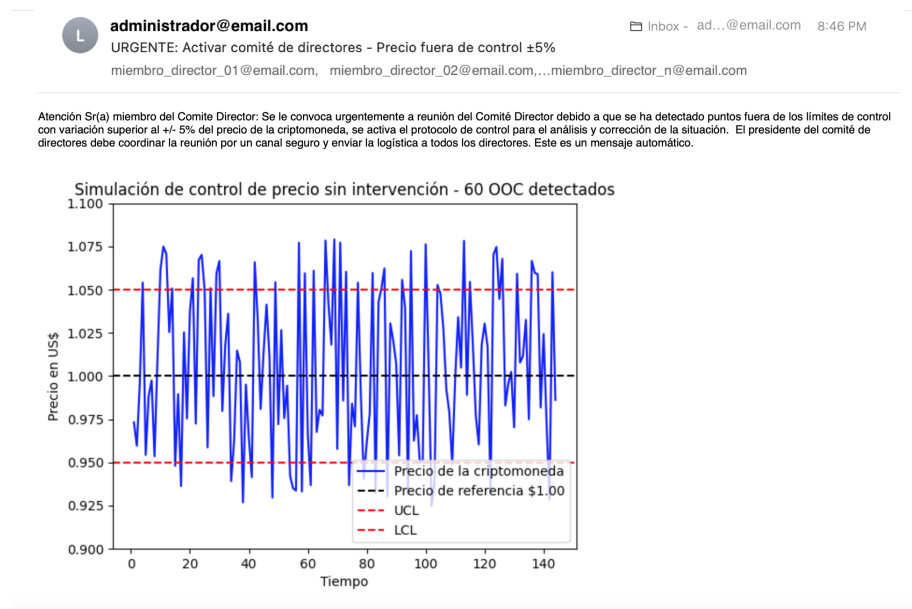


Figura 42: Ejemplo de email enviado por el sistema de control SPC.

Fuente: propia

3. El objetivo de la reunión de emergencia es el de tomar acciones inmediatas tales como el análisis de datos para determinar el problema, encontrar cual es la causa que está ocasionando el problema⁵⁴, y buscar posibles soluciones con el fin de aplicar la acción correctiva pertinente, todo ello por humanos.

- Para ello utilizamos el siguiente script para simular la activación del comité director.

⁵⁴Por ejemplo: pánico en los mercados debido a una nueva pandemia, avisos de guerra entre dos naciones, etc.

9.3.3. Pseudocódigo para simular la activación del comité director

- Este algoritmo se encarga de sugerir que se reúna el organismo del Comité Director para tomar las acciones pertinentes para corregir los valores de la criptomoneda y llevarlos adentro de los límites de control.

Algorithm 6 Envío automático de alertas por correo electrónico

```
1: email ← “administrador@email.com”
2: password ← “admin-123”
3: destinatarios ← [miembro_director_1@email.com, ..., miembro_director_n@email.com]
4: subject ← “URGENTE: Activar comité de directores - Precio fuera de control  $\pm 5\%$ ”
5: message ← “Mensaje de justificación va aquí - Este es un mensaje automático”
6: procedure ENVIARCORREO
7:   msg ← CrearMensaje(email, subject, message)
8:   servidor ← IniciarSesionSMTP('smtp.email.com', 587, email, password)
9:   for destinatario en destinatarios do
10:    EnviarCorreoElectronico(servidor, email, destinatario, msg)
11:   end for
12:   CerrarConexion(servidor)
13: end procedure
14: procedure CREARMENSAJE(email, subject, message)
15:   msg ← NuevoMensaje()
16:   msg.De ← email
17:   msg.Asunto ← subject
18:   msg.AdjuntarTexto(message)
19:   return msg
20: end procedure
21: procedure INICIARSESIONSMTP(servidor, puerto, email, password)
22:   servidor ← ConectarServidorSMTP(servidor, puerto)
23:   servidor.IniciarTLS()
24:   servidor.IniciarSesion(email, password)
25:   return servidor
26: end procedure
27: procedure ENVIARCORREOELECTRONICO(servidor, email, destinatario, msg)
28:   msg.Para ← destinatario
29:   servidor.EnviaCorreo(email, destinatario, msg.ComoTexto())
30: end procedure
31: procedure CERRARCONEXION(servidor)
32:   servidor.CerrarConexion()
33: end procedure
```

9.3.4. Flujo de respuesta y acciones a tomar por el Comité Director (RFC)

- En el control estadístico de procesos (SPC) cuando se detectan puntos fuera de control [39], se utiliza una herramienta conocida como Diagrama de Flujo de Respuesta ó “RFC” (*Response Flow Chart en ingles*), ver figura 43, la cual ayuda a los administradores y/o controladores a seguir un proceso estructurado para lograr devolver el sistema al control deseado.
- En nuestra propuesta de control con SPC, se incluye un RFC básico para facilitar la solución del problema, puesto que una vez que el sistema automáticamente notifica la anormalidad al Comité Director y éste recibe la alerta del sistema de que algo está pasando con el precio que se encuentra fuera de control, el comité debe actuar de forma ordenada tal y como se ilustra a continuación:

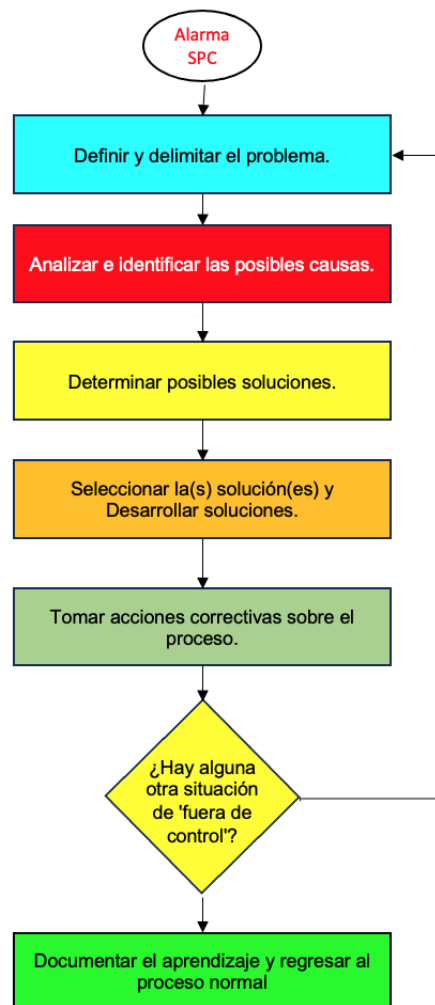


Figura 43: Diagrama de flujo de respuesta o RFC básico para puntos fuera de control.
Fuente: adaptado de “A conceptual framework for the effective implementation of SPC” [39]

1. Coordinación de la reunión: el presidente del comité director, coordinará la reunión mediante video llamada con todos los miembros directores.
2. Revisión del quórum requerido del comité director para el análisis de datos y la toma de decisiones, para iniciar la reunión de emergencia.
3. Revisión y análisis de datos por parte del comité director, comienza aquí la revisión de datos para delimitar y definir el problema que se está presentando.
4. Definición del problema y activación de contingencia: se busca entender cual es el problema que está afectando la criptomoneda, su impacto inmediato y se procede a contener el proceso (análogo a paralizar la producción).
5. Análisis de datos estadísticos para encontrar la causa raíz, se genera una lluvia de ideas con toda la información posible obtenida.
6. Verificación y validación de la causa raíz mediante una implementación controlada para simular su efecto utilizando alguna técnica de diseño de experimentos.
7. Implementación de la acción correctiva: dependiendo de la posible causa raíz identificada, se procede a validar la solución propuesta y se procede a implementarla con las posibles opciones para estabilizar el precio (emitir, comprar o esperar).
8. El comité director, toma la acción correctiva y autoriza la implementación de dicha acción para aplicarla en el proceso.
9. Una vez realizado esto, el sistema de control de SPC vuelve a la normalidad y continuará monitoreando el comportamiento del precio.

9.4. Modelo de interacción humana en las criptomonedas

- En el caso de que el sistema de monitoreo con SPC detecte variaciones abruptas en el precio del mercado, se propone el siguiente protocolo en la figura 44 con interacción humana para analizar las posibles causadas e identificar los factores o variables externas no detectables por los sistemas internos automatizados, con el objetivo de controlar y estabilizar el precio de la criptomoneda y brindar estabilidad en su valor.

Activación de comité de directores para activar plan de corrección

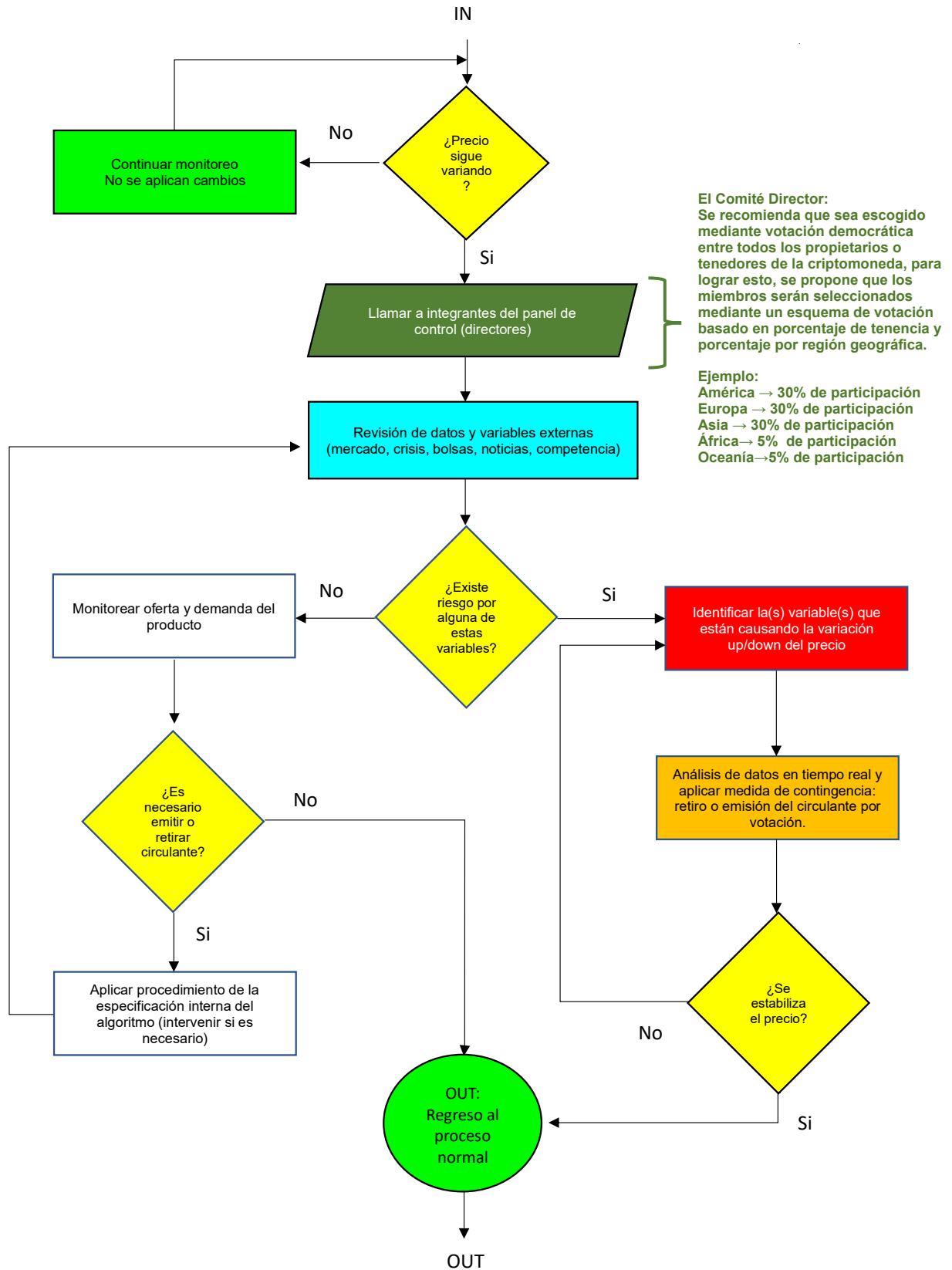


Figura 44: Protocolo de interacción humana.
Fuente: Elaboración propia.

9.4.1. Descripción del funcionamiento con participación humana

El control propuesto de gobernabilidad responderá automáticamente a las variaciones de precios en tiempo real con el fin de evitar cambios abruptos del valor de referencia deseado (en este caso de \$1.00 USD), a continuación se explica el funcionamiento:

1. El sistema de control SPC está constantemente monitoreando el precio de mercado, utilizando gráficas de control con límites de control definidos (LCS y LCI).
2. Si detecta varios puntos fuera de control (OOC) superiores al $\pm 5\%$ del precio de referencia de \$1.00 USD, automáticamente el sistema envía un email de alerta para informar y convocar a los miembros del Comité Director de la criptomoneda.
3. El Comité Director deberá seguir el flujo de respuesta (RFC) y realizar un análisis de datos en tiempo real para identificar las posibles causas que están haciendo que el precio esté fuera de control.
4. Una vez identificada la causa raíz con las variables que están afectando el precio de la criptomoneda, se deben desarrollar las acciones para controlarlas y lograr estabilizar el precio dentro de los límites de control establecidos.
5. El Comité Director tomará la decisión de implementar las acciones correctivas y autoriza al administrador del sistema para su implementación y puesta en práctica.
6. Si se estabiliza el precio, entonces se termina la sesión de emergencia, en caso contrario, se continua hasta encontrar la causa raíz y desarrollar la acción correctiva adecuada.
7. Dentro de las posibles acciones que deban tomar el comité director están:
 - a) Emisión de criptomonedas (caso de que el precio esté en subida).
 - b) Retiro de criptomonedas (caso de que el precio esté a la baja) mediante recompra de tokens con el fondo de reserva para mantenerlas y ofrecerlas nuevamente en caso de que se ocupe emitir o “destruirlas” mediante el proceso de “quemado o burning”.
8. Se regresará al proceso normal con el monitoreo en tiempo real una vez que los gráficos de control muestren que el valor de la criptomoneda esté dentro de los límites de control especificados ($\pm 5\%$) como pueden verse en la figura 43.

10. Propuesta de control humano y el blockchain

10.1. Modelo de control híbrido: blockchain e interacción humana

- Mediante el uso de “contratos inteligentes” (*Smart Contracts en inglés*) dentro del blockchain se pueden incluir condiciones especiales para automatizar ciertos controles necesarios en el manejo de la criptomoneda tales como el fondo de reserva u otros y su interacción con el factor humano. El concepto a nivel de bloques es el siguiente:

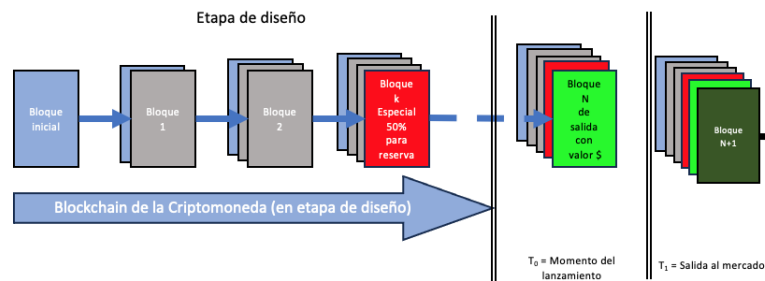


Figura 45: Bloque especial para generar reserva desde el desarrollo

Fuente: Elaboración propia.

10.2. Creación del fondo de reserva desde el blockchain

- Dentro del blockchain se implementa un contrato inteligente (*Smart Contract en inglés*) para generar un fondo de capitalización de reserva, el cual será operado automáticamente por el blockchain de manera que las reglas de dicho contrato se cumplan.
- Este contrato inteligente debe estar presente desde la fase inicial del código fuente de la criptomoneda, previo al lanzamiento al público.
- Como vemos en la figura 45, se ha incluido un bloque especial en color rojo al que denominamos “Bloque K”, y es especial porque su función es la de obedecer al contrato inteligente asignando el 50 % del valor creado a un fondo de reserva en una cuenta bancaria física (real).
- Cualquier cambio en el diseño debe hacerse desde el código fuente antes del lanzamiento de la criptomoneda en el tiempo T_0 , pues una vez lanzada al mercado en T_1 no se permite ningún cambio en el código fuente del blockchain.

10.2.1. Procedimiento de inclusión en el blockchain y participación humana

1. Con el fin de automatizar y hacer cumplir automáticamente los términos del acuerdo para generar un fondo de reserva desde el blockchain con mínima intervención humana para la apertura y administración de una cuenta en un banco comercial⁵⁵, se requiere diseñar un contrato inteligente que se ejecutará dentro del blockchain de la criptomoneda.
2. Un requerimiento para generar el fondo de reserva de la criptomoneda estable es que se tome el 50 % del precio de venta (en nuestro caso es de \$1.00) y se asigne a un fondo de capitalización, sugiriendo los siguientes pasos para lograrlo:
 - a) Desarrollo del contrato inteligente: En la etapa de diseño del código fuente se deben definir las variables necesarias, como el saldo total de la criptomoneda y el saldo del fondo de capitalización. El contrato establece las funciones para la emisión de la nueva criptomoneda y la transferencia de fondos al fondo de capitalización.
 - b) Fijación del valor estable: El contrato debe asegurarse de que haya una función que permita fijar el valor de la criptomoneda en \$1.00. Esto podría incluir un mecanismo para ajustar automáticamente la oferta de criptomoneda en circulación para mantener el precio estable.
 - c) Generación de valor y fondo de capitalización: Implementa una función que maneje la generación de valor. En el caso de que el precio sea mayor a \$1.00, se debe destinar automáticamente el 50 % del valor adicional al fondo de capitalización.
 - d) Los mecanismos de seguridad: El contrato debe tener los mecanismos de seguridad criptográfica para protegerlo contra posibles ataques o manipulaciones.
 - e) Debe permitir realizar pruebas para validación y auditorías: Se deben realizar pruebas para identificar posibles errores y vulnerabilidades y someterlo a una auditoría de seguridad para garantizar su integridad y robustez.
 - f) La implementación se hace en el blockchain: se despliega el contrato inteligente, con la implicación del costo asociado a esta funcionalidad adicional del nuevo bloque K.
3. La participación humana se da en varios niveles, pues se ocupa abrir la cuenta en una institución bancaria real, y para ello ocupa cumplir con los requerimientos del gobierno

⁵⁵Requisito legal obligatorio. Fuente: Department of the Treasury of the USA [40]

para la apertura [40], luego ese numero de cuenta debe incluirse en el codigo fuente del Smart Contract en el bloque K para que sea en ella donde se va a depositar dicho fondo de respaldo.

4. El siguiente script es un ejemplo para crear un fondo de reserva a partir del blockchain, por cada transacción de venta que se realice, el cual toma el 50 % de lo recaudado para depositarlo en una cuenta real de un banco⁵⁶, la cual debió haber sido abierta por una persona física.

10.2.2. Pseudocódigo para simulación de generación de fondo de reserva en Blockchain

Algorithm 7 Simulación de generación de fondo de reserva en Blockchain

```

Inicio
Clase Blockchain:
    Función __init__(saldo_inicial):
        saldo ← saldo_inicial
        cuenta_fiduciaria ← "001-001-123456-78-9-0"
    Función generar_reserva():
        precio ← 1.00
        cantidad_reserva ← precio * 0.5
        saldo − = cantidad_reserva
        Imprimir "Se ha depositado $", cantidad_reserva, ".en la cuenta fiduciaria ", cuenta_fiduciaria, "."
        Imprimir "Saldo restante en el blockchain: $", saldo
    Función crear_bloque_especial():
        bloque_especial ← { "transaction_id": "special_block", "amount": saldo * 0.5, "recipient": cuenta_fiduciaria
}
        Imprimir "Se ha creado un bloque especial para generar el fondo de reserva:"
        Imprimir bloque_especial
Función simular_generacion_reserva(saldo_inicial, num_iteraciones):
    blockchain ← nueva instancia de Blockchain con saldo_inicial
    Para cada iteración de 1 a num_iteraciones hacer:
        Imprimir "Iteración ", iteración, ":"
        blockchain.generar_reserva()
        Si iteración == num_iteraciones - 1 entonces:
            blockchain.crear_bloque_especial()
saldo_inicial ← 1000000
num_iteraciones ← 10
simular_generacion_reserva(saldo_inicial, num_iteraciones)
Fin

```

⁵⁶En este ejemplo la cuenta es ficticia del Bank of America en USA, con numero "001-001-123456-78-9-0"

10.2.3. Uso del fondo de reserva como contingencia

- El uso del fondo de reserva generado desde el blockchain y depositado en una cuenta fiduciaria real como se muestra en el diagrama de bloques de la figura 46 debe tener muy buenos controles de seguridad para evitar un mal uso por parte de la administración con acceso de la cuenta que contiene el fondo de reserva.

