



UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA (UNILA)
INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE ECONOMIA, SOCIEDADE E POLÍTICA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS - ECONOMIA,
INTEGRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

NOTAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LAS CRIPTOMONEDAS BITCOIN Y ETHEREUM

SHIU MINNG ROJAS SOSA

Foz do Iguaçu
2022

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA (UNILA)
INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE ECONOMIA, SOCIEDADE E POLÍTICA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS - ECONOMIA, INTEGRAÇÃO E
DESENVOLVIMENTO**

**NOTAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LAS CRIPTOMONEDAS BITCOIN Y
ETHEREUM**

SHIU MINNG ROJAS SOSA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Ciências
Econômicas – Economia, Integração e
Desenvolvimento da Universidade Federal
da Integração Latino-Americana, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: GILSON BATISTA DE OLIVEIRA

Foz do Iguaçu
2022

SHIU MINNG ROJAS SOSA

NOTAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LAS CRIPTOMONEDAS BITCOIN Y ETHEREUM

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciências Econômicas – Economia, Integração e Desenvolvimento da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. (Titulação) (Nome do orientador)
UNILA

Orientador: Prof. (Titulação) (Nome do coorientador, se houver)
UNILA

Prof. (Titulação) (Nome do Professor)
(Sigla da Instituição)

Prof. (Titulação) (Nome do Professor)
(Sigla da Instituição)

Foz do Iguaçu, 20 de Diciembre de 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradezco a la vida por darme la oportunidad de cerrar esta etapa académica llena de retos y experiencias maravillosas.

Agradezco a mis profesores orientadores, que me ayudaron a nortear mis ideas, me facilitaron herramientas y contactos con los que pude aclarar muchas dudas y sobre todo a darme confianza en la culminación de este trabajo.

Agradezco a mi familia y a mis seres queridos, a mis padres y hermanas quienes siempre serán parte de mis motivaciones para avanzar, a mi compañero de vida que me brindó toda la ayuda del mundo en los momentos más críticos, y quien siempre me alienta a cumplir mis sueños y a mis amigos más cercanos por sus palabras de aliento.

Agradezco a todos y cada una de las personas que directa o indirectamente, hicieron parte de mi vida en esta etapa académica en la UNILA.

RESUMO

Em mais de uma década, o mercado de criptoativos conseguiu atrair milhares de usuários e investidores em todo o mundo, à medida que esse ecossistema digital crescia, especulações sobre as enormes quantidades de energia que consomem e sua contribuição para danos ambientais começaram a surgir com mais frequência. Diante desse cenário, surge o seguinte questionamento, ¿como se mostra o consumo de energia das principais criptomoedas como Bitcoin e Ethereum nas mudanças climáticas?. Para responder a esta questão, o objetivo principal foi analisar o consumo de energia das principais criptomoedas como Bitcoin e Ethereum com relação às mudanças climáticas, desenvolvendo para tanto uma revisão bibliográfica descritiva a partir de artigos científicos e relatórios de entidades multilaterais e privadas que auxiliaram noções sobre mudanças climáticas e criptomoedas; posteriormente, foram revisadas pesquisas de artigos jornalísticos, científicos e centros de estudos especializados que analisaram o consumo de energia das criptomoedas e a presença que elas têm na pegada de carbono. Por fim, foi realizada uma revisão sobre o assunto, mostrando que a mineração de Bitcoin consome energia que ultrapassa países como Finlândia e Bélgica, assim como a maioria dos países da América Latina com exceção do México, Brasil e Argentina, da mesma forma, essa energia ainda vem principalmente de fontes não renováveis, como carvão e petróleo; por outro lado, o Ethereum conseguiu eliminar as emissões de gases de efeito estufa ao migrar para outro tipo de protocolo de consenso chamado Proof of Stake.

Palavras-chave: criptomoedas, impacto ambiental, mudança climática, consumo de energia.

RESUMEN

En más de una década el mercado de los criptoactivos ha conseguido atraer a miles de usuarios e inversores alrededor del mundo, a medida que este ecosistema digital se hacía más grande, las especulaciones sobre las enormes cantidades de energía que consumen y su contribución con el daño ambiental empezaron a surgir cada vez con más frecuencia. Ante ese escenario se plantea la siguiente pregunta, ¿cómo se muestra el consumo energético de las principales criptomonedas como Bitcoin y Ethereum en el cambio climático?. Para responder a este cuestionamiento se planteó como objetivo principal revisar el consumo energético de las principales criptomonedas como Bitcoin y Ethereum respecto al cambio climático, desarrollando para tal propósito una revisión bibliográfica descriptiva proveniente de artículos científicos e informes de entidades multilaterales y privadas que ayudaron a conceptos sobre el cambio climático y las criptomonedas; posteriormente se revisó investigaciones provenientes de artículos periodísticos, científicos y de centros de estudio especializados que analizaron el consumo energético de las criptomonedas y la presencia que tienen en la huella de carbono. Finalmente se realizó un repaso del tema mostrando que la minería del Bitcoin consume energía que supera a países como Finlandia y Bélgica, además de la mayoría de países de América Latina a excepción de México, Brasil y Argentina, así mismo esta energía aún proviene en su mayor parte de fuentes no renovables como el carbón y el petróleo; por otro lado, Ethereum consiguió eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero al migrar a otro tipo de protocolo de consenso llamado Proof of Stake o prueba de participación.

Palabras clave: criptomonedas, impacto ambiental, cambio climático, consumo energético.

ABSTRACT

In more than a decade, the crypto asset market has managed to attract thousands of users and investors around the world, as this digital ecosystem grew, speculation about the enormous amounts of energy they consume and their contribution to environmental damage began to surface more and more frequently. Given this scenario, the following question arises, ¿how is the energy consumption of the main cryptocurrencies such as Bitcoin and Ethereum shown in climate change? To answer this question, the main objective was to review the energy consumption of the main cryptocurrencies such as Bitcoin and Ethereum with respect to climate change, developing for this purpose a descriptive bibliographical review that sought to define concepts about climate change and cryptocurrencies, developing for this purpose a descriptive bibliographical review from scientific articles and reports from multilateral and private entities that helped concepts about climate change and cryptocurrencies; subsequently, research from journalistic, scientific articles and specialized study centers that analyzed the energy consumption of cryptocurrencies and the presence they have in the carbon footprint was reviewed. Finally, a review of the subject was carried out, showing that Bitcoin mining consumes energy that exceeds countries such as Finland and Belgium, as well as most Latin American countries with the exception of Mexico, Brazil and Argentina, likewise this energy still comes mostly from non-renewable sources such as coal and oil; on the other hand, Ethereum managed to eliminate greenhouse gas emissions by migrating to another type of consensus protocol called Proof of Stake.

Keywords: cryptocurrencies, environmental impact, climate change, energy consumption.

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura 1 – Cambios en la temperatura global de la superficie	15
Figura 2 – Emisiones totales de gases de efecto invernadero en el Mundo	18
Figura 3 – Emisiones totales de CO ₂ por subregiones en el 2020	19
Figura 4 – Principales criptomonedas	25
Figura 5 – Evolución de transacciones por día Bitcoin, Ethereum y Litecoin	28
Figura 6 – Índice de adopción global de las criptomonedas	29
Figura 7 – Transacciones en la red blockchain	34
Figura 8 – Prueba de Trabajo	36
Figura 9 – Prueba de Participación	38
Figura 10 – Consumo energético total del Bitcoin	42
Figura 11 – Consumo de energía de Ethereum	44
Figura 12 – Emisiones totales de GEI de Bitcoin	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ONU	Organización de las Naciones Unidas
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
CMCC	Convención Marco sobre el Cambio Climático
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IEA	Agencia Internacional de Energía
ALC	América Latina y El Caribe
BTC	Bitcoin
ETHER	Ethereum
CBECI	Índice de consumo energético del Bitcoin
CCFA	Cambridge Centro de Finanzas Aplicadas
PoW	Proof of Work
PoS	Proof of Stake
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y El Caribe

SUMÁRIO

1 INTRODUCCIÓN	9
2 CAMBIO CLIMÁTICO	12
2.1 CONCEPTUALIZACIÓN.....	12
2.2 EVOLUCIÓN.....	13
2.3 CONSUMO ENERGÉTICO Y CAMBIO CLIMÁTICO.....	16
3 CRIPTOMONEDAS	21
3.1 DEFINICIÓN	21
3.2 ORIGEN.....	22
3.3 PRESENCIA MUNDIAL	23
3.3.1 Principales criptomonedas.....	23
3.3.2 Situación Actual	27
3.4 BLOCKCHAIN Y MINERIA	30
3.5.1 Proof of Work y Proof of Stake.....	35
4 IMPLICANCIAS AMBIENTALES DE LAS CRIPTOMONEDAS.....	40
4.1 CONSUMO ENERGÉTICO	40
4.2 HUELLA DE CARBONO	45
5 CONSIDERACIONES FINALES O CONCLUSIONES.....	48
REFERENCIAS.....	50

1 INTRODUCCIÓN

Son miles de criptomonedas que existen actualmente en el mercado de los criptoactivos algunas más conocidas y más estables en términos de capitalización, otras no tan conocidas que aspiran a una mayor solidez y otras pocas creadas solo con propósitos ilícitos y perjudiciales; ocasionando la baja fiabilidad en torno a este ecosistema. Sin embargo, a pesar de la volatilidad de sus precios, las reducidas ventajas transaccionales en el mercado tradicional o la inseguridad que puedan brindar como activo de reserva, la creación y adquisición de criptomonedas sigue obteniendo interés de diferentes usuarios e inversores alrededor del mundo, resultando en un elevado esfuerzo de las empresas involucradas en este mercado por mejorar y ampliar este ecosistema digital.