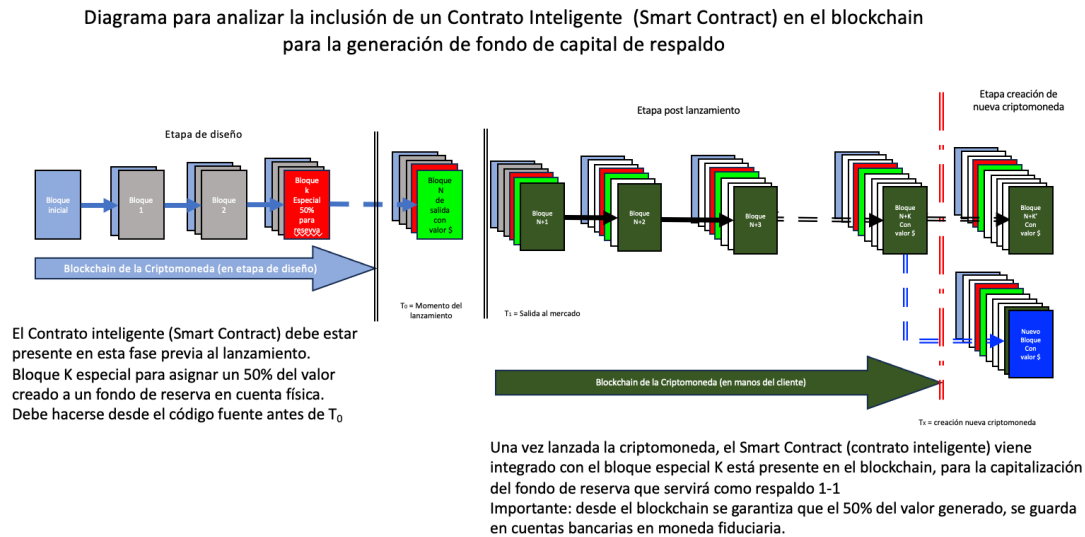


Figura 46: Diagrama de bloques para el fondo de reserva
Fuente: Elaboración propia.

- Este fondo de capital de reserva se destinará para respaldar el valor de las criptomonedas estables emitidas y circulantes, con esta propuesta se mejora significativamente la seguridad de contar con dicho fondo, el cual a diferencia de Tether que es la mayor criptomoneda estable del mercado con más de \$60000 millones de US dolares, su fondo de reserva⁵⁷ es apenas del 6 % según un reporte y análisis publicados por el FMI [34].
- La solución propuesta por nuestra investigación, incluye la capitalización del fondo de reserva desde su lanzamiento, con ello se espera garantizar el respaldo 1 a 1 con dinero real fiduciario.
- Es importante considerar algún método de seguridad cruzado para evitar la corrupción de las personas que tendrán acceso a las cuentas del fondo de reserva.

⁵⁷Fuente: FMI “Regulating the Crypto Ecosystem: The Case of Stablecoins and Arrangements”. 2022 [34]

- A continuación se mencionan algunos criterios⁵⁸ para la utilización del fondo de reserva:

1. De la persona autorizada para acceder el fondo de reserva y hacer transacciones:

- a) El factor humano se hace presente nuevamente en la propuesta, pues la acción para retirar fondos de una cuenta física real, debe estar debidamente autorizada y validada por la entidad bancaria que tiene en su custodia el fondo de reserva (Ejemplo Bank of America).
- b) Validación de la persona autorizada: normalmente, son las entidades bancarias las que se encargan de validar que la persona autorizada cumpla con los requisitos de identificación para hacer una transacción en sus cuentas, las regulaciones del gobierno dependiendo del país, exige presentar una identificación válida y en vigor tales como cédula de identidad, licencia de conducir, pasaporte, dirección física, teléfono, verificación de firmas, etc.
- c) La persona autorizada deberá contar con la autorización por escrito del comité director, así como la presentación de documentos firmados por distintos miembros fiscalizadores para llevar a cabo la transacción de retiro o traslado de dinero entre cuentas⁵⁹, ello con el fin de evitar actos ilícitos, desfalcos, sustracciones indebidas, fraudes y robos.

2. Del comité director para autorizar el uso del fondo de reserva:

- a) El uso de este fondo de reserva lo autorizará el comité director en caso de emergencia para respaldar el valor de la criptomoneda emitida y circulante.
- b) En el caso de que el precio de la criptomoneda baje abruptamente, estos fondos podrán ser autorizados por el comité director al administrador, para comprar y retirar producto del mercado reduciendo así su oferta e impulsando a que el valor tienda a subir para estabilizarla en el punto de equilibrio [41].

⁵⁸Esta es una sugerencia, los criterios pueden y deben ser rigurosos para evitar la corrupción y el enriquecimiento ilícito por parte de las personas con acceso a la cuenta real bancaria

⁵⁹Cuando el monto a mover es mayor de \$10K, es indispensable llenar una serie de requisitos para su control con el fin de evitar financiamiento al terrorismo, lavado de dinero u otros ilícitos [40].

10.3. La oferta y la demanda para estabilizar el precio en el mercado

- Repasamos algunos términos utilizados por los economistas [41] los cuales hacemos referencia y utilizamos en esta investigación, algunos de estos son los siguientes:
 1. La “oferta y demanda”, se refieren al comportamiento de las personas al momento de interactuar entre ellas en un mercado competitivo.
 2. El “mercado” se refiere a un grupo de compradores y vendedores de un producto, artículo o servicio en particular que le interesa a unos y otros.
 3. Los “compradores” se refieren al grupo de personas que determina la demanda del producto o servicio.
 4. Los “vendedores” se refiere al grupo de personas que determina la oferta de un producto o servicio.
 5. El concepto “mercado competitivo” se refiere para describir un mercado en el cual existen múltiples compradores y vendedores de un producto, artículo o servicio similar, por lo que de manera individual ninguno de ellos (compradores y vendedores) afecta significativamente el precio de mercado.
 6. El “punto de equilibrio” se refiere a la cantidad de productos o servicios que los compradores están dispuestos a comprar, y a la cantidad que los vendedores están dispuestos a vender, las acciones que toman los compradores y vendedores mueven los mercados hacia el punto de equilibrio de manera natural.

10.3.1. Aplicación de la oferta y demanda en el mercado de criptomonedas

- Cuando el sistema de control SPC detecte alguna anomalía en el precio de las criptomonedas (puntos fuera de control), se está ante una situación en que alguna de estas dos fuerzas de oferta o demanda han sido afectadas como se muestra en la figura 47 y es momento de analizar qué está pasando.
- El comité director debe utilizar estos principios utilizados por los economistas para desarrollar las acciones correctivas luego de haber analizado las posibles causas que originaron la variación del precio de la criptomoneda.

- De acuerdo con estos principios, como ya se explicó anteriormente, la oferta y la demanda de las criptomonedas determinan la cantidad de estas que se deben producir y el precio al que deben venderse.

10.3.2. Acciones para lograr la estabilidad en el punto de equilibrio

- El comité director deberá tomar las decisiones para estabilizar el precio fijado en \$1.00.
- En el caso de que se detecte una variación de precios y estos se salgan de control debido a que ocurre una caída o subida inesperada que afectan el equilibrio del precio en el valor de estabilidad fijado, se tienen las siguientes opciones:

A) La decisión de comprar o emitir criptomonedas por parte del comité director, se basará en previo análisis de datos donde identifican la causa raíz, tomando en cuenta el principio de oferta y demanda, como se muestra en el la figura 47, con las curvas del comportamiento de la oferta - demanda y el punto de equilibrio de la criptomoneda estable.

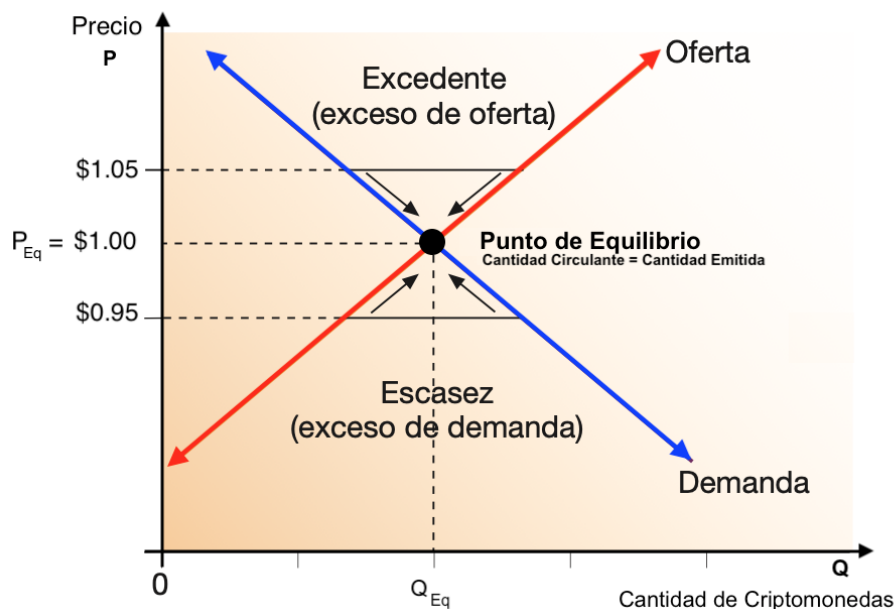


Figura 47: Curva oferta y demanda en una criptomoneda estable

Fuente: adaptado de Principios de Economía, Mankiw [41]

B) Si el resultado del análisis efectuado por el comité director determina que se está ante la situación de que existe exceso de oferta, el precio al que se están ofreciendo los productos es mayor que el precio de equilibrio. Por tanto, la cantidad ofrecida es

mayor que la cantidad demandada, por consiguiente, la oferta de criptomonedas debe bajar para que los precios aumenten, y esto se logra “comprando” criptomonedas en circulación.

C) En el caso de que el comité director decida “comprar” para bajar la oferta⁶⁰, la practica de otras criptomonedas es la de “quemar tokens”, es decir, eliminarlos. En este caso, el comité director podría almacenarlos para liberarlos en un futuro cercano en el caso de que la demanda aumente y se dé el opuesto en que los precios suben por encima del valor deseado de \$1.00, o bien podrían aplicar las practicas de otras criptomonedas y simplemente “quemarlas o borrarlas”.

- En la figura 47, el punto de equilibrio se sitúa en $P_{Eq} = \$1,00$ y la cantidad de criptomonedas emitidas ideal es aquella en que coincide con el precio de \$1.00 lo que equivale a la cantidad demandada (Q_{Eq}).
- Si el precio es mayor que el de equilibrio por ejemplo, para $P = \$1,05$, la cantidad emitida en circulación excede la cantidad que los clientes desean comprar. Esto obliga a que el precio baje hasta el punto de equilibrio. Las flechas indican el sentido descendente en el que tiende a variar el precio cuando hay un excedente o exceso de oferta en el mercado.
- Por el contrario, si el precio es menor que el de equilibrio, por ejemplo para $P = \$0,95$, la cantidad que los clientes desean comprar es mayor que la ofrecida por el emisor (demanda > oferta), los compradores que no han podido obtener la cantidad deseada de criptomonedas presionarán al alza el precio tratando de adquirir la cantidad deseada. La escasez genera una presión para subir el precio, tal y como indican las flechas. Por lo tanto, para lograr estabilizar el precio de la criptomoneda en el punto de equilibrio y ante una caída de precios se debe reducir la oferta quitando criptomonedas circulando en el mercado.

10.3.3. Pseudocódigo para determinar la oferta y la demanda de una criptomoneda estable

⁶⁰El fondo de reserva generado y almacenado en dinero real cobra importancia para recomprar los token en exceso, lo cual se espera que ayude en la estabilización del precio de la criptomoneda.

Algorithm 8 Determinación de la oferta y la demanda de una criptomoneda estable

Imprimir "El siguiente script permite obtener el punto de equilibrio basado en la Oferta y la Demanda para una criptomoneda estable"

$\text{precio_de_referencia} \leftarrow \text{EntradaDeUsuario}(\text{"Introduzca el precio de referencia en US dolares"})$

$\text{porcentaje_variacion} \leftarrow \text{EntradaDeUsuario}(\text{"Introduzca el porcentaje de variacion permitido (\%)"})$

$\text{oferta_minima} \leftarrow \text{EntradaDeUsuario}(\text{"Ingrese la cantidad minima ofertada en unidades"})$

$\text{oferta_maxima} \leftarrow \text{EntradaDeUsuario}(\text{"Ingrese la cantidad maxima ofertada en unidades"})$

$\text{demanda_minima} \leftarrow \text{EntradaDeUsuario}(\text{"Ingrese la cantidad minima demandada en unidades"})$

$\text{demanda_maxima} \leftarrow \text{EntradaDeUsuario}(\text{"Ingrese la cantidad maxima demandada en unidades"})$

$\text{especulacion} \leftarrow \text{demanda_maxima} - \text{oferta_maxima}$

$\text{punto_de_equilibrio} \leftarrow (\text{oferta_minima} + \text{demanda_maxima})/2$

Imprimir "Para lograr un precio estable en \$precio.de.referencia, se requieren punto.de.equilibrio unidades existentes en el mercado."

$\text{senal_panico} \leftarrow \text{EntradaDeUsuario}(\text{"Hay alguna señal de panico en los mercados? (si/no): "})$

if senal_panico es "no" **then**

 Imprimir "No hay ninguna señal de panico. El script termina."

 Salir

end if

$\text{efecto_panico} \leftarrow \text{EntradaDeUsuario}(\text{"Ingrese el efecto del panico en el precio (caida/subida): "})$

if efecto_panico es "subida" **then**

$\text{precio_mercado} \leftarrow \text{EntradaDeUsuario}(\text{"Ingrese el precio de mercado maximo registrado: "})$

$\text{cantidad_maxima} \leftarrow (\text{precio_mercado} \times \text{oferta_maxima} / \text{precio_de_referencia})$

$\text{cantidad_especulativa} \leftarrow \text{especulacion}$

$\text{nueva_oferta} \leftarrow \text{cantidad_maxima} - \text{oferta_maxima}$

$\text{nueva_oferta_especulativa} \leftarrow \text{cantidad_especulativa}$

 Imprimir "Bajo circunstancias normales, por la subida del precio a \$precio_mercado, la cantidad demandada maxima para llevar el precio al punto de equilibrio en \$1.00 es de \$cantidad_maxima y hay que emitir al mercado \$nueva_oferta nuevas unidades."

if $\text{demanda_maxima} \geq \text{oferta_maxima}$ **then**

 Imprimir "— ATENCION RIESGO DE ESPECULACION DETECTADO —."

 Imprimir "La cantidad demandada excede la oferta maxima, la cantidad necesaria para llevar el precio al punto de equilibrio en \$1.00 es de \$cantidad_especulativa y habria que emitir \$nueva_oferta_especulativa nuevas unidades."

 Imprimir "Se recomienda precaucion con una emision controlada de manera que no exceda la demanda real y las necesidades del mercado."

 Imprimir "Esto podria ser fraudulento con el fin de afectar las reservas reales por compra y retiro en muy corto plazo."

 Imprimir "Emitir una cantidad excesiva de unidades podria conducir a una sobreoferta y afectar la estabilidad del precio de la criptomoneda."

else

 Imprimir "Funcionamiento normal."

end if

else if efecto_panico es "caida" **then**

$\text{precio_mercado} \leftarrow \text{EntradaDeUsuario}(\text{"Ingrese el precio mercado minimo registrado: "})$

$\text{cantidad_maxima} \leftarrow (\text{precio_mercado} \times \text{oferta_maxima} / \text{precio_de_referencia})$

$\text{nueva_oferta} \leftarrow \text{cantidad_maxima} - \text{oferta_maxima}$

 Imprimir "La cantidad demandada maxima para llevar el precio al punto de equilibrio en \$1.00 es de \$cantidad_maxima y hay que retirar del mercado \$nueva_oferta unidades."

else

 Imprimir "Opcion no valida. El script termina."

 Salir

end if

11. Análisis y discusión de resultados

1. El uso del control estadístico de procesos (SPC) para monitorear el precio en las criptomonedas estables utilizando gráficas de control y la determinación de la capacidad del proceso resultan ser unas herramientas útiles para generar la información que permite a los usuarios y/o desarrolladores tener confianza en su estabilidad en el valor especificado \$1.00.
2. Se demuestra mediante una simulación de datos de precios y con participación humana para la acción correctiva que es posible lograr la estabilización del precio de la criptomoneda, ello mediante la generación de datos utilizando el precio de referencia centrado en $\bar{X} = \$1.00$.
3. Se incluyó en la simulación la gráfica de control de precios, la cual es una herramienta de monitoreo muy útil y confiable, incluye límites de control superior e inferior definidos en $\pm 5\%$ del valor de referencia, en esta se muestra el comportamiento del precio en tiempo real como parte del sistema de control SPC propuesto.
4. No se pudo obtener evidencia, literatura, reportes u otra muestra de que alguna criptomoneda estable utilice el control estadístico de procesos para monitorear sus precios.
5. En la siguiente figura 48 puede apreciarse los gráficos de control generados por la simulación que detallamos anteriormente:

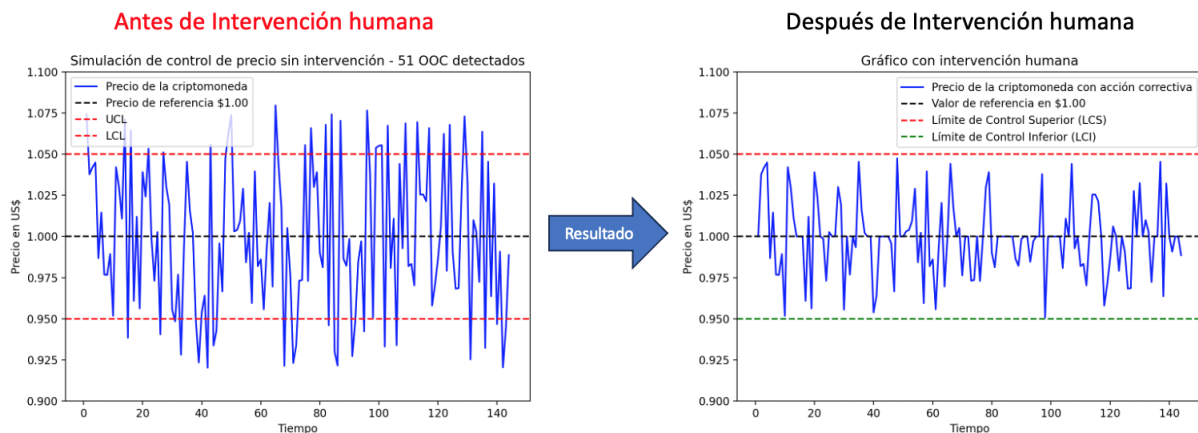


Figura 48: Gráficas de control antes y después de acción correctiva

Fuente: simulación propia.

6. El sistema automático de monitoreo con SPC, brinda una respuesta siguiendo el algorit-

mo del protocolo de control propuesto en el caso de que detecte puntos fuera de control en el precio, este procede a informar y convocar de emergencia al comité director (intervención humana) para que se comience el proceso de análisis de datos de manera urgente para identificar las posibles causas externas que están ocasionando el problema y evaluar posibles soluciones.