Hasta el 2021 este mercado experimentaba una época de auge, muchos inversores buscaban en las criptomonedas una forma de huir de la incertidumbre económica que atravesaba el mundo debido a la pandemia, en la cual criptomonedas como Bitcoin y Ethereum se consolidaban como la preferencia a la hora de invertir. Este crecimiento solo se vio interrumpido cuando Elon Musk uno de los mayores inversores e impulsores de este mercado, expuso al mundo las condiciones en las que seguiría negociando con criptomonedas, ocasionando que se elevaran los precios, luego cayeran y luego se vuelvan a recuperar; fue así que la primera subida se daría cuando decidió aceptar Bitcoin en la venta de sus automóviles, posteriormente estas caerían cuando se negó aceptar esta criptomoneda por consumir mucha energía, y nuevamente subirían cuando decidió aceptar criptomonedas siempre que estas provengan de fuentes de energía limpia. Siendo la primera vez, desde su creación que razones adyacentes al cambio climático fueran causa de la volatilidad del mercado de los criptoactivos¹.

Después de muchos meses de crecimiento, este año el mundo de las criptomonedas está atravesando uno de sus momentos más crítico; la incertidumbre global y la inflación están ocasionando que menos personas se arriesguen a invertir en activos de alto riesgo, evidenciando la caída del precio de las criptomonedas y un estancamiento del mercado hasta la fecha. A pesar de este escenario con tendencia

¹ Información disponible en: <https://cnnespanol.cnn.com/2022/06/16/criptomonedas-enfria-auge-caida-monedas-virtual-orix/>

bajista, monedas como el Bitcoin y Ethereum, se mantienen como las primeras opciones a la hora de decidir dónde invertir.

Desde su creación, diversas discusiones se han desarrollado en torno a las criptomonedas, algunas que revisan desde el campo teórico la denominación de moneda, la comparación y viabilidad frente al uso de la moneda tradicional, otros las posibilidades sociales y tecnológicas que podrían otorgar los criptoactivos en tiempos donde la digitalización de la vida se hace más urgente, y otros más, relacionados a su viabilidad para una economía más prospera. Sin embargo, muy poco se ha discutido sobre las implicancias ambientales que trajo consigo el desarrollo de esta tecnología; después de más una década de creación de la primera criptomoneda y debido al contexto de cambios climáticos agudos que va experimentando el planeta, se empieza a levantar cuestiones sobre la viabilidad de las criptomonedas, no solo en términos de valor-uso para el sistema económico, sino también para nuestro medio ambiente.

Encontrar estudios que nos permitan comprender como ha evolucionado el impacto ambiental de este mercado digital, será un referente no solo para aquellos que negocian en criptoactivos, sino también para toda la comunidad interesada en seguir investigando y construyendo soluciones hacia una sociedad digitalizada y compatible con nuestro medio ambiente.

Por lo tanto, propiciar investigaciones sobre su viabilidad ecológica se hacen cada vez más necesaria ya que esta tecnología digital con futuro incierto todavía se mantiene vigente a pesar de sus grandes pérdidas económicas, es así que inclusive algunos medios periodísticos como la BBCNews, El País, entre otros medios de información no tan conocidos, ya resaltan el problema que se observa en el funcionamiento de esta tecnología. Se habla del alto consumo de energía que demanda la mineración de criptomonedas, principalmente el Bitcoin, la contaminación que genera su producción, y su participación en el cambio climático, esto sin considerar los residuos tecnológicos provenientes de las actualizaciones de hardware que se requieren para seguir minerando y transaccionando criptoactivos.

Ante esta situación, se plantea el siguiente problema, ¿Cómo se muestra el consumo energético de las principales criptomonedas como Bitcoin y Ethereum en el

cambio climático?, la conjetura a la que se llega es que el consumo energético de estas criptomonedas se presenta como un problema ambiental al demandar grandes cantidades de energía no sustentable sumándose a la huella de carbono principal indicador del cambio climático. Es por ello que el objetivo principal de este trabajo académico, será revisar el consumo energético de las principales criptomonedas Bitcoin y Ethereum respecto al cambio climático; desarrollando para ello objetivos específicos como, analizar la evolución del cambio climático y la huella de carbono del consumo de energía, así como describir el funcionamiento de las criptomonedas y mostrar el consumo energético y la huella de carbono de la minería del Bitcoin y Ethereum. Para tales propósitos se utilizó como metodología una revisión bibliográfica descriptiva que permitió revisar los conceptos y situación actual del tema; se utilizó información proveniente de artículos científicos e informes de entidades multilaterales y privadas que ayudaron a conceptos sobre el cambio climático y las criptomonedas; posteriormente se revisó investigaciones provenientes de artículos periodísticos, científicos y de centros de estudio especializados que analizaron el consumo energético de las criptomonedas y la presencia que tienen en la huella de carbono.

De esta forma, se inició explicando en la segunda sección el significado del cambio climático, como fue evolucionando, y la participación del consumo energético en la huella de carbono, con la finalidad de comprender la relación que tiene el consumo energético con el cambio climático. El tercer ítem destinado a las criptomonedas, abre camino al concepto de las criptomonedas, su origen, las principales criptomonedas del mundo, sus características, algunas ventajas y desventajas que vienen con ellas y como estas han conseguido ser adoptadas en diferentes partes del mundo en los últimos años, el último ítem de esta sección se destinó a describir la tecnología con la que funcionan y como se crean; de manera que el lector profundice conocimientos previos sobre los cryptoactivos. En el cuarto ítem, se desarrolló las implicancias ambientales de las criptomonedas, aquí se describió el consumo energético que genera el funcionamiento de las criptomonedas, las fuentes energéticas que subyacen al consumo de energía y la huella de carbono que genera su producción, la finalidad de este ítem es revisar el consumo energético de las criptomonedas con la huella de carbono. Por último, en las consideraciones finales se unirán algunas notas previas para entender la relación entre el cambio climático y las criptomonedas.

2 CAMBIO CLIMÁTICO

2.1 CONCEPTUALIZACIÓN

Uno de los problemas a los que el mundo se enfrenta y sobre el cual gobiernos e instituciones van trabajando para contrarrestar, es el cambio climático. De los conceptos existentes sobre el cambio climático, los más aceptados dentro de la comunidad científica y en la política multilateral son los que siguen a continuación.

Desde una mirada científica, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio climático (IPCC), en su glosario nos dice que el cambio climático es, la variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. De igual manera la Organización Meteorológica Mundial, explica que, el cambio climático se refiere a una variación estadísticamente significativa en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un periodo prolongado (normalmente, décadas o más). El cambio climático puede deberse a procesos naturales internos o a factores externos, como cambios persistentes en la atmósfera o cambios en el uso de la tierra.

Por otra parte, con un punto de vista más político, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en el Artículo 1 de los acuerdos elaborados en 1992 nos indica que, “por “cambio climático” se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (CMNUCC, 1992, p.3).

De estos conceptos es importante resaltar que la variabilidad del clima está relacionada a las fluctuaciones identificables en periodos cortos, que al ser observadas de forma consecutiva, es decir por varias décadas, se denominan cambio climático; las fluctuaciones en el sistema climático² pueden darse por fuerzas externas como la

² El sistema climático es un sistema complejo que integra 5 subsistemas; la atmósfera, la hidrósfera, la superficie terrestre, la biosfera y la criósfera; los cuales se acoplan e intercambian energía para autorregularse. (VIDA, 2009, p.52)

variación de la radiación solar, variaciones de los parámetros orbitales, entre otros y fuerzas internas relacionadas a los cambios en el uso de la tierra o a la composición de la atmósfera inducidos generalmente por el ser humano. Radicando aquí una diferencia entre lo que consiste un cambio climático ocasionado por una variabilidad natural³ en respuesta a fuerzas periódicas o aleatorias y un cambio climático influenciado netamente por el incremento de la actividad humana. “Desde aproximadamente 1950 se han observado cambios en muchos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos. Algunos de estos cambios han sido asociados con influencias humanas, como por ejemplo la disminución de las temperaturas frías extremas, el aumento de las temperaturas cálidas extremas, la elevación de los niveles máximos del mar y el mayor número de precipitaciones intensas en diversas regiones”. (IPCC, 2014, p.7).

2.2 EVOLUCIÓN

Nuestra atmósfera es constantemente influenciada por fuerzas externas; como las variaciones orbitales, las variaciones solares, entre otros; y fuerzas internas como, el movimiento de las masas terrestres, la circulación del océano y las variaciones en la composición atmosférica, ocasionando que nuestro sistema climático al autorregularse genere variaciones en el clima.