7. Durante la investigación se logran identificar algunas variables externas que pueden afectar el comportamiento de las personas ante situaciones de pánico o miedo, existen distintos estudios médicos que demuestran que las reacciones del ser humano ante situaciones de pánico pueden ser impredecibles como lo documentan estudios clínicos del Instituto de Salud Mental de Estados Unidos de America, ver Grillon et al.[42].
8. Dado que las reacciones del ser humano ante el pánico son impredecibles, estas afectan el comportamiento del mercado y el precio de las criptomonedas en general, y puesto que los sistemas automatizados ni la inteligencia artificial (por ahora) pueden responder debido a que se ocupa el factor humano para interpretarlas y proponer soluciones, y como mencionamos anteriormente, un ejemplo real de ello fue la caída de las bolsas de valores a nivel internacional con la declaración de la Pandemia del Covid-19 en marzo 2020 como lo documentan diferentes estudios (Almeida et al., 2023) [30] y (Shaen Corbet et al., 2020) [31] en los cuales demuestran que los mercados de criptomonedas no son inmunes a los shocks no financieros que afectan a la economía global, ni son independientes del sistema financiero global.
9. Un factor importante a considerar en trabajos futuros es la corrupción u abuso del factor humano, pues cuando hay dinero de por medio, y al proponer la incorporación del factor humano en el control de valor de las criptomonedas estables, detectamos un factor que debe ser cuidadosamente estudiado en futuros trabajos e investigaciones con el objetivo de proponer soluciones para este factor que afecta el comportamiento humano desde la antigüedad, la cual puede llevar a favoritismo, enriquecimiento ilícito, transacciones ilegales, manipulación del valor, etc.
10. El uso de la tecnología de blockchain con hashing criptográfico hace que la seguridad de la criptomoneda sea confiable, así como los contratos inteligentes (Smart Contracts)

dentro del blockchain permiten dar un buen uso a esta tecnología.

11. Dado que nuestra propuesta de control y gobernabilidad de la criptomoneda requiere la incorporación del factor humano, no puede lograrse un sistema completamente distribuido y descentralizado, debido a que las variables externas que afectan el precio o valor de las criptomonedas no pueden ser controladas automáticamente.
12. Un resultado importante es la poca o nula legislación existente para regular o legitimar las transacciones, producción y mantenimiento de las criptomonedas a nivel mundial, por ejemplo en Costa Rica se propuso un proyecto de ley titulado “Proyecto de Ley 23415 Mercado de Criptoactivos”, por diputada Johana Obando.PLP. 2022. [43]. Dentro de este tema legal, se incluye la jurisprudencia internacional⁶¹ para regular la cooperación internacional dado que las criptomonedas estables al estar disponibles en diferentes países con diferentes monedas reales (ejemplo colones en CR y la criptomoneda en USD) pueden ocasionar flujos de capital hacia o desde otras jurisdicciones [34].
13. La legislación y regulación se hace necesaria debido a que la tecnología avanza muy rápidamente mientras que hacer leyes es un proceso lento y el uso de las criptomonedas está creciendo rápidamente, sin respetar fronteras, ni leyes, por lo que este tema se hace imprescindible para un trabajo a futuro multidisciplinario, dado su potencial impacto en movimientos de capitales de dinero real a criptomonedas que pueden destinarse para actividades ilícitas como lavado de dinero, fuga de capitales, financiamiento al terrorismo, narcotráfico, etc.
14. Otro resultado importante es que nadie puede garantizar la estabilidad monetaria de una criptomoneda, debido a la naturaleza de estas, pues aún con nuestra propuesta, sus precios o valor monetario va a depender de las decisiones que tomen los administradores o comité director, del comportamiento de la oferta y la demanda, así como de las variables externas en un momento determinado⁶².
15. Como último resultado obtenido de las observaciones es que dadas las situaciones actuales, las criptomonedas estables presentes y futuras, no pueden estar a la libre, operando

⁶¹ver recomendación del Fondo Monetario Internacional [34]

⁶²Existen varios ejemplos de momentos que afectaron el precio como la declaración de la pandemia en Marzo 2020, el fracaso de la criptomoneda Terra-Luna Mayo 2022, la quiebra de varios bancos en USA como el SVB Marzo 2023, etc.

sin control ni gobernabilidad por parte de personas, pues se ha demostrado que son susceptibles a volatilidad y especulación debido a variables externas, lo cual conduce a una afectación de su credibilidad y confianza del usuario para ser aceptadas y adoptadas en sustitución del dinero fiduciario respaldado.

12. Conclusiones

12.1. Estatus para ser aceptadas como moneda:

1) Dentro de los resultados obtenidos al investigar las criptomonedas en general y tras avanzar en el proceso de recolección de datos y búsqueda de información, encontramos que existen las llamadas criptomonedas estables, las cuales “están vinculadas a alguna moneda real o bien físico”, en su mayoría al dolar estadounidense en relación de 1 a 1.

2) Se puede concluir con base en la información recopilada y datos analizados, que las criptomonedas estables están muy lejos de sustituir al dinero circulante por varios motivos que se describen a continuación:

1. Las criptomonedas existentes no tienen un respaldo real, ni de ningún banco central que asegure su valor en ningún país del mundo.
2. La alta variabilidad demostrada por todas las criptomonedas en los mercados de transacciones es un factor que no genera confianza para adoptarlas como medio de pago ni como deposito de valor [44].
3. Son considerados activos especulativos de alto riesgo, lo cual hace que no sean confiables para sustituir monedas físicas respaldadas por un banco central, y por ello la falta de confianza que los usuarios tienen a estos productos porque no gozan de ningún respaldo oficial.
4. El riesgo de perder el dinero real o dinero físico al cambiarlo por criptomonedas aunque “aparenten” tener el mismo valor de \$1.00 USD es muy alto, y así lo mencionan en sus paginas web los desarrolladores de las criptomonedas.
5. El dinero físico real es respaldado por los gobiernos y/o bancos centrales a fin de que sean aceptados como medio de pago para bienes y servicios.
6. Las criptomonedas son vistas y conocidas como “mecanismos de inversión” con un esquema de pirámide tipo “Ponzi” [3], en el cual en muchos casos los inversores han perdido su dinero porque los dueños (o desarrolladores) se llevan el dinero invertido por los clientes como lo documentados en el reporte de la organización TRM Labs, la cual trabaja con agencias gubernamentales y entidades financieras para monitorear,

detectar e investigar fraudes y crímenes financieros en las criptomonedas [45], solo en el 2022 se reportan perdidas por \$7800 millones de dolares americanos por estafas de este tipo en criptomonedas.

7. Existen problemas legales y de jurisdicción internacional como lo señala un informe de la organización de Bancos de Pagos Internacionales titulado “Regulación de las criptomonedas: evaluación de reacciones del mercado”, de Auer y Claessens, Sept 2018. [44], al no estar vinculadas o respaldadas por un país, operan libremente en Internet sin respetar fronteras ni leyes reguladoras propias de cada estado; aclarando que la jurisprudencia de un país se limita a su territorio, no pueden abrirse causas por delitos cometidos en otros países.
 8. Problemas de estabilidad en el valor de la criptomoneda, lo que podría afectar el balance en un comercio debido a que la variación puede afectar las ganancias o perdidas al final del día, ya que ninguna criptomoneda se comporta estable [60].
 9. El blockchain ha demostrado ser una tecnología segura en el manejo de datos de todas las transacciones, manejo de claves, contraseñas y trazabilidad para proteger las criptomoneda, pero no puede por si misma asegurar o mantener el valor de mercado pues es independiente el uno del otro.
 10. No se ha podido demostrar con datos que las criptomonedas estables sean totalmente descentralizadas al no haber información pública sobre sus mecanismos de control, de acuerdo con un informe de la Reserva Federal de Estados Unidos [61], la mayoría de criptomonedas estables son centralizadas⁶³, por lo que se sospecha que puede existir manipulación por parte de los desarrolladores como el caso ya mencionado de la criptomoneda Tether [36].
- 3) El dinero real es público y aceptado y regulado por bancos centrales propiedad de cada país, mientras que todas las criptomonedas en circulación son “monedas privadas”, sin regulación de ningún banco central y no están respaldadas por ningún estado o nación. Al ser “productos” comerciales, vendidos al público, son de índole privado, sus propietarios no están sujetos a brindar información interna de sus productos, pues no son públicas

⁶³FEDS Note by Cy Watsky et al. “Primary and Secondary Markets for Stablecoins”, Feb 2024 [61]

como si lo son las monedas físicas respaldadas por un banco central de un estado o nación. Debido a esto sus desarrolladores o propietarios no brindan información de su arquitectura ni sobre los mecanismos de control interno.

12.2. Factores externos, variabilidad y volatilidad:

- 1) Las criptomonedas se han visto afectadas por su volatilidad y variabilidad en su valor debido a factores externos, algunos ejemplos son: la pandemia del covid-19, la quiebra del banco SVB, el efecto de pánico por la quiebra de Terra-Luna, etc.
- 2) Se ha comprobado que estos factores o variables externas no son controlables por las computadoras, ni por los algoritmos de aprendizaje o de Inteligencia Artificial (IA) debido a lo impredecible de la reacción humana ante distintas situaciones de pánico o miedo como se mencionó anteriormente sobre los estudios clínicos que han demostrado que la reacción humana ante eventos de pánico o crisis son impredecibles.
- 3) El factor humano se hace necesario para la gobernabilidad y estabilización del precio de las criptomonedas estables debido a la volatilidad mostrada ante las reacciones de los clientes o usuarios a esas variables externas, causando esto que no pueda tenerse un sistema completamente distribuido.

12.3. Control automático o semi-automático con interacción humana:

- 1) Se podría pensar en un control automático desde el blockchain pero debido a la propiedad del blockchain de “Irreversibilidad e Inmutabilidad”, este tipo de control no es viable, puesto que una vez lanzada la criptomoneda no se puede modificar el contenido del blockchain para detener su funcionalidad.
- 2) Una posible solución semi-automática ante una caída de precios de la criptomoneda va a depender de la causa raíz, para poder controlarla y llegar a estabilizar su valor de mercado desde el blockchain se estaría ante dos posibles escenarios:

Escenario A): Incluir desde el diseño en el código fuente un bloque especial con permiso restringido y controlado solamente por un administrador designado por el

comité director para poder accederlo con el fin de ejecutar una función especial que denominaremos “bloque temporizador” el cual activaría alguna función para demorar la creación de nuevos tokens por parte de los mineros. Esta funcionalidad es riesgosa para la criptomoneda y para los clientes, pues es un activo o bien con un dueño legalmente establecido.

Escenario B): Si la causa de la caída de precios o valor obedece a variables externas, no es posible hacerlo de forma automática a nivel de bloques pues no se puede influir en las criptomonedas una vez liberadas, los mineros seguirán creando más tokens de valor aunque las acciones que podrían aplicarse serían las de demorar el tiempo para que se generen más criptomonedas lo cual ayudaría a que el precio no suba, pero esto no arregla el problema de la caída de precios, lo cual requiere que la empresa dueña de la criptomoneda “retire” circulante para hacer que el precio detenga su caída y vuelva a valores deseados dentro de los límites de control. Esto solo se podrá lograr con el control humano propuesto en este estudio.

12.4. El cuestionamiento de la descentralización:

- 1) Otra conclusión es la que confirma la sospecha inicial de este estudio de que las criptomonedas no son totalmente descentralizadas basado en información recopilada que se mencionó anteriormente sobre Tether [36], otras criptomonedas no brindan información.
- 2) Las monedas reales aceptadas mundialmente en circulación son respaldadas por una institución gubernamental (bancos centrales), estas monedas son centralizadas pues hay una organización que las controla para estabilizar y regular su uso.

12.5. Implementación del control SPC y participación humana:

- 1) Se concluye que el uso de herramientas de control estadístico para monitorear el precio de las criptomonedas en tiempo real es fundamental para poder tomar acciones correctivas para estabilizar su precio al valor deseado.
- 2) La interpretación de las gráficas de control para detectar puntos fuera de control y las acciones inmediatas pueden ser automatizadas con el fin de comunicar a la administración

que se requiere analizar datos para identificar la causa raíz de dichos puntos fuera de control.

3) Se concluye que la participación humana es necesaria para analizar las variables externas que estén afectando el precio de las criptomonedas, dependiendo de la variable en cuestión, así sería la acción correctiva que deban tomar los miembros de comité director.

12.6. Creación del fondo de reserva en dinero e interacción humana:

1) Se concluye que es factible la creación del fondo de reserva desde el blockchain mediante un contrato inteligente en las etapas de diseño de la criptomoneda, este asigna un porcentaje del valor de venta y lo deposita en una cuenta bancaria real (dinero fiduciario), esto sería posible antes de ser lanzada y liberada al público, pues una vez en el mercado, no puede cambiarse el contenido del blockchain.

2) Una conclusión importante es que la participación humana es necesaria y evidente para la creación y apertura de una cuenta de dinero real fiduciario en un banco. Así, para la custodia, manejo y administración de este fondo de reserva se concluye firmemente que requiere la participación e intervención humana cumpliendo con las regulaciones gubernamentales y requisitos de las instituciones bancarias [40][64][65].

3) Se concluye que debe existir un control de quien o quienes tienen acceso a las cuentas del fondo de reserva, puesto que las personas que podrán acceder este fondo de reserva deben ser bien escogidas y controladas para evitar fraudes o manipulación indebida.

13. Recomendaciones

- Las recomendaciones que brindamos a continuación tienen como objetivo asegurar la estabilidad monetaria o valor de cualquier criptomoneda estable, estas se basan en nuestra propuesta de control y gobernabilidad que incluye una serie de requisitos que identificamos como necesarios para lograr obtener la estabilidad en el precio que es fundamental para su credibilidad y aceptación por parte de los compradores en el mercado financiero.
- Se recomienda considerar dichos requisitos mencionados anteriormente, debido a que no encontramos evidencia de que alguna criptomoneda los tiene contemplados o al menos no hay constancia de que los tengan.

13.1. Inclusión de un sistema de control y gobernabilidad con participación humana

Esta es una recomendación muy importante fundamentada en las conclusiones mencionadas anteriormente y dadas las situaciones actuales, las criptomonedas presentes y futuras, no pueden estar operando a la libre sin control ni gobernabilidad por parte de personas, ya que demostramos que existen variables externas que las hacen susceptibles a volatilidad [68] y especulación [6], pérdida de valor y credibilidad, pérdida de confianza del usuario y pérdida del objetivo por el cual fueron creadas como medio de pago y activo circulante.

13.2. Diseño e inclusión de plan de contingencia desde el blockchain

Se recomienda que se incluya desde la fase de planeación y diseño [62], este será necesario en caso de que factores externos lleguen a afectar su valor una vez liberada al mercado, proponemos las siguientes opciones que pueden servir como punto de referencia para futuros desarrollos de criptomonedas estables:

Opción 1: Creación del fondo de Capitalización y Reserva

Incluir en el blockchain un contrato inteligente (Smart Contract) desde la fase de diseño para garantizar un fondo de capitalización y respaldo del valor 1:1 [66], en caso de que se requiera aplicar un plan de contingencia de recompra para frenar una caída abrupta del precio ocasionada por factores externos, lo que obligaría al comité director a tomar una decisión de retirar criptomonedas del mercado (reducir la oferta) para que el precio se estabilice y tienda a subir al punto de equilibrio.

Opción 2: Inclusión de un bloque de control

Este se refiere a incluir en el diseño del blockchain “un bloque de control K” con un contrato inteligente con una función especial que podría utilizarse de dos formas distintas para el control del valor de la criptomoneda dependiendo del comportamiento al salir al mercado de valores. En ambos casos, el bloque de control “K” solo puede ser accesado por los administradores autorizados por el Comité Director. Estos dos casos son los siguientes:

Caso 1 - Instrucción de la administración para demorar o detener la creación de más criptomonedas: Esta funcionalidad dentro del blockchain permitiría ralentizar o alargar (demorar) el tiempo del proceso de generación de nuevos tokens. Ello con el fin de evitar que el precio baje utilizando la contingencia para limitar la oferta en el tiempo, ya sea frenando o deteniendo la producción de nuevas criptomonedas, pero cabe señalar que si el precio cae abruptamente debido a “pánico externo”, esta medida es insuficiente y el precio seguirá cayendo sin control.

Caso 2 - Instrucción de la administración para incrementar la generación de nuevas criptomonedas: El Comité Director permitirá la generación rápida de más criptomonedas para lograr suplir la demanda con más oferta. El acceso al bloque de control de generación de nuevos tokens permitirá acelerar la liberación de nuevas criptomonedas en el caso de que el valor esté subiendo por encima de la meta deseada (\$1.00) con el fin de satisfacer la demanda.

Importante aclaración sobre la opción 2: Esta opción es de alto riesgo debido a que las criptomonedas ya están en manos privadas, cualquier manipulación

del blockchain no es permitido, se necesitaría la aprobación explícita y consentida de los poseedores de las criptomonedas para permitir el cambio del blockchain, lo cual representa un alto riesgo con una mínima probabilidad de que se pueda llevar a cabo esta acción sin la autorización de los clientes.

13.3. Incluir un sistema de control estadístico (SPC)

Este servirá para detectar anomalías en el comportamiento del precio de forma automática, permitiendo identificar en tiempo real puntos fuera de control para evitar comportamientos indeseables (bajadas o subidas). Este sistema de monitoreo automatizado permitirá obtener la información en tiempo real de como se está comportando el precio de la criptomoneda en el mercado de valores, con límites de control superior (LCS) e inferior (LCI) pre-establecidos, recomendando que no sean mayores a un 5 % del precio de referencia.

13.3.1. Ejemplos reales de no contar con una herramienta de control y alerta temprana

1. El colapso de FTX, una criptomoneda que se consideraba relativamente “estable” respecto al dolar estadounidense donde su valor creció de \$4.00 USD a \$45.00 USD con un valor de mercado de \$400 millones de dolares americanos a más de \$6000 millones de dolares americanos, y actualmente la empresa se declaró en bancarrota.
2. Otro caso real fue el de la criptomoneda estable Terra-Luna apegada a \$1.00 USD, la cual comenzó a tener puntos fuera de control el 8 de Mayo del 2022 cuando un cliente llamado Anchor retiró \$2500 millones de dolares americanos y su fondo de reserva se debilitó (no era suficiente), luego cundió el pánico entre otros inversionistas y se hicieron retiros grandes los cuales causaron que el 9 de Mayo causaron que el valor se apartara significativamente de \$1.00 a \$0.98 para colapsar irreversiblemente en Mayo 2022.

13.4. Tener un fondo de reserva en moneda fiduciaria para contingencias

En caso de ser necesario para frenar una caída abrupta del precio debida a factores externos, se puede autorizar por parte de la administración el uso de estos fondos para recompra de las criptomonedas en exceso como medida de contingencia para volver al punto de equilibrio y tratar de contener la caída. Esta es una medida de contención similar a las acciones negociadas en bolsas de valores (NASDAQ, Dow Jones, etc.), pues cuando el precio de una acción está bajando, las empresas pueden comprar y retirar una porción de sus acciones para restringir la oferta y hacer que el precio de estas suba su precio.

13.5. Conformación de un Comité Director descentralizado

Se recomienda la creación de un Comité Director (*Board of Directors en inglés*) como máxima autoridad para la administración de la criptomoneda, este es responsable de la toma de decisiones estratégicas y críticas para el funcionamiento de la empresa. Su conformación puede hacerse de varias maneras, a continuación algunas sugerencias:

1. **El comité director:** Las personas postulantes para ser miembros del comité director deben al menos cumplir algunos requisitos básicos como por ejemplo: conocimientos de finanzas, habilidades para leer e interpretar balances de situación perdidas y ganancias, mercados financieros, análisis de flujo de caja, revisiones de auditorías, regulaciones para operar en otros países, entre otros.