Una de las fuerzas más importante, es el cambio en la composición de nuestra atmósfera⁴; durante miles de años, la composición atmosférica, especialmente los gases de efecto invernadero (GEI)⁵, fueron cambiando debido a la liberación de mismos por movimientos en la corteza terrestre u otros fenómenos naturales que experimentó la

³ La variabilidad natural, hace referencia a aquellas fluctuaciones de las variables climáticas (temperatura, humedad, el viento, las precipitaciones, entre otros) respecto a una medida promedio o normal de su comportamiento. (VIDA, 2009, p.53)

⁴ Atmósfera, envoltura gaseosa que rodea la Tierra. La atmósfera seca está compuesta casi enteramente por nitrógeno (coeficiente de mezcla volumétrico: 78,1%) y oxígeno (coeficiente de mezcla volumétrico: 20,9%), más cierto número de gases traza, como argón (coeficiente de mezcla volumétrico: 0,93%), helio y ciertos gases de efecto invernadero radiativamente activos como dióxido de carbono (coeficiente de mezcla volumétrico: 0,035%) y ozono. Además, la atmósfera contiene vapor de agua, que es también un gas de efecto invernadero, en cantidades muy variables aunque, por lo general, con un coeficiente de mezcla volumétrico de 1%. La atmósfera contiene también nubes y aerosoles. (IPCC, 2013, p.186)

⁵ Ciertos GEI surgen naturalmente, pero están influenciados directa o indirectamente por las actividades humanas, mientras que otros son totalmente antropogénicos. Los principales gases que surgen naturalmente son: vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), ozono (O₃), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Los principales grupos de GEI completamente antropogénicos son: clorofluorocarbonos (CFC), hidrofluorocarbonos (HFC) e hidroclorofluorocarbonos (HCFC) (a los que se denomina colectivamente halocarbonos), y las especies totalmente fluorinadas, como el hexafluoruro de azufre (SF₆). (IDEAM, 2007)

Tierra. Los cambios en la concentración de los GEI y los aerosoles, afectan en la absorción y dispersión de la radiación solar en la atmósfera, así como lo que se pueda emitir en la superficie de la tierra.

Es así que la atmósfera tiene un significativo poder de absorción de radiación solar gracias a la presencia del ozono en sus componentes, y una excelente absorción de radiación infrarroja o de onda larga procedente de la tierra, gracias al vapor de agua, el dióxido de carbono y otros gases. “Tal absorción y su posterior reemisión hacia la superficie hacen que ésta tenga una temperatura apreciablemente superior a la que habría sin la atmósfera. A esto se le llama efecto invernadero, un efecto, por tanto, natural (...)” (VIDE, 2010, p.55) que hace posible que la Tierra almacene la cantidad de energía suficiente para mantenerla en condiciones para la vida. Fue el físico y matemático Joseph Fourier quien, en 1820, gracias a sus estudios de flujos de calor, identifica que la atmósfera aportaba unos 30 °C a la temperatura de la tierra, y es debido al efecto invernadero que la temperatura promedio es de 15° y no -19° que sería sin contar con la atmósfera (CERVIGÓN, LÓPEZ-TAFALL, 2016, p. 20).

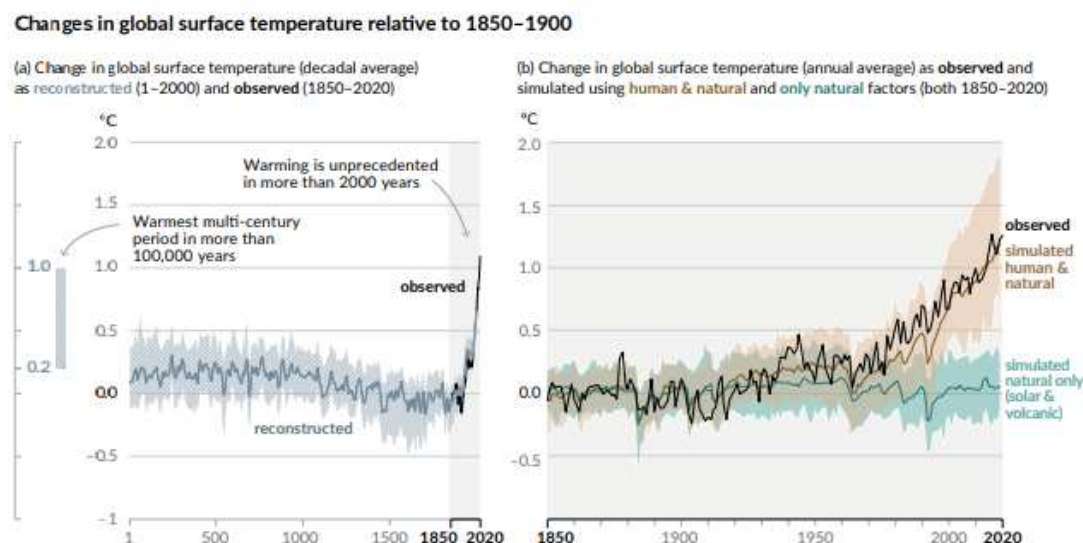
Entonces, la temperatura media de la Tierra viene determinada por el balance de energía recibida del Sol a través de los rayos solares y la energía emitida por la tierra en forma de radiación infrarroja. “Los GEI actúan como filtro que deja pasar la energía que proviene del Sol pero dificulta la emisión de calor desde la Tierra” (CERVIGÓN, LÓPEZ-TAFALL, 2016, p.20), de esa forma cuando hay un aumento de los GEI, también se puede observar un aumento en la temperatura. Más adelante en 1859 John Tyndall confirma que “algunos gases, como el metano y más tarde el dióxido de carbono, eran opacos a las radiaciones infrarrojas, “atrapando” las radiaciones, emitidas por la tierra” (USEROS, 2012, p.78). A esta confirmación le siguen diversas investigaciones enfocadas en analizar el incremento del dióxido de carbono y sus efectos en el sistema climático; se recogen evidencias de que la actividad humana es la principal responsable de la concentración de este gas y de la emisión de otros gases como los clorofluorcarbonados (CFC) incrementando el efecto invernadero de la Tierra.