Por ello, ante los miles o millones de personas dueñas de las criptomonedas, quienes vayan a ser miembros del comité director debe ser restringido a un grupo de miembros que reúna esas cualidades básicas, puesto que ellos deberán tomar analizar el comportamiento del valor de mercado de la criptomoneda y velar por que se comporte de acuerdo con los límites establecidos desde el diseño en \$1.00 para garantizar su aceptación y confianza a los inversionistas.
2. **La elección de los miembros del comité director:** Se recomienda que cada miembro sea escogido mediante votación democrática entre todos los propietarios

de la criptomoneda, para lograr esto, se propone que los “candidatos” a conformar el comité director sean seleccionados mediante un esquema de votación basado en las siguientes requisitos:

I. Los candidatos deben tener las cualidades básicas mencionadas anteriormente para liderar una empresa comercial, cuyo producto en el mercado son las criptomonedas estables.

II. Los candidatos también pueden ser considerados de acuerdo con el porcentaje de tenencia (cuantas criptomonedas poseen): de mayor a menor cantidad, tomando los cinco primeros candidatos para proponer la elección.

III. Como la criptomoneda opera a nivel internacional, se sugiere que estos candidatos pertenezcan a diferentes regiones geográficas de acuerdo a la siguiente distribución:

Región 1: América → 30 % de miembros con derecho a voto.

Región 2: Europa → 30 % de miembros con derecho a voto.

Región 3: Asia → 30 % de miembros con derecho a voto.

Región 4: África → 5 % de miembros con derecho a voto.

Región 5: Oceanía → 5 % de miembros con derecho a voto.

IV. Una vez escogidos los candidatos, se convoca a elecciones a todos los dueños (poseedores) de la criptomoneda, esto lo hace el sistema automáticamente tomando la última dirección electrónica del correo electrónico o email registrado en el blockchain.

V. Los resultados de la votación electrónica los contabilizará el sistema y los miembros electos para formar parte del comité director serán publicados a todos los dueños de la criptomoneda, garantizando transparencia.

VI. Se recomienda definir un plazo máximo de 1 o 2 años para ocupar estas posiciones como miembros del comité director. Ello con el objetivo de asegurarse de que sea rotativo y grupal para evitar la acumulación de poder en el mismo grupo de personas, evitando así corrupción y favoritismo que pueden dar paso al enriquecimiento ilícito, fraudes o malversación de fondos entre otros.

13.6. Contratación de un equipo administrativo externo

Esta recomendación es una alternativa a explorar en vez del comité director, ello con el fin de evitar la posible manipulación en beneficio de unos pocos (corrupción). Algunas de las recomendaciones para la contratación y operación de este equipo administrativo son las siguientes:

1. Sería pagado por medio del fondo de reserva recomendado anteriormente.
2. Devengará un sueldo fijo, pagado por el comité director
3. Tendrá una clausula de prohibición de compra de criptomonedas que administran.
4. En el caso de que exista la necesidad de utilizar el fondo de reserva para estabilizar el precio, el equipo administrador debe contar con la aprobación del comité director para accesar dichas cuentas bancarias.
5. Y algunas otras políticas internas que decidirá poner en practica el equipo de desarrollo antes del lanzamiento al mercado.

13.7. Ser considerada una criptomoneda estable

Esto es que debe funcionar y ser considerada como tal, por definición popular estas son instrumentos de pago sin soporte físico basadas en un algoritmo matemático, con tecnología de seguridad criptográfica en el blockchain, apegadas al valor de una moneda real como el Dolar Americano, Euro, Libra Esterlina u otra, pues debe diferenciarse de una moneda digital emitida por un banco central (MDBC).

13.7.1. Seguridad criptográfica de ultima generación

Se recomienda la seguridad criptográfica con SHA-3 o la más actualizada al momento de su creación, la continuación del uso de la tecnología blockchain ha demostrado ser robusta para garantizar la seguridad de las transacciones de criptomonedas.

13.7.2. Que requiera tener un valor estable

Este principio es de una alta importancia, pues al ser un producto cuyo valor es estable le brindará confianza a los consumidores y receptores para su aceptación

como medio de pago. Esto aplica tanto a los dueños (tenedores de criptomonedas) como a los receptores que son aquellos locales o actividades comerciales que recibirán las criptomonedas estables en sustitución del dinero físico real.

13.8. El factor humano en el control

Por ultimo defendemos la recomendación de incluir el factor humano dentro del modelo de control con el fin de complementar la toma de decisiones que venia funcionando automáticamente, pero que como hemos explicado, este control no es capaz de reaccionar rápidamente ante las variaciones de los mercados ni a variables externas que solo son perceptibles por los humanos, pues basado en datos reales muchas criptomonedas perdieron su valor hasta en un 90 % desde su inicio, por lo que la problemática continuará de una criptomoneda a otra sin importar el grado de blockchain ni automatización que pongamos.

13.9. Legislación y regulación territorial

Se recomienda continuar realizando investigaciones sobre este tema en conjunto con especialistas jurídicos y economistas, pues este tópico debe ser incluido rápidamente en los futuros estudios, principalmente porque las criptomonedas no respetan fronteras, no existe una regulación ni autoridad sobre estas, debido en parte a la descentralización, y expone en gran medida a los mercados financieros a ser víctimas de posibles estafas. Es por ello que consideramos que nuestra investigación es importante para Costa Rica y Centroamérica en los cuales se ha visto la llegada de criptomonedas para su adquisición como medio de “inversión” y también como medio de pago en algunos casos como sucedió en El Salvador donde se vio afectada su economía debido a la aceptación apresurada del Bitcoin como medio de pago [46]; por lo que los juristas de las naciones deben analizar bien y tomar en cuenta la volatilidad, variabilidad, el respaldo financiero y el anonimato que podría ser utilizado para actos ilícitos [45] como el lavado de dinero, financiación del terrorismo o fuga de capitales que pueden afectar seriamente a países de la región.

14. Trabajo a futuro

1. Un serio problema está formándose, el cual se debe a la poca o nula legislación existente para regular o legitimar las criptomonedas a nivel nacional en Costa Rica [49] y también a nivel mundial [64]. Ello debido a que el uso de estas por medio del internet está creciendo día con día más rápidamente que las leyes para regularlas en los países donde se están comercializando, no respetan fronteras ni leyes[65], por lo que este tema se hace imprescindible para futuros trabajos multidisciplinarios. Consideramos de suma importancia este tema y se recomienda un trabajo de investigación multidisciplinario con expertos de las áreas Ciencias de la Computación, Economía y Jurídicas para estudiar este tema de la Gobernabilidad y Regulación de las Criptomonedas, y su impacto a nivel nacional e internacional [64].
2. Se recomienda proactivamente estudiar la posibilidad de implementación de un “Botón de parada de emergencia” en el mercado de criptomonedas, si se diera un nuevo caso de extrema volatilidad debido a variables externas no controlables por los algoritmos internos de las criptomonedas como los ya comentados anteriormente; los cuales causaron que los precios de las criptomonedas sufrieran una caída fuerte.

Este “Botón de parada de emergencia” ya existe, y fue implementado para todos los mercados de acciones de los Estados Unidos de America, llamándose “Interruptor de circuito de todo el mercado” ó “Market-wide circuit breakers”, el cual fue desarrollado por el SEC para evitar que se repitan los efectos desastrosos de la caída de los mercados [47], este ha sido objeto de estudios para validar si realmente calma el pánico en los mercados como lo mencionan X. Li y W. Yao [48] en su estudio titulado “¿Do Market-Wide Circuit Breakers Calm the Markets or Panic Them?”, Jun 2023, este botón de emergencia contiene límites de control estadístico para reaccionar en el caso de una caída abrupta de los precios de las acciones en el mercado. Estos límites de control en el caso de que el índice S&P 500 cae en un porcentaje se mencionan a continuación:

- a) 7 % $\rightarrow$ Nivel 1 (L1)
- b) 13 % $\rightarrow$ Nivel 2 (L2)

c) 20 % $\rightarrow$ Nivel 3 (L3)

Dicho “botón de pánico” ha sido activado en diversas fechas y contiene distintos niveles L1, L2 y L3 con un tiempo de paro de las transacciones definido para cada nivel⁶⁴, su activación obedece en el caso de que se presente una bajada abrupta por pánico y evitar que el precio siga cayendo, esto le da la oportunidad a los inversores y los mercados de evaluar la información y las posiciones cuando estén en una situación similar.

3. Otra oportunidad de trabajo a futuro es el factor humano en el control financiero de las criptomonedas, para ello se ocupará la ayuda de especialistas en el comportamiento humano en las áreas de psicología, sociología, economía y recursos humanos; con el objetivo de estudiar y tomar en cuenta el problema de la corrupción en las personas para elaborar o aplicar algún mecanismo que ayude a evitar la corrupción en la administración de la criptomoneda.
4. Si los desarrolladores escogen una administración externa en vez de un comité director, se recomienda diseñar un método de pago basado en recompensa para mantener el valor estable, la generación de fondos para el pago de salarios se define desde un contrato inteligente dentro del blockchain que deposite en alguna cuenta matriculada, ello para evitar manipulación de dineros externamente.
5. Una oportunidad de trabajo a futuro está en el estudio de los desafíos de las criptomonedas estables para ser aceptadas como moneda legal⁶⁵.
6. Otro tema bastante amplio para trabajo a futuro son los desafíos de la inteligencia artificial para estabilizar⁶⁵ las criptomonedas estables.

⁶⁴Securities and Exchange Commission <https://www.sec.gov/rules/sro/bats/2012/34-67090.pdf>

⁶⁵Por lo amplio y complejo del tema, se recomienda un trabajo multidisciplinario con profesionales de distintas áreas (leyes, economistas, matemáticos, estadísticos, psicólogos, ciencias de la computación y otros a identificar durante el progreso de la investigación)

15. Referencias

- [1] Eswar S. Prasad. Article: “A new era for money”, International Monetary Fund. Finance & Development Magazine, Sept 2022.
- [2] Kerr, David S., Karen A. Loveland, Katherine Taken Smith, and Lawrence Murphy Smith. “Cryptocurrency Risks, Fraud Cases, and Financial Performance.”,MDPI Open Access Journals, Risks 11: 51, 2023.
- [3] Paul Krugman. Artículo: “Las criptomonedas se han convertido en una estafa piramidal posmoderna”, Business Insider, España, Jul 2022. Accesado: Mayo 2023
- [4] Department of the Treasury, U.S.A. “Report on stablecoins”, Nov 2021, President’s Working Group on Financial Markets, joined by the Federal Deposit Insurance Corporation (FDIC) and the Office of the Comptroller of the Currency (OCC)
- [5] M. Hafner, M. Henriques, H. Dietl, J. Beccuti. “The four types of stablecoins: A comparative analysis”. Aug. 14, 2023 , Cornell University, General Economics (econ.GN) Report number: arXiv:2308.07041 ChainScience/2023/6.
- [6] G. Liao, J. Caramichael. “Stablecoins: Growth Potential and Impact on Banking”. International Finance Discussion Papers, 1334. Washington: Board of Governors of the Federal Reserve System, 2022
- [7] C. Ostrowski, O. Caudevilla. “Stablecoins: An Introduction and Recommendations for the European Union”, Digital Euro Association, Private Digital Euro Working Group, August 2022.
- [8] Douglas Montgomery. “Control estadístico de la calidad”. 3ra edición, Editorial Limusa, Mexico, 2005.
- [9] H. Gutierrez, R. de la Vara. “Control estadístico de la Calidad y Seis Sigma.”, 2da Edición, McGRAW-HILL, 2009.
- [10] Dr. Primitivo Reyes Aguilar. “Control estadístico del proceso”, Con base en el texto de Control Estadístico de la Calidad de Douglas Montogomery. Mexico, Diciembre 2008.
- [11] Jaime Rodriguez. “Seis Señales de un proceso fuera de Control”, May 20, SPC Consulting Group, Mexico, 2019.

- [12] Plexus Internacional. “¿Qué es el Control Estadístico del Proceso? (SPC)”. Mexico, Oct.2023, Fuente: <https://plexusintl.com/mx/blog/que-es-spc/>. Accedido 6-Oct-2023
- [13] Rodrigo González González y Jorge Jimeno Bernal. “Diagramas de control: Gráficos para controlar procesos”. Artículo para PDCA. 2012
- [14] Felix C. Veroya. “Introduction to Statistical Process Control”. 1st edition. 2014. bookboon.com. ISBN 978-87-403-0789-4
- [15] National Institute of Mental Health, USA. “Trastorno de pánico: Cuando el miedo agobia”. Publicación de NIH Núm. 22-MH-8077S. Rev. 2022
- [16] William F. Sharper. “Capital Asset Prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk”. The Journal of Finance, Volume 19, Issue 3, Sep 1964, Pages i-viii, 425-606, ix-xxiii, 1964 the American Finance Association
- [17] Sansores Guerrero, Édgar., (2008), “El modelo de valuación de activos de capital aplicado a mercados financieros emergentes. El caso de México 1997-2006.”, Contaduría y Administración, Mexico, Vol., núm.226, pp.93-111.Consultado: 15 de enero de 2024. ISSN: 0186-1042.
- [18] Makoto Yano et al.(eds). “Blockchain and Crypto Currency”, Economics, Law, and Institutions in Asia Pacific, Tokyo, Japan, Springer Open, 2020, ISSN2199-8639.
- [19] Ayten Kahya, et al.(eds). “Reducing the Volatility of Cryptocurrencies. A Survey of Stablecoins”, Eviterbi School of Engineering. University of Southern California. Papers 2103.01340, arXiv.org. 2021.
- [20] Siddhartha Das Gupta, et al.(eds). “Forecasting Cryptocurrency Prices using Sequential and Time Series Model”. ICIMMI '22: Proceedings of the 4th International Conference on Information Management & Machine Intelligence. December 2022.Article No.: 91.Pages 1–6.
- [21] Haruna Umar Yahaya. et al.(eds). “Modeling and Forecasting Cryptocurrency Returns and Volatility: An Application of GARCH Models”. Universal Journal of Finance and Economics, 2022, 2, 497.

- [22] Coinmarket.com. “Top Stablecoins by market capitalización”. Mayo 2023,
Fuente: <https://coinmarketcap.com/view/stablecoin/> Accesado 30-May-2023
- [23] Coindesk.com, “Tether: Variabilidad de precios en 24 horas”. Octubre 2023,
Fuente: <https://www.coindesk.com/price/tether/>. Accesado 5-Oct-2023
- [24] Coindesk.com, “Binance USD: Variabilidad de precios en 24 horas”. Octubre 2023,
Fuente: <https://www.coindesk.com/price/binance-usd/> Accesado 5-Oct-2023
- [25] Coindesk.com, “USD Coin: Variabilidad de precios en 24 horas”. Octubre 2023,
Fuente: <https://www.coindesk.com/price/usd-coin/> Accesado 5-Oct-2023
- [26] Coindesk.com, “DAI: Variabilidad de precios en 24 horas”. Octubre 2023,
Fuente: <https://www.coindesk.com/price/dai/> Accesado 5-Oct-2023
- [27] Hayes, Adam. “What Factors Give Cryptocurrencies Their Value: An Empirical Analysis”. Dept. of Economics. The New School for Social Research New York, NY. 2015.
- [28] Yhlas Sovbetov. “Factors Influencing Cryptocurrency Prices: Evidence from Bitcoin, Ethereum, Dash, Litecoin, and Monero”. Journal of Economics and Financial Analysis. 2(2). 1-27. Feb17,2018.
- [29] N. Gormsen, et al. “Coronavirus: Impact on Stock Prices and Growth Expectations”, August 3, 2020. University of Chicago, Becker Friedman Institute for Economics, Working Paper No. 2020-22
- [30] D. Almeida et al. “Impact of the COVID-19 Pandemic on Cryptocurrency Markets: A DCCA Analysis.”, Article at Financial Technology and Innovation Sustainable Development, FinTech 2023, 2, 294–310. Accesado Octubre 2023.
- [31] S. Corbet,H. Yang et al. “Any port in a storm: Cryptocurrency safe-havens during the COVID-19 pandemic”. National Library of Medicine, USA. 2020. PMID: 32834235. Accesado Setiembre 2023.

- [32] Catalini, C., et al. “Some Simple Economics of Stablecoins”. The Annual Review of Financial Economics. Vol. 14:117-135 (Volume publication date November 2022). Accessed Agosto 2023.
- [33] Polizu, A. et al. “Stablecoins: A Deep Dive into Valuation and Depegging.” Article at S&P Global. September 2023. Accessed Oct. 2023.
- [34] Parma, B. et al. “Regulating the Crypto Ecosystem: The Case of Stablecoins and Arrangements.” Paper: FMI Fintech, Note 2022/008, International Monetary Fund, Washington, DC. ISBN:979-8-40022-167-5. Accessed Jun 2023.
- [35] Badev, Anton, and Cy Watsky. “Interconnected DeFi: Ripple Effects from the Terra Collapse.” Finance and Economics Discussion. Series 2023-044. Washington: Board of Governors of the Federal Reserve. Accessed Feb 2024.
- [36] Foldy, Ben, et al. “The Unusual Crew Behind Tether, Crypto’s Pre-Eminent Stablecoin.” Article de Wall Street Journal, Feb. 2, 2023. Accessed Jul 2023.
- [37] Mell P, Yaga D. “Understanding Stablecoin Technology and Related Security Considerations”. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, NIST Interagency or Internal Report (IR) NIST IR 8408. Sept 2023. Accessed Oct. 2023.
- [38] John S. Oakland, John S. “Statistical Process Control”. Fifth Edition. MPG Books Limited, Bodmin, Cornwall, England. Chapter 10. 2003. ISBN 0-7506-5766-9
- [39] Jiju Antony, Mehmet Tolga Taner. “A conceptual framework for the effective implementation of statistical process control.” Article Business Process Management Journal. August 2003. Accessed Oct 2023
- [40] U.S. Treasury, “Financial Crimes Enforcement Network-Final Rules.”, Federal Register/Vol. 81, No. 91. 2016. Accessed Feb 2024.
- [41] Mankiw, N. Gregory. “Principios de economía.”, Harvard University. Sexta edición. 2012. ISBN-13: 978-607-481-829-1
- [42] Christian Grillon et al. “Distinct responses to predictable and unpredictable threat in anxiety pathologies: effect of panic attack”. Published in Biological Psychiatry: Cogni-

tive Neuroscience and Neuroimaging Volume 2, Issue 7, October 2017, Pages 575-581. 2017. Accesado Agosto 2023.

- [43] Marbel Carrillo Castillo. “Proyecto de Ley 23415 Mercado de Criptoactivos por diputada Johana Obando.”, PLP 2022. Asamblea Legislativa de Costa Rica. Departamento de Participación Ciudadana. Accesado Set 2023.
- [44] Auer, R. & Claessens, S. “Regulating cryptocurrencies: assessing market reactions”. Bank for International Settlements. Quarterly Review Sept.2018. Accesado Oct 2023.
- [45] TRM Labs. “Illicit Crypto Ecosystem Report”. A Comprehensive Guide to Illicit Finance Risks in Crypto June 2023. Accesado Oct 2023. Fuente: <https://www.trmlabs.com/report>
- [46] Alfaro, Laura et al. “El Salvador: Launching Bitcoin as Legal Tender.”, Harvard Business School. Case 322-055, March 2022. Accesado Feb 2024
- [47] U.S. Securities and Exchange Commission. “Stock Market circuit breakers.”, Investor document glossary. Accesado Febrero 2024.
- [48] Li, Xiaoyang and Yao, Wenying. “¿Do Market-Wide Circuit Breakers Calm the Markets or Panic Them?”, Posted: 24 Jul 2020 Last revised: 9 Sep 2021 Jun 29,2023. Accesado Febrero 2024.
- [49] G20 Financial Stability Board. “Regulation, Supervision and Oversight of Global Stablecoin arrangements”. Final Report and High-Level Recommendations. Oct 2020. Accesado Noviembre 2023.
- [50] Jing Chen, Silvio Micali. “Algorand”. Cornell University, Cryptography and Security, Paper, 2017. Accesado Octubre 2023.
- [51] Conti, Mauro. et al. “Blockchain Trilemma Solver Algorand has Dilemma over Undecidable Messages.” ARES '19: 14th International Conference on Availability, Reliability and Security Canterbury CA United Kingdom, August 26 - 29, 2019. Accesado Oct 2023.