El IPCC⁶ confirma en su primer informe emitido en 1990 que hay de un efecto

⁶ La ONU en 1988 a través el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), crea el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), un

invernadero natural que hace a la Tierra más cálida y que los gases procedentes de las actividades humanas potencian este efecto, lo que produciría un calentamiento adicional en la superficie de la tierra repercutiendo en el aumento del vapor de agua que a su vez contribuiría al aumento del efecto invernadero. Posteriormente con la publicación de sus siguientes informes, afirman que el calentamiento del sistema climático ocurre desde 1950 a niveles superiores de los comparados con decenios anteriores, debido principalmente por el incremento de los gases de efecto invernadero resultantes del crecimiento económico y demográfico.

Figura 1: Cambios en la temperatura global de la superficie



Fuente: Climate Change 2021 – The Physical Science Basis

En su quinto informe de evaluación, publicado en el 2014, nos indica que, las emisiones antropógenas acumuladas de gases de efecto invernadero (GEI) desde la era preindustrial han experimentado grandes aumentos en las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Entre 1750 y 2011 las emisiones antropógenas de CO₂ a la atmósfera acumuladas fueron de $2\,040 \pm 310$ GtCO₂. La captura de las emisiones de CO₂ se reparten entre las plantas, los suelos y los océanos, y un 40% de este se concentra en la atmósfera. “Las emisiones de CO₂ procedente de la combustión de combustibles fósiles y los procesos industriales contribuyeron en torno al 78% del aumento total de emisiones de GEI” (IPCC, 2014, p.5).

órgano científico que reunirá y emitirá informes sobre el avance del cambio climático y sus repercusiones en el medio ambiente.

Así mismo, las emisiones anuales de GEI antropógenas entre el 2000 y 2010 registraron un aumento de 10 GtCO₂-eq, proviniendo en un 47% del sector energía, un 30% de la industria, 11% del transporte. “(...) Está demostrado que el desarrollo socioeconómico, en su más amplio sentido, la evolución demográfica, las pautas de producción y consumo, los adelantos tecnológicos y otros factores, son los principales responsables de las emisiones de GEI y aerosoles a la atmósfera y sus concentraciones en la misma y consecuentemente originantes del cambio climático (...)”. (USEROS, 2013, p.86). La información emitida el 2021 por el grupo de trabajo de bases científicas para la elaboración del Sexto Informe del IPCC, muestra el incremento y cambio de la temperatura global de la superficie terrestre hasta el 2020, tal como se observa en la Figura N°1, el calentamiento que presenta la superficie entre el año 1850 y 2020, no tiene precedentes, convirtiéndose en el período más cálido en más de 100,000 años; así mismo al realizar simulaciones utilizando factores humanos y naturales, y solo factores naturales dentro de ese mismo período, muestran la enorme influencia que genera la actividad humana para el incremento de la temperatura, frente a un incremento proveniente de factores naturales.

2.3 CONSUMO ENERGÉTICO Y CAMBIO CLIMÁTICO

Con la revolución industrial del siglo XVIII, se gesta también la revolución energética, “la sociedad industrial entró en una dinámica de crecimiento económico que estimuló el descubrimiento de nuevas fuentes de energía, cuanta más energía se producía, más energía se buscaba, cuya fuente más importante, en ese entonces fue el carbón, seguida del petróleo y el gas natural” (RUEDO, GUY, ORTIZ, 2017, p.47). A medida que la población aumentaba y el nuevo sistema capitalista se asentaba, la explotación de los recursos naturales también se incrementaba, y con mayor velocidad, las relacionadas a los suministros energéticos, factor determinante para el crecimiento económico y el desarrollo de los países industrializados.