- [52] Arian Klages-Mundt, et al. “Stablecoins 2.0: Economic Foundations and Risk-based Models”. AFT '20: 2nd ACM Conference on Advances in Financial Technologies New York NY USA October 21 - 23, 2020. Accesado Abril 2024
- [53] Graeber, David. “Debt: The first 5000 years”. Melville House Publishing, 2012. ISBN: 978-1-933633-86-2.
- [54] Mundhe, Eknath et al. “Ten Principles of Economics.”, International Journal of Multifaceted and multilingual studies, Volume-III, Issue-IX, ISSN (Online): 2350-0476. Sept 2016. Accesado Enero 2024.
- [55] Banco de España. “El dinero en efectivo”. Áreas de actuación, Billetes y monedas. Fuente: <https://www.bde.es/wbe/es/areas-actuacion/>. Accesado Marzo 2023
- [56] Tether Limited. “Tether: Fiat currencies on the Bitcoin blockchain”. Whitepaper. Disponible en <https://tether.to/es/whitepaper>. Accesado Marzo 2023
- [57] Binance Holdings Ltd. “Binance”. Project information. Fuente: <https://www.binance.com/en/research/projects/binance-usd>. Accesado Marzo 2023
- [58] Circle Team “USD-Coin”. Official site. May 2018. Fuente: <http://centre.io>. Accesado Abril 2023
- [59] MakerDAO. “The Maker Protocol: MakerDAO’s Multi-Collateral Dai (MCD) System”. Fuente: <https://makerdao.com/en/whitepaper/>. Accesado Abril 2023
- [60] Kun Duan, Andrew Urquhart “The instability of stablecoins”. Finance Research Letters journal, Volume 52, March 2023, 103573. Accesado Agosto 2023.
- [61] Cy Watsky, et al. “Primary and Secondary Markets for Stablecoins”. Federal Reserve System of US. Economic Research, FEDS Note, Feb 2024. Accesado Marzo 2024.
- [62] Arian Klages-Mundt, et al. “(In)Stability for the Blockchain: Deleveraging Spirals and Stablecoin Attacks.” Cryptoeconomic Systems, Vol 1 Issue 2, Oct 2022. Accesado Abril 2024.
- [63] Murialdo, Maxwell, et al. “Can a Stablecoin Be Collateralized by a Fully Decentralized, Physical Asset?” Cryptoeconomic Systems • Volume 2, Issue 1, Oct 2022. Accesado Mayo 2024.

- [64] European Central Bank. “Stablecoins: Implications for monetary policy, financial stability, market infrastructure and payments, and banking supervision in the euro area.” Occasional Paper Series. Number 247, September 2020. Accesado Octubre 2023.
- [65] Auer, Raphael. “Embedded supervision: how to build regulation into decentralised finance.” Bank for International Settlements. BIS Working Papers No 811 . September 2019. Accesado Octubre 2023.
- [66] Pernice, Ingolf et al. “Monetary Stabilization in Cryptocurrencies—Design Approaches and Open Questions.” 2019 Crypto Valley Conference on Blockchain Technology (CVCBT). Accesado Febrero 2023.
- [67] Grobys, Klaus et al. “On the stability of stablecoins.” *Journal of Empirical Finance*, Volume 64, December 2021, Pages 207-223. Accesado Abril 2024.
- [68] Zhao, Wenqi et al. “Understand Volatility of Algorithmic Stablecoin: Modeling, Verification and Empirical Analysis.” Huobi Research, Hainan, China, January 2021, Accesado Abril 2023.
- [69] Makiko, Mita et al. “What is Stablecoin?: A Survey on Its Mechanism and Potential as Decentralized Payment Systems.” *IIAI International Journal Series International Institute of Applied Informatics* 2015, Vol. 1, No. 1, 48 – 63, Accesado Abril 2023.
- [70] Hoang, Lai T. and Baur, Dirk G., How Stable Are Stablecoins? (January 31, 2020). *The European Journal of Finance* (forthcoming). June 15, 2021. Accesado Mayo 2024
- [71] Clements, Dr. Ryan. “Built to Fail: The Inherent Fragility of Algorithmic Stablecoins”. Article at Wake Forest Law Review Association, October 2021. Accesado Mayo 2024
- [72] M. Iwamura, Y. Kitamura, et al. “Can we stabilize the price of a cryptocurrency?: Understanding the design of bitcoin and its potential to compete with central bank money”. *Hitotsubashi Journal of Economics* Vol.60 (1).2019.

Apéndices

A. Datos de precios últimas 24 horas de Tether, USD-Coin, Binance-USD, DAI. Fecha: 26-Febrero-2024

Los siguientes cuadros 4, 5, 6 y 7 contienen los datos de los precios de las criptomonedas Tether, USD-Coin, Binance-USD, DAI extraídos en un periodo de 24 horas (144 muestras cada 10 minutos que permite el API)

A.1. Tabla 1 de 4 con datos de precios

A.2. Tabla 2 de 4 con datos de precios

A.3. Tabla 3 de 4 con datos de precios

A.4. Tabla 4 de 4 con datos de precios

Cuadro 4: Tabla 1 de 4 con datos de precios últimas 24 horas de las criptomonedas

Fuente Coingecko.com del 26-febrero-2024						
Dia	Hora	tether	usd-coin	binance-usd	dai	OOC
2024-02-25	23:52:51	0.9998	1.0007	1.0051	1.0005	SI
2024-02-26	08:22:51	0.9998	1.0000	1.0008	0.9978	NO
2024-02-26	08:12:51	0.9998	0.9998	1.0007	0.9983	NO
2024-02-26	08:02:51	1.0000	1.0005	1.0023	0.9996	NO
2024-02-26	07:52:51	1.0004	1.0022	1.0023	0.9986	NO
2024-02-26	07:42:51	0.9995	0.9993	1.0077	0.9977	SI
2024-02-26	07:32:51	0.9991	1.0003	1.0017	0.9991	NO
2024-02-26	08:32:51	0.9999	0.9999	1.0009	0.9983	NO
2024-02-26	07:22:51	1.0001	0.9999	1.0023	0.9990	NO
2024-02-26	07:02:51	1.0002	0.9993	1.0039	0.9988	NO
2024-02-26	06:52:51	0.9995	0.9993	1.0015	0.9990	NO
2024-02-26	06:42:51	0.9994	1.0000	1.0015	0.9983	NO
2024-02-26	06:32:51	1.0003	1.0006	1.0025	0.9994	NO
2024-02-26	06:22:51	1.0012	0.9959	1.0042	0.9981	NO
2024-02-26	06:12:51	0.9976	1.0008	0.9975	0.9992	NO
2024-02-26	07:12:51	0.9999	1.0001	1.0026	0.9993	NO
2024-02-26	06:02:51	1.0006	1.0006	1.0041	0.9989	NO
2024-02-26	08:42:51	1.0002	1.0002	1.0013	0.9984	NO
2024-02-26	09:02:51	0.9997	1.0000	1.0004	0.9984	NO
2024-02-26	11:22:51	0.9999	1.0008	1.0024	0.9999	NO
2024-02-26	11:12:51	1.0005	0.9994	1.0037	0.9989	NO
2024-02-26	11:02:51	0.9994	0.9993	1.0017	0.9989	NO
2024-02-26	10:52:51	0.9997	0.9984	1.0017	0.9992	NO
2024-02-26	10:42:51	0.9997	0.9999	1.0009	0.9996	NO
2024-02-26	10:32:51	0.9996	0.9985	1.0028	0.9980	NO
2024-02-26	08:52:51	0.9996	1.0005	1.0014	0.9986	NO
2024-02-26	10:22:51	0.9995	1.0006	1.0015	0.9992	NO
2024-02-26	10:02:51	0.9999	0.9999	1.0027	0.9994	NO
2024-02-26	09:52:51	0.9999	1.0005	1.0029	0.9995	NO
2024-02-26	09:42:51	1.0001	1.0000	1.0038	0.9991	NO
2024-02-26	09:32:51	0.9998	1.0002	1.0032	0.9992	NO
2024-02-26	09:22:51	0.9995	0.9998	1.0036	0.9983	NO
2024-02-26	09:12:51	0.9996	1.0000	1.0012	0.9986	NO
2024-02-26	10:12:51	1.0004	1.0001	1.0032	0.9996	NO
2024-02-26	11:32:51	1.0003	1.0001	1.0022	0.9996	NO
2024-02-26	05:52:51	1.0005	1.0007	1.0028	1.0005	NO

Cuadro 5: Tabla 2 de 4 con datos de precios últimas 24 horas de las criptomonedas

Fuente Coingecko.com del 26-febrero-2024						
Dia	Hora	tether	usd-coin	binance-usd	dai	OOC
2024-02-26	05:32:51	0.9996	1.0000	1.0022	0.9984	NO
2024-02-26	02:22:51	0.9991	0.9991	1.0011	0.9997	NO
2024-02-26	02:12:51	0.9995	1.0012	1.0013	1.0003	NO
2024-02-26	02:02:51	0.9999	1.0001	1.0036	1.0003	NO
2024-02-26	01:52:51	1.0002	0.9999	1.0022	0.9999	NO
2024-02-26	01:42:51	0.9999	1.0003	1.0018	1.0005	NO
2024-02-26	01:32:51	0.9998	0.9988	1.0026	0.9999	NO
2024-02-26	02:32:51	1.0001	0.9992	1.0028	0.9993	NO
2024-02-26	01:22:51	0.9995	0.9997	1.0017	0.9998	NO
2024-02-26	01:02:51	0.9994	1.0000	1.0006	0.9992	NO
2024-02-26	00:52:51	0.9995	0.9999	1.0025	0.9986	NO
2024-02-26	00:42:51	0.9999	1.0006	1.0026	0.9991	NO
2024-02-26	00:32:51	0.9998	0.9991	1.0059	0.9964	SI
2024-02-26	00:22:51	0.9997	1.0006	1.0012	0.9994	NO
2024-02-26	00:12:51	1.0007	1.0020	1.0038	1.0018	NO
2024-02-26	01:12:51	0.9997	0.9992	1.0036	0.9988	NO
2024-02-26	05:42:51	1.0005	1.0005	1.0027	0.9984	NO
2024-02-26	02:42:51	1.0000	1.0001	1.0009	0.9994	NO
2024-02-26	03:02:51	1.0001	0.9987	1.0030	0.9984	NO
2024-02-26	05:22:51	1.0005	0.9989	1.0021	0.9985	NO
2024-02-26	05:12:51	0.9999	1.0003	1.0000	0.9995	NO
2024-02-26	05:02:51	0.9999	0.9999	1.0017	0.9993	NO
2024-02-26	04:52:51	1.0000	0.9998	1.0015	0.9995	NO
2024-02-26	04:42:51	0.9999	1.0005	1.0028	0.9992	NO
2024-02-26	04:32:51	1.0004	0.9998	1.0024	0.9992	NO
2024-02-26	02:52:51	0.9983	0.9994	1.0003	1.0007	NO
2024-02-26	04:22:51	0.9996	1.0005	1.0020	0.9990	NO
2024-02-26	04:02:51	0.9996	1.0004	1.0028	0.9997	NO
2024-02-26	03:52:51	1.0000	1.0003	1.0025	0.9995	NO
2024-02-26	03:42:51	0.9999	1.0003	1.0034	0.9998	NO
2024-02-26	03:32:51	1.0002	0.9998	1.0031	0.9997	NO
2024-02-26	03:22:51	0.9999	0.9994	1.0025	0.9999	NO
2024-02-26	03:12:51	0.9993	1.0009	1.0009	1.0014	NO
2024-02-26	04:12:51	0.9998	1.0000	1.0021	0.9987	NO
2024-02-26	11:42:51	0.9996	0.9992	1.0017	1.0000	NO
2024-02-26	23:42:51	1.0020	1.0000	1.0006	0.9997	NO

Cuadro 6: Tabla 3 de 4 con datos de precios últimas 24 horas de las criptomonedas

Fuente Coingecko.com del 26-febrero-2024						
Dia	Hora	tether	usd-coin	binance-usd	dai	OOC
2024-02-26	12:02:51	0.9989	1.0020	1.0001	1.0008	NO
2024-02-26	20:32:51	1.0001	1.0014	0.9999	0.9985	NO
2024-02-26	20:22:51	1.0012	0.9993	1.0027	0.9985	NO
2024-02-26	20:12:51	0.9995	0.9984	0.9992	0.9983	NO
2024-02-26	20:02:51	0.9980	1.0013	0.9993	1.0017	NO
2024-02-26	19:52:51	1.0027	1.0008	1.0046	0.9983	NO
2024-02-26	19:42:51	1.0011	0.9998	1.0032	0.9994	NO
2024-02-26	20:42:51	1.0002	1.0001	1.0013	0.9992	NO
2024-02-26	19:32:51	0.9998	1.0009	1.0020	0.9997	NO
2024-02-26	19:12:51	0.9985	1.0005	0.9998	1.0005	NO
2024-02-26	19:02:51	1.0005	1.0015	1.0045	1.0009	NO
2024-02-26	18:52:51	1.0015	1.0009	1.0053	1.0004	SI
2024-02-26	18:42:51	1.0011	0.9986	1.0033	0.9996	NO
2024-02-26	18:32:51	1.0004	0.9999	1.0031	1.0001	NO
2024-02-26	18:22:51	0.9999	1.0000	1.0022	0.9994	NO
2024-02-26	19:22:51	1.0004	0.9983	1.0044	0.9980	NO
2024-02-26	18:12:51	0.9996	0.9996	0.9997	1.0002	NO
2024-02-26	20:52:51	1.0009	0.9999	1.0015	0.9997	NO
2024-02-26	21:12:51	0.9999	0.9967	1.0014	0.9963	NO
2024-02-26	23:32:51	1.0001	1.0000	1.0015	1.0011	NO
2024-02-26	23:22:51	1.0002	0.9984	1.0016	0.9993	NO
2024-02-26	23:12:51	0.9996	1.0003	0.9991	1.0003	NO
2024-02-26	23:02:51	1.0002	0.9998	0.9998	1.0006	NO
2024-02-26	22:52:51	1.0005	1.0002	1.0003	1.0002	NO
2024-02-26	22:42:51	1.0005	1.0002	1.0007	1.0002	NO
2024-02-26	21:02:51	0.9972	0.9991	0.9993	1.0005	NO
2024-02-26	22:32:51	1.0003	0.9997	0.9985	1.0004	NO
2024-02-26	22:12:51	0.9993	0.9996	1.0016	0.9990	NO
2024-02-26	22:02:51	0.9998	0.9998	1.0004	1.0000	NO
2024-02-26	21:52:51	1.0001	1.0001	1.0016	0.9990	NO
2024-02-26	21:42:51	0.9996	1.0006	1.0004	0.9998	NO
2024-02-26	21:32:51	1.0004	0.9990	0.9997	0.9995	NO
2024-02-26	21:22:51	0.9993	1.0000	0.9956	0.9993	NO
2024-02-26	22:22:51	1.0004	0.9998	0.9998	0.9989	NO
2024-02-26	18:02:51	1.0004	0.9993	1.0005	0.9997	NO
2024-02-26	17:52:51	1.0002	0.9988	1.0003	0.9967	NO

Cuadro 7: Tabla 4 de 4 con datos de precios últimas 24 horas de las criptomonedas

Fuente Coingecko.com del 26-febrero-2024						
Dia	Hora	tether	usd-coin	binance-usd	dai	OOC
2024-02-26	17:42:51	0.9994	1.0004	1.0008	1.0000	NO
2024-02-26	14:22:51	0.9988	0.9962	1.0027	0.9969	NO
2024-02-26	14:12:51	0.9973	1.0003	0.9984	0.9996	NO
2024-02-26	14:02:51	0.9998	0.9996	1.0035	0.9994	NO
2024-02-26	13:52:51	0.9994	0.9991	1.0017	0.9996	NO
2024-02-26	13:42:51	0.9990	1.0001	1.0016	1.0004	NO
2024-02-26	13:32:51	0.9998	0.9979	1.0035	0.9986	NO
2024-02-26	14:32:51	1.0001	0.9990	1.0058	0.9987	SI
2024-02-26	13:22:51	0.9982	1.0000	1.0010	0.9991	NO
2024-02-26	13:02:51	0.9991	1.0002	1.0027	0.9997	NO
2024-02-26	12:52:51	1.0001	0.9998	1.0046	0.9995	NO
2024-02-26	12:42:51	0.9998	1.0000	1.0034	0.9995	NO
2024-02-26	12:32:51	0.9996	1.0004	1.0009	1.0004	NO
2024-02-26	12:22:51	1.0000	0.9998	1.0029	1.0000	NO
2024-02-26	12:12:51	1.0008	0.9987	1.0022	0.9999	NO
2024-02-26	13:12:51	0.9995	0.9988	1.0054	0.9993	SI
2024-02-26	14:42:51	0.9997	1.0014	1.0039	1.0009	NO
2024-02-26	14:52:51	1.0001	1.0006	1.0029	0.9995	NO
2024-02-26	15:02:51	0.9999	1.0009	1.0037	1.0010	NO
2024-02-26	17:32:51	0.9997	0.9990	1.0013	0.9992	NO
2024-02-26	17:22:51	0.9990	1.0009	1.0024	1.0002	NO
2024-02-26	17:12:51	1.0004	0.9998	1.0059	0.9999	SI
2024-02-26	17:02:51	1.0000	0.9985	1.0049	0.9988	NO
2024-02-26	16:52:51	0.9994	0.9996	1.0025	1.0004	NO
2024-02-26	16:42:51	0.9996	1.0005	1.0038	1.0003	NO
2024-02-26	16:32:51	0.9999	1.0018	1.0031	1.0003	NO
2024-02-26	16:22:51	1.0007	1.0025	1.0041	0.9991	NO
2024-02-26	16:12:51	0.9994	1.0007	1.0065	0.9991	SI
2024-02-26	16:02:51	0.9993	0.9998	1.0022	0.9997	NO
2024-02-26	15:52:51	0.9992	1.0004	1.0026	1.0002	NO
2024-02-26	15:42:51	1.0002	1.0007	1.0029	1.0008	NO
2024-02-26	15:32:51	1.0011	0.9994	1.0018	0.9996	NO
2024-02-26	15:22:51	0.9990	1.0013	1.0030	1.0012	NO
2024-02-26	15:12:51	1.0012	1.0002	1.0022	0.9997	NO
2024-02-26	00:02:51	1.0020	1.0009	1.0102	0.9992	SI
2024-02-26	11:52:51	1.0006	1.0000	1.0039	0.9997	NO

B. Mecanismos de consenso en criptomonedas

- Para el manejo y creación de nuevos bloques en el blockchain dentro de las criptomonedas se han propuesto diferentes mecanismos de consenso para hacer que sean más democráticos, eficientes y escalables, algunos de ellos son los siguientes [50]:
 - 1) Prueba de Trabajo (PoW) *Proof of Work*
 - 2) Prueba de Participación (PoS) *Proof of Stake*
 - 3) Prueba de grabación (PoB) *Proof of Burn*
 - 4) Prueba de tiempo transcurrido (PoET) *Proof of Elapsed Time*
- Estas soluciones tienen una serie de limitaciones entre las que se encuentran requerimientos enormes de cantidad de potencia computacional, se escalan mal y se desperdicia mucha energía eléctrica.
- Recientemente se ha propuesto un protocolo innovador llamado Algorand para superar estas limitaciones, este no sólo garantiza una abrumadora probabilidad de linealidad de la cadena de bloques, sino que también pretende resolver el “trilema de la cadena de bloques” de descentralización, escalabilidad y seguridad.
- A continuación se describen los algoritmos más populares utilizados en blockchain como lo son Prueba de Trabajo (PoW) y Prueba de Participación (PoS), así como el más nuevo Algorand [64].

B.1. Prueba de Trabajo - PoW (Proof of Work)

Explicamos brevemente los algoritmos utilizados en el blockchain para generar nuevos tokens o criptomonedas.

1. Este es el algoritmo de consenso más conocido y antiguo que consiste en que las partes de una red realizan con éxito un trabajo computacionalmente costoso para acceder a los recursos de dicha red [18].
2. Funciona bajo el concepto de requerir un trabajo al cliente, que luego es verificado por la red. Normalmente el trabajo solicitado, consiste en realizar complejas operaciones de

cómputo y que es verificado fácilmente en la parte del servidor. Normalmente el trabajo consiste en realizar un cómputo en el computador del cliente.

3. La característica clave de la estrategia es su asimetría: el trabajo debe ser algo difícil (pero factible) para el cliente, pero fácil de verificar por el servidor.
4. Un ejemplo fácil de entender es el famoso “captcha” que se pone cuando se quiere hacer un acceso en una pagina web, la cual le pone un reto al visitante para resolverlo, si logra resolverlo tendrá acceso al servicio.
5. Creación de nuevos bloques:
 - a) Usando el protocolo de Proof of Work, con cada nuevo bloque creado se deberá resolver un acertijo matemático que solo puede ser resuelto mediante prueba y error.
 - b) Estos acertijos son resueltos por los mineros, haciendo millones de intentos. Resolver el acertijo dará como resultado la creación del bloque, la confirmación de las transacciones involucradas en ese bloque y la generación de nuevos bitcoins que recibirá el minero como recompensa junto a las comisiones implícitas en cada una de las transacciones.
 - c) El problema matemático consiste en encontrar los parámetros que den un determinado resultado. Lo especial de ese resultado es que es un hash, por lo que es imposible obtener los parámetros iniciales desde el hash, únicamente pueden ser generados mediante prueba y error.
6. La principal razón de la creación de los protocolos PoW fue la de evitar la denegación de servicios. Una tarea que cumplen a la perfección y que han mejorado mucho los actuales esquemas del protocolo.

B.2. Prueba de Participación - PoS (Proof of Stake):

1. Este es un protocolo de consenso creado para reemplazar al conocido “Proof of Work” aportando una mejor seguridad y escalabilidad a las redes que lo implementen, es uno de los dos protocolos de consenso más utilizados en la tecnología blockchain [18].
2. Su funcionamiento a diferencia del protocolo de prueba de trabajo (PoW) es que a los nodos que utiliza este protocolo de participación se les llama validadores. La decisión

sobre cual nodo valida un bloque se hace de modo aleatorio, otorgando una mayor probabilidad a aquellos que cumplan ciertos criterios, entre estos la cantidad reservada de moneda, el tiempo de participación en la red y algunos otros. Una vez escogidos estos participantes se comienza el proceso para seleccionar los nodos aleatoriamente, luego los nodos seleccionados podrán comenzar con la validación de las transacciones o participar en la creación de nuevos bloques [18].

3. Esto demuestra que utiliza un proceso completamente distinto al conocido protocolo de Prueba de Trabajo (PoW). Donde cada uno de sus nodos realizan un arduo trabajo de cómputo para resolver acertijos criptográficos.
4. A diferencia del protocolo de Prueba de Trabajo (PoW), el cual utiliza grandes cantidades de energía y equipo especializado para realizar sus operaciones, este algoritmo es mucho más simple y económico en términos de consumo energético. Por este motivo, muchos proyectos blockchain se interesan por este nuevo protocolo.

B.3. Algorand (“*Algorithmic Randomness*”):

La definición de Algorand viene del uso de la aleatoriedad algorítmica para seleccionar un conjunto de verificadores que están a cargo de construir el siguiente bloque de transacciones válidas con base en el libro de contabilidad construido hasta el momento [50]. Asegurándose de que esas selecciones sean demostrablemente inmunes a manipulaciones e impredecibles hasta el último minuto, pero también de que, en última instancia, sean universales.

1. Supuestos y limitaciones en Algorand:

El desarrollo de Algorand radica en los supuestos subyacentes y los problemas técnicos que comparten la mayoría de cadenas de bloques basadas en el algoritmo de Prueba de Trabajo (PoW), entre estos se incluyen los siguientes [50]:

Supuesto: La mayoría de los nodos que contribuyen a la potencia informática de la red serán honestos.

Problema técnico 1: Desperdicio de potencia computacional y energía eléctrica.

Problema técnico 2: Concentración de poder, es decir, la potencia informática total

para la generación de bloques se encuentra en unos pocos grupos de minería.

Problema técnico 3: Ambigüedad en el consenso alcanzado por diferentes nodos de la red sobre las transacciones confirmadas, lo que conduce a una bifurcación de blockchain.

2. Funciones de Algorand:

Estas cuentan con características diferenciadas y prometedoras como las siguientes:

- (1) Está diseñado para ser completamente descentralizado y democrático. Además, no hay distinción entre el rol de diferentes grupos de usuarios, por ejemplo, mineros vs usuarios “normales”.
- (2) Cada usuario ejecuta las mismas funciones con requisitos de hardware insignificantes (es decir, con un esfuerzo computacional insignificante) ya que el concepto de minero/minería no existe en Algorand.
- (3) Es escalable tanto en términos de número de nodos como de rendimiento de transacciones confirmadas. Los autores han demostrado que el rendimiento de Algorand es cincuenta veces mayor que el del sistema Bitcoin.
- (4) La probabilidad de bifurcación de blockchain es prácticamente cero ($P_{fork} = 10^{-12}$).

3. Propiedades de Algorand:

- a) La cantidad de cálculo requerida es mínima. Esencialmente, no importa cuántos usuarios estén presentes en el sistema, cada uno de mil quinientos usuarios debe realizar como máximo unos pocos segundos de cálculo.
- b) Se genera un nuevo bloque en menos de 10 minutos y, de hecho, nunca abandonará la cadena de bloques.

Por ejemplo, el tiempo para generar un bloque en la primera corrida es menor que $\Delta + 12,4\lambda$, donde:

- a) Δ es el tiempo necesario para propagar un bloque, en forma de reporte no validado entre pares (Peer-to-Peer), sin importar el tamaño del bloque.
- b) λ es el tiempo para propagar 1.500 mensajes de 200 B de longitud.

- c) Dado que en un sistema verdaderamente descentralizado, Δ es esencialmente una latencia intrínseca, en Algorand el factor limitante en la generación de bloques es la velocidad de la red.
- La cadena de bloques de Algorand puede bifurcarse con una probabilidad insignificante menor a 1×10^{-12} , por lo tanto, los usuarios pueden transmitir los pagos contenidos en un nuevo bloque tan pronto como aparece el bloque.
 - Algorand es un verdadero sistema distribuido, su poder reside en los propios usuarios. No existen entidades exógenas (como los “mineros” de Bitcoin) que puedan controlar qué transacciones se reconocen.
 - El algoritmo de consenso de Algorand consiste en un protocolo sincrónico que combina los conceptos de los sistemas de Prueba de Participación (PoS) con un acuerdo bizantino de tolerancia a fallos:
 - El protocolo prácticamente programa el tiempo en rondas.
 - En cada ronda, todos los nodos de la red intentan llegar a un consenso sobre un nuevo bloque de transacciones.

4. Configuración de Algorand:

Algorand trabaja en un entorno muy difícil, a continuación una breve reseña sobre estos:

- (a) Entornos sin permiso y con permiso. Algorand funciona de manera eficiente y segura incluso en un entorno totalmente sin permisos, donde muchos usuarios arbitrarios pueden unirse al sistema en cualquier momento, sin ninguna investigación ni permiso de ningún tipo. Por supuesto, Algorand funciona aún mejor en un entorno autorizado.
- (b) Entornos muy conflictivos. Algorand resiste a un adversario muy poderoso, que puede:

- (1) corromper instantáneamente a cualquier usuario que desee, en cualquier momento que desee, siempre que, en un entorno sin permisos, $2/3$ del dinero del sistema pertenezca a un usuario honesto. (En un entorno autorizado, independientemente del dinero, basta con que $2/3$ de los usuarios sean honestos).
- (2) controlar totalmente y coordinar perfectamente a todos los usuarios corruptos.

(3) programar la entrega de todos los mensajes, siempre que cada mensaje sea enviado por un usuario honesto llega al 95 % de los usuarios honestos en un tiempo λm , que depende únicamente del tamaño de m .

C. Diferencias entre criptomonedas y dinero real

C.1. Criptomonedas estables (Stablecoins)

1. Las criptomonedas estables *Stablecoins* intentan cerrar la brecha entre las opciones de moneda fiduciaria real y las criptomonedas las cuales han demostrado una alta volatilidad, pero ofreciendo mayores beneficios de utilidad.
2. Dentro de los beneficios del uso de las criptomonedas se incluyen transferencias financieras rápidas entre dos cuentas, transferencias internacionales más baratas que usar bancos regulados y un acceso más amplio a los servicios financieros en tiempo real.

C.2. Moneda real (fiduciaria)

1. Son las monedas respaldadas por un banco central o gobierno, las cuales se aceptan y utilizan todos los días para comprar comestibles, así como bienes y servicios. Ejemplos: Euro (EUR €); Dólar estadounidense (USD \$), Libra esterlina (GBP £), Colón (CRC ₡), y así sucesivamente dependiendo en qué país se encuentre en el mundo.



Figura 49: Billetes de Costa Rica
Fuente: Tomado del Banco Central de Costa Rica.

2. Las monedas fiduciarias son de curso legal y ofrecen una cantidad de valor estable y en gran medida predecible, lo que las hace adecuadas, confiables y aceptadas para transacciones financieras a corto y largo plazo.
3. Beneficios de las monedas fiduciarias ó dinero en real
 - a) Las moneda fiduciaria o dinero en *efectivo* juega un importante papel para el adecuado funcionamiento de la economía [55].
 - b) Los billetes y las monedas de cada país son el único medio de pago de curso legal admitido en sus respectivos territorios. Por ejemplo: Los billetes y las monedas en euros (€) son el único medio de pago de curso legal en los países de la zona del euro y están al alcance de todos los ciudadanos, por lo que son un factor clave para la inclusión social de los colectivos más vulnerables, con menos acceso a las nuevas tecnologías.
 - c) El dinero en *efectivo* nos permite contar con un medio de pago en caso de indisponibilidad de los sistemas de pago electrónicos.
 - d) Dentro de los beneficios del uso de las criptomonedas se incluyen transferencias financieras rápidas entre dos cuentas, transferencias internacionales más baratas que usar bancos regulados y un acceso más amplio a los servicios financieros en tiempo real. (Aclaramos que no investigamos si estos servicios son reales)

D. Scripts en Python utilizados para la simulación

D.1. Script #1: Simulación de gráfica de control SPC en una criptomoneda

```
# El siguiente script es para simular una grafica de control SPC en una
    criptomoneda

# Se simula con o sin panico externo

# En caso de panico externo se ingresa la cantidad de puntos continuos OOC para
    graficarlos

# Se parte del supuesto de que el proceso de analisis y arreglo del problema ya
    fue hecho, preguntando si quiere implementar solucion

# Y se pregunta si tiene autorizacion para implementar la solucion

# Por Renan Eduardo Morera Salazar, Instituto Tecnologico de Costa Rica

# Script #1

# ITCR 8203598 - 29-Feb-2024


import random
import time
import matplotlib.pyplot as plt


# Valores de referencia y limites de control
precio_referencia = 1.00
UCL = 1.05 # Limite Superior de Control
LCL = 0.95 # Limite Inferior de Control
MARGIN = 0.05 # Margen del 5% para la accion correctiva


# Funcion para generar una variacion aleatoria dentro de los limites
def generar_variacion(tendencia_anormal):
    if tendencia_anormal:
        return random.uniform(-0.10, 0.10) # Ajuste de los limites de
            variacion para la tendencia anormal
    else:
        return random.uniform(-0.01, 0.01) # Limites normales de variacion
```

```

# Funcion para analizar el precio de salida y mostrar la diferencia en formato
##.00
def analizar_precio(precio_actual):
    diferencia = precio_actual - precio_referencia
    if diferencia >= 0.05: # 0.05 es el 5% del limite de control establecido
        print(f"Precio > a $1.00 en: {diferencia:.2f}")
    elif diferencia <= -0.05: # -0.05 es el 5% del limite de control
        establecido
        print(f"Precio < a $1.00 en: {diferencia:.2f}")

# Se le pregunta al usuario si quiere modelar un sistema con tendencia anormal
(panico externo)
respuesta_tendencia = input("Quiere modelar un sistema con tendencia anormal (
    panico externo)? (si/no): ")
tendencia_anormal = respuesta_tendencia.lower() == 'si'

# Se pregunta al usuario cuantos puntos seguidos desea detectar para generar la
alarma
puntos_OOC = int(input("Cuantos puntos seguidos desea detectar para generar la
    alarma? "))

# Para generar el grafico se configura inicialmente desde cero.
# Configuracion inicial del grafico
plt.ion()
fig, ax = plt.subplots()
x_data = []
y_data = []
alarma = 0 # Contador de puntos fuera de control
OOC_total = 0 # Contador de puntos fuera de control totales

# Configuracion de las lineas horizontales de la leyenda
ax.axhline(y=precio_referencia, color='black', linestyle='--', label='Precio de
    referencia $1.00')
ax.axhline(y=UCL, color='red', linestyle='--', label='UCL')
ax.axhline(y=LCL, color='red', linestyle='--', label='LCL')
ax.legend()

```

```

# Se pregunta al usuario si se desea graficar la simulacion
respuesta = input("Desea graficar la simulacion? (si/no): ")
generar_grafico = respuesta.lower() == 'si'

# Generar los primeros puntos fuera de control con 48 datos dentro del rango de
    $1.00 +/- 15%
for _ in range(48): # Los puntos fuera de control se especifican aqui en las
    primeras 8 horas de monitoreo cada 10 min = 48 intervalos
    variacion = generar_variacion(tendencia_anormal)
    precio_actual = precio_referencia + variacion

    if generar_grafico:
        analizar_precio(precio_actual)

# Actualizar los datos de la grafica
x_data.append(len(x_data) + 1) # Usar el numero de datos como eje x
y_data.append(precio_actual)

# Contar puntos fuera de control
if precio_actual > UCL or precio_actual < LCL:
    OOC_total += 1

# Cambiar a una variacion de +/- 10%
tendencia_anormal = True # Cambiar a tendencia anormal despues de los primeros
    datos

# Simulacion de la variacion del precio durante 24 horas despues de los
    primeros 8 hr de datos (1 muestreo cada 10 min = 48 lecturas)
tiempo_transcurrido = 48 # intervalos cada 10 minutos (1 hr = 6 intervalos, 8
    horas = 48 intervalos)

autorizacion = None # Variable para almacenar la autorizacion de la accion
    correctiva

while tiempo_transcurrido <= 24 * 60 / 10: # 24 horas con muestreo de cada 10

```

```

minutos = 144 intervalos

variacion = generar_variacion(tendencia_anormal)
precio_actual = precio_referencia + variacion

# Aplicar accion correctiva si es necesario
if precio_actual > UCL or precio_actual < LCL:
    if autorizacion is None:
        print("Alerta: tendencia anormal detectada con puntos fuera de los
              limites de control.")
        autorizacion = input(" Tiene autorizacion del comite director para
                              implementar accion correctiva? (si/no): ")
        if autorizacion.lower() != 'si':
            print("Esperando autorizacion del comite director para
                  implementar accion correctiva. Presione 'q' para continuar.
                  ")
            while autorizacion.lower() != 'si':
                if input("Presione 'q' para continuar o ingrese 'si' para
                          autorizar: ").lower() == 'q':
                    break

    else:
        # Aplicar accion correctiva para volver dentro de los limites de
        # control $1.00 +/- 5%
        if precio_actual > UCL:
            precio_actual = UCL - MARGIN
        elif precio_actual < LCL:
            precio_actual = LCL + MARGIN

if generar_grafico:
    analizar_precio(precio_actual)

# Actualizar los datos de la grafica
x_data.append(tiempo_transcurrido)
y_data.append(precio_actual)
ax.clear() # Limpiar el grafico antes de actualizar
ax.plot(x_data, y_data, color='blue', label='Precio de la criptomoneda')

```

```

ax.axhline(y=precio_referencia, color='black', linestyle='--', label='Valor
    de referencia en $1.00')
ax.axhline(y=UCL, color='red', linestyle='--', label='Limite de Control
    Superior (LCS)')
ax.axhline(y=LCL, color='green', linestyle='--', label='Limite de Control
    Inferior (LCI)')
ax.set_xlabel('Tiempo de muestreo cada 10 minutos (24 horas = 144
    intervalos)')
ax.set_ylabel('Precio en US$')
ax.set_title(f'Simulacion de control de precio con intervencion humana - {
    OOC_total} OOC detectados - rev.final 29feb24')
ax.legend()

plt.pause(0.3) # Pausa de 0.3 segundos para actualizar la grafica

tiempo_transcurrido += 1 # Cambiamos esto para simular 1 segundo por
    intervalo, 0.5 son 2 muestras en 10 min

# Verificar si se supera el limite de control
if precio_actual > UCL or precio_actual < LCL:
    alarma += 1
    OOC_total += 1
    if alarma >= puntos_OOC:
        print("Alerta: tendencia anormal detectada con puntos fuera de los
            limites de control.")
        autorizacion = input("Tiene autorizacion del comite director para
            implementar accion correctiva? (si/no): ")
        if autorizacion.lower() == 'si':
            print("Implementando accion correctiva (Venta o Compra de
                tokens)...")
            % La accion correctiva ya se ha aplicado anteriormente, no es
                necesario hacerlo de nuevo aqui

# Mostrar el total de puntos fuera de control (OOC) detectados en la leyenda
ax.legend(['Precio de la criptomoneda', 'Valor de referencia en $1.00', 'Limite
    de Control Superior (LCS)', 'Limite de Control Inferior (LCI)', f'Puntos

```

```
fuera de control: {OOC_total}']])

plt.ioff()
plt.show()
```

Listing 1: Script para simulacion de Grafica de Control SPC en una Criptomoneda

D.2. Script #2: Simulación de monitoreo SPC para activación del Comité Director

```
# Script de simulacion de monitoreo SPC para activacion del comite director
# Se genera pregunta por la cantidad de puntos fuera de control (OOC) continuos
# Email para activacion del comite director, se genera y envia el email
    automatico con el grafico de control
# Y se pregunta si tiene autorizacion para implementar la solucion
# Por Renan Eduardo Morera Salazar, Instituto Tecnologico de Costa Rica
# Script #2
# ITCR 8203598 - 9-abril-2024

import random
import matplotlib.pyplot as plt
import smtplib

from email.mime.multipart import MIMEMultipart
from email.mime.text import MIMEText
from email.mime.base import MIMEBase
from email import encoders

# Valores de referencia y limites de control
precio_referencia = 1.00
UCL = 1.05 # Limite Superior de Control
LCL = 0.95 # Limite Inferior de Control
MARGIN = 0.05 # Margen del 5% para la accion correctiva

# Funcion para generar una variacion aleatoria dentro de los limites
def generar_variacion(tendencia_anormal):
    if tendencia_anormal:
        return random.uniform(-0.08, 0.08) # Ajuste de los limites de
            variacion para la tendencia anormal
    else:
        return random.uniform(-0.005, 0.005) # Limites normales de variacion

# Funcion para analizar el precio de salida y mostrar la diferencia en formato
    ##.00
```

```

def analizar_precio(precio_actual):
    diferencia = precio_actual - precio_referencia
    if diferencia >= 0.05: # 0.05 es el 5% del limite de control establecido
        print(f"Precio > a $1.00 en: {diferencia:.2f}")
    elif diferencia <= -0.05: # -0.05 es el 5% del limite de control
        establecido
        print(f"Precio < a $1.00 en: {diferencia:.2f}")

# Funcion para configurar las escalas de los ejes verticales de los graficos
def configurar_escalas(ax, y_scale):
    ax.set_ylim(y_scale[0], y_scale[1])

# Se le pregunta al usuario si quiere modelar un sistema con tendencia anormal
# (panico externo)
respuesta_tendencia = input("Quiere modelar un sistema con tendencia anormal (
    panico externo)? (si/no): ")
tendencia_anormal = respuesta_tendencia.lower() == 'si'

# Se pregunta al usuario cuantos puntos seguidos desea detectar para generar la
# alarma
puntos_OOC = int(input("Cuantos puntos seguidos desea detectar para generar la
    alarma? "))

# Para generar el grafico se configura inicialmente desde cero.
# Configuracion inicial del grafico
plt.figure(1)
x_data = []
y_data = []
alarma = 0 # Contador de puntos fuera de control
OOC_total = 0 # Contador de puntos fuera de control totales

# Generar los primeros puntos fuera de control con 144 datos dentro del rango
# de $1.00 +/- 15%
for _ in range(144): # Tomar 144 puntos aleatorios
    variacion = generar_variacion(tendencia_anormal)

```

```

precio_actual = precio_referencia + variacion

analizar_precio(precio_actual)

# Actualizar los datos del grafico
x_data.append(len(x_data) + 1) # Usar el numero de datos como eje x
y_data.append(precio_actual)

# Contar puntos fuera de control
if precio_actual > UCL or precio_actual < LCL:
    OOC_total += 1

print("Por favor espere a que termine, contactando servidor de email")

# Graficar el primer grafico sin intervencion humana
plt.plot(x_data, y_data, color='blue', label='Precio de la criptomoneda')
plt.axhline(y=precio_referencia, color='black', linestyle='--', label='Precio
de referencia $1.00')
plt.axhline(y=UCL, color='red', linestyle='--', label='Limite de Control
Superior (LCS)')
plt.axhline(y=LCL, color='green', linestyle='--', label='Limite de Control
Inferior (LCI)')
plt.xlabel('Tiempo')
plt.ylabel('Precio en US$')
plt.title(f'Simulacion de control de precio sin intervencion - {OOO_total} OOC
detectados')
plt.legend()

# Muestra el primer grafico en pantalla y se configuran las escalas
plt.show(block=False)
configurar_escalas(plt.gca(), [0.9, 1.10])

# Guardar el primer grafico
plt.savefig('grafico_sin_intervencion.png')

# Enviar email al comite director con el grafico mostrando puntos OOC
#email = "lm*****qnr@outlook.com"
#password = "*****"

```

```

#destinatarios = ["r*****a@gmail.com", "lmv*****@outlook.com", "e*****cr@gmail.
    com", "re*****ra@outlook.com", "re*****ra@icloud.com"]

email = "tesis3*****@outlook.com"
password = "*****"
destinatarios = ["Tesis3*****@outlook.com", "re*****a@gmail.com"] #, "r*****
    a@gmail.com", "Jo*****tro@gmail.com", "lmv*****@outlook.com", "e*****
    cr@gmail.com", "re*****ra@outlook.com", "re*****ra@icloud.com"]
#bcc_destinatario = ["re*****@gmail.com", "lmv*****@outlook.com", "ed*****
    cr@gmail.com", "re*****ra@outlook.com", "re*****ra@icloud.com"]

subject = "Control SPC -> Urgente: activacion de comite de directores - Precio
    criptomoneda fuera de control +/- 5%"
message = "Atencion Sr(a) miembro del Comité Director: Se le convoca
    urgentemente a reunion del Comité Director debido a que se ha detectado
    puntos fuera de los limites de control con variacion superior al +/- 5% del
    precio de la criptomoneda, se activa el protocolo de control para el
    analisis y correccion de la situacion. El presidente del comite de
    directores debe coordinar la reunion por un canal seguro y enviar la
    logistica a todos los directores. Favor revisar el grafico adjunto en el
    que se muestran los puntos fuera de control (OOC) y la cantidad de puntos
    detectado en las ultimas horas. Este es un mensaje automatico. "

# Configurar el correo electronico
msg = MIMEMultipart()
msg['From'] = email
msg['Subject'] = subject
msg.attach(MIMEText(message, 'plain'))

# Adjuntar el grafico al correo electronico
attachment_path = 'grafico_sin_intervencion.png'
with open(attachment_path, "rb") as attachment_file:
    part = MIMEBase("application", "octet-stream")
    part.set_payload(attachment_file.read())
encoders.encode_base64(part)
part.add_header(

```

```

        "Content-Disposition",
        f"attachment; filename={attachment_path}",
    )
msg.attach(part)

# Configurar conexion SMTP y enviar correo electronico
try:
    server = smtplib.SMTP('smtp.outlook.com', 587)
    server.starttls()
    server.login(email, password)

    # Enviar el correo electronico a cada destinatario
    for destinatario in destinatarios:
        msg['To'] = destinatario
        server.sendmail(email, destinatario, msg.as_string())

    server.quit()
    print("Correo electronico con el grafico 1 enviado correctamente")

except Exception as e:
    print(f"Error: No se pudo enviar el correo electronico: {str(e)}")

# Preguntar por autorizacion del comite director
autorizacion = input("Tiene autorizacion del comite director para implementar
    accion correctiva? (si/no): ")

# Si se cuenta con autorizacion, realizar la accion correctiva y generar el
segundo grafico
if autorizacion.lower() == 'si':
    # Configurar para generar el segundo grafico con accion correctiva
    x_data_corrected = x_data.copy()
    y_data_corrected = y_data.copy()
    for i in range(len(y_data_corrected)):
        if y_data_corrected[i] > UCL:
            y_data_corrected[i] = UCL - MARGIN
        elif y_data_corrected[i] < LCL:

```

```

        y_data_corrected[i] = LCL + MARGIN

# Graficar el segundo grafico con accion correctiva
plt.figure(2)
plt.plot(x_data, y_data_corrected, color='blue', label='Precio de la
         criptomoneda con accion correctiva')
plt.axhline(y=precio_referencia, color='black', linestyle='--', label='
         Valor de referencia en $1.00')
plt.axhline(y=UCL, color='red', linestyle='--', label='Limite de Control
         Superior (LCS)')
plt.axhline(y=LCL, color='green', linestyle='--', label='Limite de Control
         Inferior (LCI)')
plt.xlabel('Tiempo')
plt.ylabel('Precio en US$')
plt.title('Simulacion de control de precio despues de intervencion humana')
plt.legend()

# Mostrar el segundo grafico en pantalla y configurar las escalas
plt.show(block=False)
configurar_escalas(plt.gca(), [0.9, 1.10])

plt.show()

```

Listing 2: Script de Simulación de Monitoreo SPC para Activación del Comité Director

D.3. Anexo #3: Gráfica de control SPC con datos reales utilizando API

```
# El siguiente script es para generar una grafica de control SPC de las
    criptomonedas Tether, Binance-USD, USD-Coin y DAI.
# Los datos de precios de las criptomonedas estables son extraidos mediante un
    API gratuito de Coingecko.com.
# Los intervalos de tiempo utilizados son de cada 10 minutos durante 24 horas.
# Una limitante es la frecuencia minima que permite la API gratuita que es de
    10 minutos (no permite menos).
# La cantidad de lecturas para 24 horas es de 144 con una frecuencia cada 10
    minutos.
# Los datos de guardan en una hoja de excel para analisis y calculos manuales.
# Por Renan Eduardo Morera Salazar, Instituto Tecnologico de Costa Rica
# Script #3
# ITCR 8203598 - 29-Feb-2024
```

```
import requests
import matplotlib.pyplot as plt
from datetime import datetime, timedelta

def obtener_datos_criptomoneda(criptomoneda, intervalo):
    url = f"https://api.coingecko.com/api/v3/coins/markets"
    parametros = {
        'vs_currency': 'usd',
        'ids': criptomoneda,
        'sparkline': 'true',
        'price_change_percentage': intervalo
    }

    respuesta = requests.get(url, params=parametros)

    if respuesta.status_code == 200:
        datos = respuesta.json()
        return datos[0]
    else:
```

```

    return None

# Lista de criptomonedas estables de nuestra investigacion
criptomonedas = ['tether', 'usd-coin', 'binance-usd', 'dai']

# Se define el intervalo de tiempo a utilizar: ultimas 24 horas
intervalo = '24h'

fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 5))

for criptomoneda in criptomonedas:
    datos_criptomoneda = obtener_datos_criptomoneda(criptomoneda, intervalo)

    if datos_criptomoneda:
        etiqueta = datos_criptomoneda['symbol'].upper()
        precios_cambio = datos_criptomoneda['sparkline_in_7d']['price'][-144:]
            # Tomar los ultimos 144 puntos para coincidir con el tamano de
            marcas_tiempo

        # Generar lista de marcas de tiempo para las ultimas 24 horas
        hora_actual = datetime.now()
        marcas_tiempo = [hora_actual - timedelta(minutes=i*10) for i in range
            (144)] # Cambiar horas por minutos y el intervalo a 10 minutos

        ax.plot(marcas_tiempo, precios_cambio, marker='.', label=etiqueta)

# Se definen los limites de control UCL y LCL para las ultimas 24 horas de
    nuestro intervalo

num_puntos = 144 # 144 intervalos de 10 minutos en 24 horas
ucl = [1.005] * num_puntos # Limite Superior de Control (+0.5%)
lcl = [0.995] * num_puntos # Limite Inferior de Control (-0.5%)

ax.plot(marcas_tiempo, ucl, 'b--', label='UCL (+0.5%)')
ax.plot(marcas_tiempo, lcl, 'r--', label='LCL (-0.5%)')
ax.axhline(y=1, color='black', linestyle='--', label='Valor de referencia en
    1.00 US$')

```

```

# Escalas de la grafica del eje Y en US$
valor_y_min = 0.99
valor_y_max = 1.01
ax.set_ylim(valor_y_min, valor_y_max)

# Modificar el tamaño de la letra de los labels en el grafico
ax.legend(prop={'size': 8})

# Modificar el tamaño de la fuente del eje X
plt.xticks(fontsize=4)

# Modificar el formato y escala del eje X (cada 10 minutos)
ax.set_xlim(marcas_tiempo[-1], marcas_tiempo[0])
ax.xaxis.set_major_locator(plt.matplotlib.dates.MinuteLocator(interval=10)) #
    Cada 10 minutos
ax.xaxis.set_major_formatter(plt.matplotlib.dates.DateFormatter('%d-%m-%Y %I:%M
    %p'))

ax.set_xlabel('Hora (ultimas 24 horas cada 10 minutos)')
ax.set_ylabel('Precio en US$')
ax.set_title('Grafica de control de precios de criptomonedas ultimas 24 horas
    con limites de control en $1.00 +/- 0.5%')
ax.tick_params(axis='x', rotation=75)

plt.tight_layout()
plt.show()

```

Listing 3: Script para extracción de datos API SPC 24hr cada 10 minutos

D.4. Anexo #4: Extracción de datos reales con API para análisis SPC (24h/10min)

```
# El siguiente script es para importar los datos de precios de las
    criptomonedas estables.
# Se utiliza un API gratuito de Coingecko.com, con una frecuencia minima para
    extraer los datos que permite extraer la API gratuita es de 10 minutos (no
    permite menos) 24 horas cada 10 minutos (144 lecturas).
# Los precios que se extraen son de las criptomonedas Tether, Binance-USD, USD-
    Coin y DAI apegadas a $1.00 USD.
# Los datos se guardan en una hoja de excel para analisis y calculos manuales.
# Por Renan Eduardo Morera Salazar, Instituto Tecnologico de Costa Rica
# Script #4
# ITCR 8203598 - 29-Feb-2024

import requests
import pandas as pd
from datetime import datetime, timedelta

def obtener_datos_criptomoneda(criptomoneda, intervalo):
    url = f"https://api.coingecko.com/api/v3/coins/markets"
    parametros = {
        'vs_currency': 'usd',
        'ids': criptomoneda,
        'sparkline': 'true',
        'price_change_percentage': intervalo
    }

    respuesta = requests.get(url, params=parametros)

    if respuesta.status_code == 200:
        datos = respuesta.json()
        return datos[0]
    else:
        return None
```

```

# Lista de criptomonedas estables de nuestra investigacion
criptomonedas = ['tether', 'usd-coin', 'binance-usd', 'dai']

# Se define el intervalo de tiempo a utilizar ultimas 24 horas
intervalo = '24h'

# Diccionario para almacenar los datos de cada criptomoneda
datos_criptomonedas = {}

for criptomoneda in criptomonedas:
    datos_criptomoneda = obtener_datos_criptomoneda(criptomoneda, intervalo)

    if datos_criptomoneda:
        datos_criptomonedas[criptomoneda] = datos_criptomoneda['sparkline_in_7d
            ']['price'][-144:] # ultimos 24 horas, 144 intervalos de 10
            minutos

# Generar lista de fechas y horas
hora_actual = datetime.now()
fechas_horas = [hora_actual - timedelta(minutes=i*10) for i in range(144)] #
    ultimas 24 horas, 144 intervalos de 10 minutos
fechas = [fecha_hora.strftime('%Y-%m-%d') for fecha_hora in fechas_horas]
horas = [fecha_hora.strftime('%H:%M:%S') for fecha_hora in fechas_horas]

# Crear DataFrame con fechas, horas y datos de cada criptomoneda
df = pd.DataFrame({'Dia': fechas, 'Hora': horas})
for criptomoneda, precios in datos_criptomonedas.items():
    df[criptomoneda] = precios

# Ordenar el DataFrame por la columna 'Dia'
df.sort_values(by='Dia', inplace=True)

# Guardar en Excel
ruta_destino = '/Users/r*****ra/Desktop/datos_precio_cripto_24horas.xlsx'
df.to_excel(ruta_destino, index=False)

```

```
print(f"Datos exportados correctamente a '{ruta_destino}'.")
```

Listing 4: Script para obtener datos reales de criptomonedas y exportar a Excel

D.5. Anexo #5: Creación de fondo de reserva desde el blockchain de la criptomoneda

```
# El siguiente script es para simular la creacion de un fondo de reserva desde
    el blockchain.

# Se incluye una numero de cuenta ficticio de un banco comercial (Bank of
    America)

# El mismo toma el 50% del precio de la moneda para asignarlo al fondo de
    reserva.

# La cantidad inicial de criptomonedas es de 1.000.000 de unidades y el numero
    de iteracciones son 10.

# Por Renan Eduardo Morera Salazar, Instituto Tecnologico de Costa Rica
# Script #5
# ITCR 8203598 - 9-abril-2024

import random

class Blockchain:
    def __init__(self, initial_balance):
        """
        Constructor de la clase Blockchain.

        Args:
            initial_balance (float): Saldo inicial en el blockchain (en dolares
                ).
        """
        self.balance = initial_balance
        self.reserve_account = "001-001-123456-78-9-0" # Cuenta fiduciaria
            ficticia en el Bank of America

    def generate_reserve(self):
        """
        Genera fondos de reserva para la criptomoneda.
        """
        # Generar un nuevo bloque y calcular el 50% del precio de la
            criptomoneda
```

```

price = 1.00
reserve_amount = price * 0.5

# Depositar el 50% del precio en la cuenta fiduciaria
self.balance -= reserve_amount
print(f"Se ha depositado ${reserve_amount} en la cuenta fiduciaria {
    self.reserve_account}.")

# Actualizar el saldo restante en el blockchain
print(f"Saldo restante en el blockchain: ${self.balance}")

# Funcion principal para simular la generacion de fondos de reserva
def simulate_reserve_generation(initial_balance, num_iterations):
    """
    Simula la generacion de fondos de reserva para la criptomoneda.

    Args:
        initial_balance (float): Saldo inicial en el blockchain (en dolares).
        num_iterations (int): Numero de iteraciones para simular.
    """
    blockchain = Blockchain(initial_balance)
    for i in range(num_iterations):
        print(f"\nIteracion {i+1}:")
        blockchain.generate_reserve()

# Parametros de la simulacion
initial_balance = 1000000 # Saldo inicial en el blockchain (en dolares)
num_iterations = 10 # Numero de iteraciones para simular

# Simular la generacion de fondos de reserva
simulate_reserve_generation(initial_balance, num_iterations)

```

Listing 5: Simulación de creación del fondo de reserva desde el Blockchain

D.6. Anexo #6: Determinación de la oferta y la demanda para una criptomoneda estable

```
#Script para determinar la oferta y la demanda de una criptomoneda estable
#Se incluye opcion de panico para simular tambien especulacion
#Por Renan E. Morera Salazar, Instituto Tecnologico de Costa Rica
#Script #6
#ITCR 8203598 - 21-abril-2024 rev3.06

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import locale

# Definiciones varias:

print(f"El siguiente script permite obtener el punto de equilibrio basado en la
      Oferta y la Demanda para una criptomoneda estable")
print(f"Definiciones:")
print(f"Cantidad ofertada: es la cantidad para emitida para venderse (C_emitida
      )")
print(f"Cantidad demandada: es la cantidad que los clientes quieren comprar (
      C_circulante)")
print(f"Punto de equilibrio: es el punto donde la oferta y la demanda estan
      satisfechos.")
print(f"Precio de referencia: es el precio al cual esta vinculada la
      criptomoneda estable (ej. $1.00, 1.00 euro).")
print(f"Punto de mercado: es el precio en el mercado de valores de la
      criptomoneda estable.")
print(f"Por favor introduzca los parametros a continuacion")

# Solicitar al usuario el precio de referencia y el porcentaje de variacion
  permitido
precio_de_referencia = float(input("Introduzca el precio de referencia en US
  dolares: "))
porcentaje_variacion = float(input("Introduzca el porcentaje de variacion
```

```

    permitido (%): ")

# Generar los precios de oferta y demanda basados en el porcentaje de variacion
    permitido
precios = np.linspace(precio_de_referencia * (1 - porcentaje_variacion / 100),
    precio_de_referencia * (1 + porcentaje_variacion / 100), 100)

# Solicitar al usuario las cantidades minimas y maximas ofertadas
oferta_minima = float(input("Ingrese la cantidad minima ofertada en unidades: "
    ))
oferta_maxima = float(input("Ingrese la cantidad maxima ofertada en unidades: "
    ))

# Solicitar al usuario las cantidades minimas y maximas demandadas
demanda_minima = float(input("Ingrese la cantidad minima demandada en unidades:
    "))
demanda_maxima = float(input("Ingrese la cantidad maxima demandada en unidades:
    "))

# Si la demanda excede a la oferta
especulacion = demanda_maxima - oferta_maxima

# Calcular el punto de equilibrio
punto_de_equilibrio = (oferta_minima + demanda_maxima) / 2

# Configuracion de las escalas del grafico X y Y
plt.ylim(0.9, 1.1)
plt.xlim((demanda_minima*0.95), (demanda_maxima*1.1))

# Graficar la curva de oferta
plt.plot(np.linspace(oferta_minima, oferta_maxima, 100), precios, label='Oferta
    ', color='green')

# Graficar la curva de demanda
plt.plot(np.linspace(demanda_maxima, demanda_minima, 100), precios, label='
    Demanda', color='blue')

```

```

# Graficar el punto de equilibrio
plt.plot([punto_de_equilibrio], [precio_de_referencia], marker='o', markersize
        =8, color="red", label=f'Cantidad para el punto de equilibrio ({
        precio_de_referencia:.2f})')

# Configuración del gráfico
plt.xlabel('Cantidad de criptomonedas (unidades)')
plt.ylabel('Precio de la criptomoneda (USD)')
plt.title('Gráfico de oferta y demanda de la criptomoneda')

# Ubicación del recuadro dentro del gráfico con tipo de letra más pequeño
plt.legend(loc='upper right', fontsize='small')

# Mostrar el monto del punto de equilibrio en pantalla
print(f"Para lograr un precio estable en ${precio_de_referencia:.2f}, se
      requieren {punto_de_equilibrio:.2f} unidades existentes en el mercado.")

plt.grid(True)
plt.show()

# Preguntar al usuario si hay una señal de pánico en el mercado
senal_panico = input("Hay alguna señal de pánico en los mercados? (si/no): ")

if senal_panico.lower() == "no":
    print("No hay ninguna señal de pánico. El script termina.")
    exit()

# Si hay señal de pánico, preguntar por el efecto en el precio
efecto_panico = input("Ingrese el efecto del pánico en el precio (caída/subida)
: ")

if efecto_panico.lower() == "subida":
    # Si el efecto es de subida, ingresar el precio máximo registrado
    precio_mercado = float(input("Ingrese el precio de mercado máximo
    registrado: "))

```

```

# Calcular la cantidad demandada maxima para llevar el precio al punto de
    equilibrio en $1.00

cantidad_maxima = (precio_mercado * oferta_maxima / precio_de_referencia)
cantidad_especulativa = especulacion # no se aplica la relacion (
    precio_mercado * demanda_maxima / precio_de_referencia)

# Calcular cuanto hay que emitir para estabilizar el precio
nueva_oferta = cantidad_maxima - oferta_maxima
nueva_oferta_especulativa = cantidad_especulativa

# Actualizar el grafico y mostrar en pantalla el monto de la cantidad
print(f"Bajo circunstancias normales, por la subida del precio a ${
    precio_mercado:.2f}, la cantidad demandada maxima para llevar el precio
    al punto de equilibrio en $1.00 es de {cantidad_maxima:.0f} y hay que
    emitir al mercado {nueva_oferta:.0f} nuevas unidades.")

if demanda_maxima > oferta_maxima: # Aviso de especulacion detectada
    print(f"---- ATENCION RIESGO DE ESPECULACION DETECTADO ----.")
    print(f"La cantidad demandada excede la oferta maxima, la cantidad
        necesaria para llevar el precio al punto de equilibrio en $1.00 es
        de {cantidad_especulativa:.0f} y habria que emitir {
            nueva_oferta_especulativa:.0f} nuevas unidades.")
    print(f"Se recomienda precaucion con una emision controlada de manera
        que no exceda la demanda real y las necesidades del mercado.")
    print(f"Esto podria ser fraudulento con el fin de afectar las reservas
        reales por compra y retiro en muy corto plazo.")
    print(f"Emitir una cantidad excesiva de unidades podria conducir a una
        sobreoferta y afectar la estabilidad del precio de la criptomoneda.
        ")
else:
    print(f"Funcionamiento normal.")

elif efecto_panico.lower() == "caida":
    # Si el efecto es de caida, ingresar el precio minimo registrado
    precio_mercado = float(input("Ingresa el precio mercado minimo registrado:

```

```

    "))

# Calcular la cantidad demandada maxima para llevar el precio al punto de
    equilibrio en $1.00
cantidad_maxima = (precio_mercado * oferta_maxima / precio_de_referencia)

# Calcular cuanto hay que retirar para estabilizar el precio
nueva_oferta = cantidad_maxima - oferta_maxima

# Actualizar el grafico y mostrar en pantalla el monto de la cantidad
print(f"La cantidad demandada maxima para llevar el precio al punto de
    equilibrio en $1.00 es de {cantidad_maxima:.0f} y hay que retirar del
    mercado {nueva_oferta:.0f} unidades.")
else:
    print("Opcion no valida. El script termina.")
    exit()

```

D.7. Anexo #7: Simulación de PataCoin vr criptomonedas reales

```
# Script de simulacion de una criptomoneda ficticia PataCoin (PCCR)
# Se generan numeros aleatorios para simular valores de precios simulando 365
    dias con parametros dentro de $1.00 +/- 0.3% de limites de control
# Se parte la simulacion con 1,000,000 de unidades y $2,000,000 en fondo de
    reserva
# El fondo de reserva se trabaja como un colateral de la criptomoneda de 2 x 1
    (por cada crypto vendida, quedan 2 en reserva con valor de mercado)
# Se extraen datos reales con API gratuita de plataforma exchange coingecko.com
    (Tether, Binance-USD, USD-Coin, Dai) de un periodo de 365 dias.
# Se grafican los resultados de la simulacion y se sobreponen con los datos
    reales extraidos y despliega los puntos fuera de control detectados.
# Por Renan Eduardo Morera Salazar, Instituto Tecnologico de Costa Rica
# Script #7 Simulacion PataCoin vr criptomonedas reales rev20
# ITCR 8203598 - 23-Mayo-2024

# Importar las bibliotecas necesarias
import random
import matplotlib.pyplot as plt
from pycoingecko import CoinGeckoAPI
import time
import requests

# Definir la clase PataCoin
class PataCoin:
    def __init__(self, initial_supply, initial_collateral, collateral_ratio):
        self.oferta = initial_supply
        self.fondoreserva = initial_collateral
        self.collateral_ratio = collateral_ratio

    def mint(self, amount):
        required_collateral = amount * self.collateral_ratio
        if self.fondoreserva >= required_collateral:
            self.oferta += amount
            self.fondoreserva -= required_collateral
```

```

else:
    print("No hay suficientes fondos de reserva para emitir mas
          PataCoins")

def burn(self, amount):
    self.oferta -= amount
    self.fondoreserva += amount * self.collateral_ratio

def simulate_market(self, days, daily_demand_fluctuation):
    prices = []
    oferta = []
    fondoreserva = []
    ooc_count = 0

    for day in range(days):
        demand_change = random.uniform(-daily_demand_fluctuation,
                                         daily_demand_fluctuation) # Se genera un cambio en la demanda
                                                                    # diaria utilizando la funcion random.uniform
        price = 1 + demand_change # Precio de referencia 1 USD

        if price > 1: # El precio diario se calcula sumando el valor
                    # generado de cambio en la demanda
            mint_amount = self.oferta * demand_change
            self.mint(mint_amount)

        elif price < 1: # Si el precio es menor que 1, indica una
                    # disminucion en el precio, se queman monedas existentes.
            burn_amount = self.oferta * abs(demand_change)
            self.burn(burn_amount)

        prices.append(price)
        oferta.append(self.oferta)
        fondoreserva.append(self.fondoreserva)

    # Contar puntos fuera de los limites de control
    if price < control_limit_lower or price > control_limit_upper:
        ooc_count += 1

```

```

        return prices, oferta, fondoreserva, ooc_count

# Inicializar la simulacion
initial_supply = 1000000 # 1 millon de PataCoin (PCCR)
initial_collateral = 2000000 # 2 millones de USD en el fondo de reserva
collateral_ratio = 2 # Colateralizacion del 200%

pccr = PataCoin(initial_supply, initial_collateral, collateral_ratio)
# Definir limites de control y valor de referencia
control_limit_upper = 1.005
control_limit_lower = 0.995
reference_value = 1.00

# Simular el mercado durante 365 dias con fluctuacion de demanda de +/- 0.3%
simulated_prices, oferta, fondoreserva, ooc_count = pccr.simulate_market(365,
    0.003)

# Obtener datos reales de stablecoins usando la API de CoinGecko
cg = CoinGeckoAPI()

def get_historical_data(coin_id, vs_currency, days):
    url = f"https://api.coingecko.com/api/v3/coins/{coin_id}/market_chart"
    params = {
        'vs_currency': vs_currency,
        'days': days
    }

    for _ in range(3): # Reintentar hasta 3 veces
        try:
            response = requests.get(url, params=params)
            response.raise_for_status()
            historical_data = response.json()
            prices = [data[1] for data in historical_data['prices']]
            return prices
        except requests.exceptions.HTTPError as http_err:

```

```

        print(f"HTTP error occurred: {http_err}")
        if response.status_code == 403:
            print("Forbidden access. Check if the API key is required or
                  the rate limit is exceeded.")
            time.sleep(5) # Esperar antes de reintentar
        except Exception as err:
            print(f"Other error occurred: {err}")
            time.sleep(5) # Esperar antes de reintentar
    return []

# Definir las stablecoins a comparar
stablecoins = {
    'tether': 'Tether (USDT)',
    'binance-usd': 'Binance-USD (BUSD)',
    'usd-coin': 'USD-Coin (USDC)',
    'dai': 'Dai (DAI)'
}

#days = 30 # ultimos 30 dias
vs_currency = 'usd'

# Obtener datos historicos
stablecoin_prices = {}
for coin_id in stablecoins.keys():
    prices = get_historical_data(coin_id, vs_currency, 365) # Cambio aqui de
    30 a 365 dias
    if prices:
        stablecoin_prices[stablecoins[coin_id]] = prices
    time.sleep(1) # Para evitar limites de tasa de API

# Calcular puntos fuera de control para los datos reales
ooc_count_real = 0
for prices in stablecoin_prices.values():
    for price in prices:
        if price < control_limit_lower or price > control_limit_upper:
            ooc_count_real += 1

```

```

# Crear una figura con subplots para datos reales y comparar con PataCoin
fig2, axs2 = plt.subplots(2, 1, figsize=(10, 5))
fig2.suptitle('Grafico 2: Comparacion de Patacoin con Criptomonedas reales',
              fontsize=12) # Nombre de la figura
colors = {'Tether (USDT)': 'blue', 'Binance-USD (BUSD)': 'green', 'USD-Coin (
        USDC)': 'orange', 'Dai (DAI)': 'red'}

# Graficar los datos reales
for name, prices in stablecoin_prices.items():
    axs2[0].plot(prices, label=name, color=colors[name])

axs2[0].axhline(y=control_limit_upper, color='blue', linestyle='--', label='UCL
                (+0.05%)')
axs2[0].axhline(y=control_limit_lower, color='red', linestyle='--', label='LCL
                (-0.05%)')
axs2[0].axhline(y=reference_value, color='gray', linestyle='--', label='Valor
                de referencia = 1.00 USD')
axs2[0].set_ylim(0.99, 1.01)
axs2[0].set_xlabel('Tiempo en dias', fontsize=8) # Ajuste tamano de letra
axs2[0].set_ylabel('Precio en USD', fontsize=8) # Ajuste tamano de letra
axs2[0].set_title(f'Precio real de criptomonedas estables en el mercado\nPuntos
                fuera de limites de control (OOC): {ooc_count_real}', fontsize=10) #
                Ajuste tamano de letra y incluir contador OOC
axs2[0].legend(loc='center left', bbox_to_anchor=(1, 0.5), fontsize=6) #
                Ajuste tamano de letra y ubicacion

# Comparacion precios de PataCoin simulada con criptomonedas estables reales
# Graficar precios de la simulacion de PataCoin
axs2[1].plot(simulated_prices, label='PataCoin (PCCR) <-- Simulado', color='
        magenta')

# Graficar precios de criptomonedas estables reales
for name, real_prices in stablecoin_prices.items():
    axs2[1].plot(real_prices, label=name, color=colors[name])

axs2[1].axhline(y=control_limit_upper, color='blue', linestyle='--', label='UCL

```

```

        (+0.05%')
    axs2[1].axhline(y=control_limit_lower, color='red', linestyle='--', label='LCL
        (-0.05%')
    axs2[1].axhline(y=reference_value, color='gray', linestyle='--', label='Valor
        de referencia = 1.00 USD')
    axs2[1].set_ylim(0.99, 1.01)
    axs2[1].set_xlabel('Tiempo en dias', fontsize=8) # Ajuste tamano de letra
    axs2[1].set_ylabel('Precio en USD', fontsize=8) # Ajuste tamano de letra
    axs2[1].set_title(f'Comparacion de precios de la simulacion del PataCoin vs
        criptomonedas estables reales\nPuntos fuera de limites de control (OOC): {
        ooc_count + ooc_count_real}', fontsize=10) # Ajuste tamano de letra y
        incluir contador OOC
    axs2[1].legend(loc='center left', bbox_to_anchor=(1, 0.5), fontsize=6) #
        Ajuste tamano de letra y ubicacion

fig2.tight_layout(pad=3.0)

# Crear una figura con subplots (precio, oferta y fondo reserva)
fig, axs = plt.subplots(3, 1, figsize=(10, 5))
fig.suptitle('Grafico 1: Simulacion de Patacoin', fontsize=12)
# Graficar los resultados de la simulacion en los subplots
# Grafico de precios
axs[0].plot(simulated_prices, label='Precio en USD', color='magenta')
axs[0].axhline(y=control_limit_upper, color='blue', linestyle='--', label='UCL
    (+0.05%')
axs[0].axhline(y=control_limit_lower, color='red', linestyle='--', label='LCL
    (-0.05%')
axs[0].axhline(y=reference_value, color='gray', linestyle='--', label='Valor de
    referencia = 1.00 USD')
axs[0].set_ylim(0.99, 1.01)
axs[0].set_ylabel('Precio en USD', fontsize=6)
axs[0].set_title('Simulacion de precios del PataCoin (PCCR)', fontsize=10)
axs[0].legend(loc='center left', bbox_to_anchor=(1, 0.5), fontsize=6)
# Grafico de oferta
axs[1].plot(oferta, label='Oferta de PataCoins', color='darkgreen')
axs[1].set_ylabel('Oferta en unidades', fontsize=6)

```

```

axs[1].legend(loc='center left', bbox_to_anchor=(1, 0.5), fontsize=6)
axs[1].set_ylim(900000, 1100000)
axs[1].set_title('Simulacion de la Oferta de PataCoin (PCCR)', fontsize=10)
# Grafico de fondoreserva
axs[2].plot(fondoreserva, label='Fondo de reserva de PataCoins', color='
    darkorange')
axs[2].set_ylabel('Monto en USD', fontsize=6)
axs[2].legend(loc='center left', bbox_to_anchor=(1, 0.5), fontsize=6)
axs[2].set_ylim(1800000, 2200000)
axs[2].set_title('Simulacion del fondo de Reserva del PataCoin (PCCR)',
    fontsize=10)
axs[2].set_xlabel('Tiempo en dias', fontsize=8)
fig.tight_layout(pad=3.0)

plt.show(block=True) # Se mantienen las ventanas abiertas de matplotlib sin
    necesidad de cerrarlas para que continúe el script

```

D.7.1. Anexo #7A: Gráficas de la simulación del PataCoin

- En la figura 50 generada por el script del anexo #7 muestra tres subgráficos que representan diferentes aspectos de la simulación del Patacoin, estos son los siguientes:
 - a) precios
 - b) oferta
 - c) fondo de reserva de PataCoin.
- Los subgráficos incluyen los límite de control y el valor de referencia.

Grafico 1: Simulacion de Patacoin

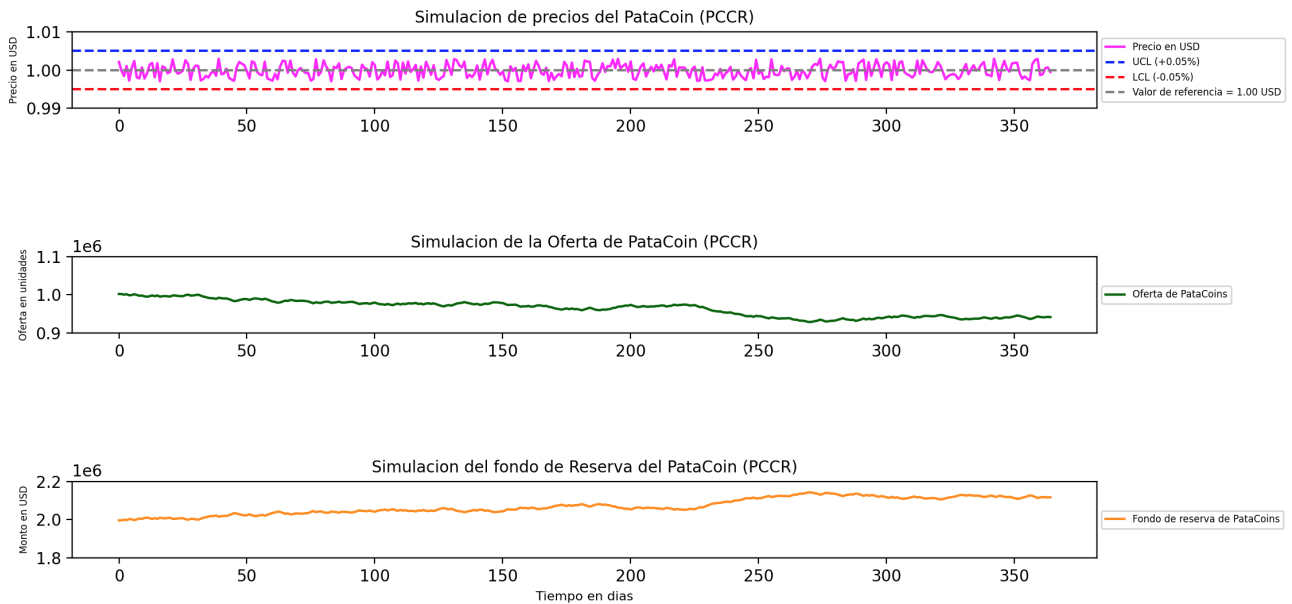


Figura 50: Gráficas de simulación del Patacoin
Fuente: simulación propia.

D.7.2. Anexo #7B: Gráficas de la simulación del PataCoin vr criptomonedas reales

- En la siguiente figura 51, se muestran a continuación los gráficos de comparación entre datos simulados del Patacoin y los datos reales de las criptomonedas Tether, Binance-USD, USD-Coin y DAI:

- 1) El primer subgráfico muestra los precios reales de las criptomonedas estables
- 2) El segundo subgráfico compara los precios simulados de PataCoin con los precios reales de las criptomonedas estables.

- Los subgráficos incluyen los límite de control y el valor de referencia.

Grafico 2: Comparacion de Patacoin con Criptomonedas reales

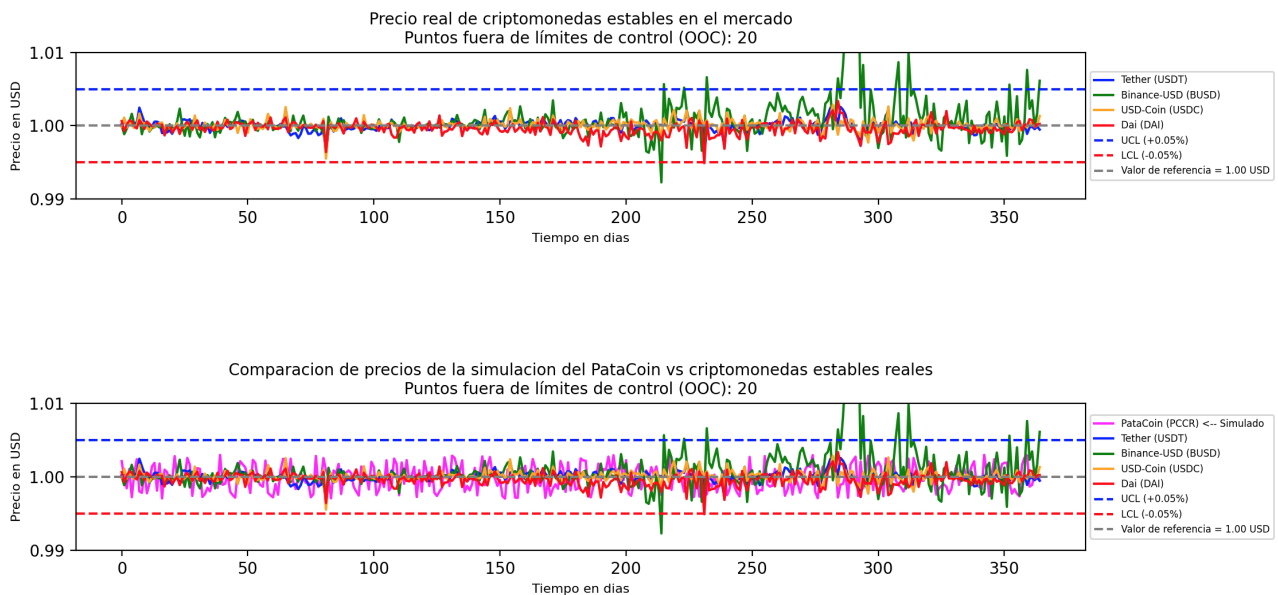


Figura 51: Gráficas de simulación del Patacoin vr criptomonedas reales
Fuente: simulación propia con datos extraídos de coingecko.com.