Por lo tanto, la relación de los recursos energéticos con el crecimiento económico implica que, ante un ritmo de crecimiento acelerado y desmedido se genera un incremento en la demanda energética, indispensable para sostener justamente ese

crecimiento, una demanda que cada vez se ve superada por los altos niveles de consumo, un proceso que no ha parado desde el inicio de la Revolución Industrial, donde todos los países tienen más necesidad de incrementar sus suministros energéticos con consecuencias adversas para el ambiente, especialmente en materia atmosférica, en los ámbitos local, regional y global, cuyos daños se han ido generando de manera constante por la naturaleza misma de las actividades energéticas (exploración, extracción, transporte, etcétera), así como por siniestros causados accidentalmente. (RUEDO, GUY, ORTIZ, 2017, p. 58)

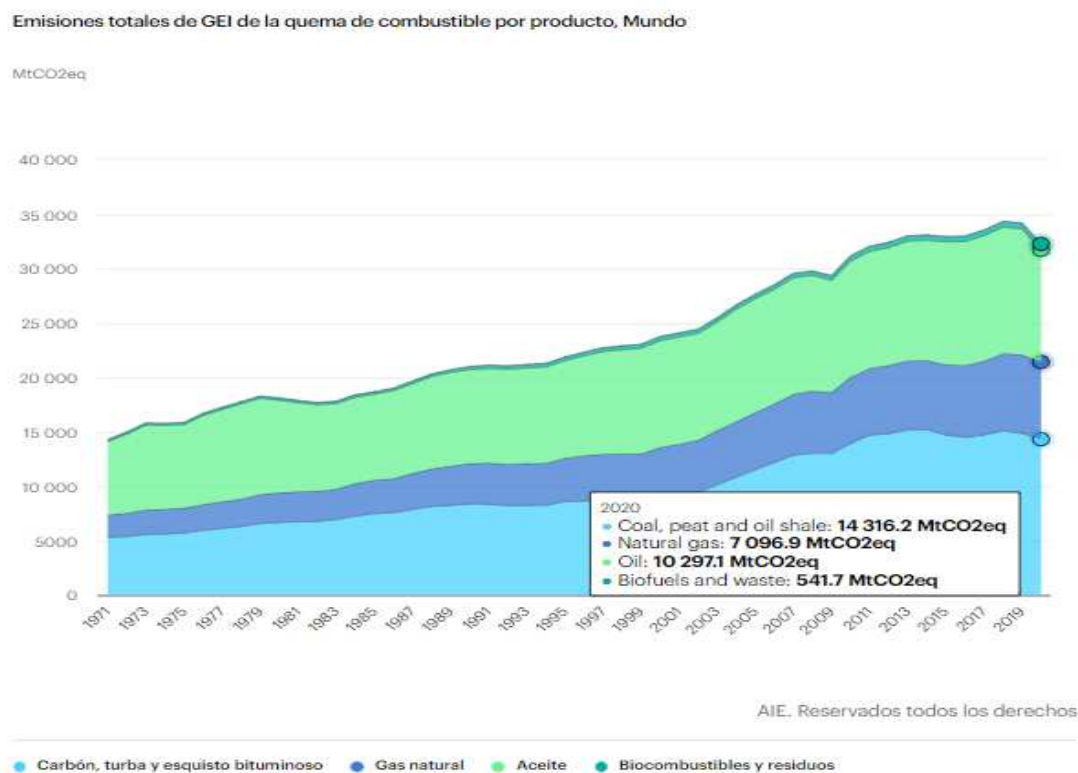
Actualmente diversos países y organizaciones multilaterales, reconocen la importancia de la creación de políticas para la reducción y monitoreo de las emisiones de GEI e inclusive países ponen en marcha diversas acciones para mantener la temperatura de la tierra menor a 1.5°. Entre estas acciones y políticas se encuentra la delimitación de la huella de carbono, el cual “representa la cantidad de gases efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios” (et.al. ESPÍNDOLA, 2012, p.164), expresada en toneladas de CO₂ equivalentes este indicador sería una herramienta que ayudaría al control y monitoreo de las emisiones de GEI a la atmósfera.

La Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés), menciona que, actualmente “se estima que la energía representa más de dos tercios de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial” (IEA, 2022, s/p). Si bien, los objetivos están en ruta, la realidad es que la dependencia energética del mundo por los combustibles fósiles es una realidad aún difícil de cambiar, el Organismo Latinoamericano de Energía (OLADE), en su cartilla de información indica que, el “1/3 de la energía global es utilizada en la industria para la fabricación de materiales, y son el cemento, acero, papel, plástico y aluminio los que mayor energía consumen, 1/3 está relacionado con el transporte y el 1/3 restante representa el consumo eléctrico”. (OLADE, 2016, p.1)

Durante el 2020 disminuyó la demanda de energía y como consecuencia también se redujo la quema de combustibles, esto influyó en la reducción de las emisiones de CO₂, permitiéndole temporalmente a la tierra tomar un respiro de las cantidades de GEI que recibe constantemente. Para el 2018, las emisiones totales tocaban el pico máximo desde 1970, los GEI totales emitidos eran de 34 335.6 MtCO₂eq, de la cual, la quema de

carbón, turba y esquisto bituminoso emitió 15 105.0 MtCO₂eq, el gas natural 7 082.4 MtCO₂eq, el petróleo se situaban en 11 616.9 MtCO₂eq y el biocombustible se encontraba en 531.3 MtCO₂eq.

Figura 2: Emisiones totales de gases de efecto invernadero en el Mundo



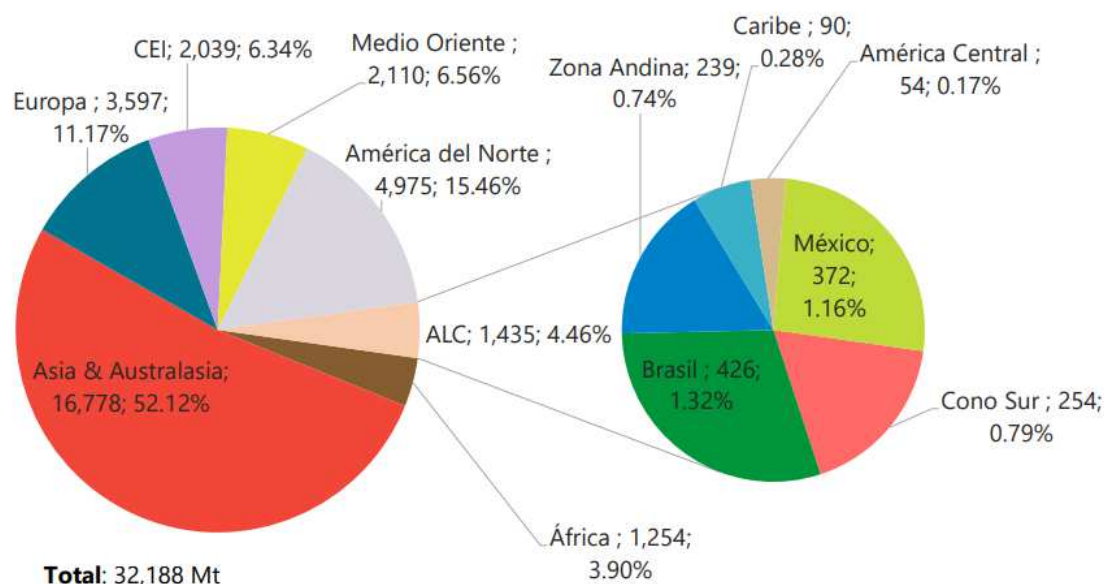
Fuente: Agencia Internacional de Energía, 2022. Disponible en: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/greenhouse-gas-emissions-from-energy-data-explorer>

Tal como se muestra en la Figura N°2, las emisiones de CO₂ por la quema de combustibles se redujeron en el 2020, esto principalmente a causa de la coyuntura sanitaria que vivió el mundo con la COVID-19, para ese año, los GEI emitidos por la quema de carbón, turba y esquisto bituminoso eran de 14 316.2 MtCO₂eq, por el gas natural 7 096.9 MtCO₂eq, por el aceite 10 297.1 MtCO₂eq y por el biocombustible 541.7 MtCO₂eq, sumando un total de 32 251.9 MtCO₂eq en ese año.

Si bien la demanda de los combustibles fósiles fue reducida, aún estos “representaban el 80% del suministro total de energía (TES) a nivel mundial, con el petróleo representando el 29%, seguido del carbón (27%) y el gas natural (24%). Las

emisiones globales de la quema de combustible estuvieron dominadas por el carbón (45%), seguido del petróleo (32%) y el gas natural (22%)". (IEA, 2022, s/p) Siendo EE.UU y China, los países que mayor cantidad de CO₂ emiten.

Figura 3: Emisiones totales de CO₂ por subregiones en el 2020



Fuente: Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2021

Para Jiménez (2021, p.15), en el 2019 ALC asumía el 8% de las emisiones globales, equivalentes a 4 000 millones de toneladas de CO₂ y de este porcentaje el 46% era proveniente del sector energético. Tal como se muestra en la Figura N°3, para el 2020, la región tiene una participación aproximada del 5% de emisiones de GEI provenientes de la energía; en la cual México y Brasil concentran la mayor cantidad de emisiones con un 1.32% (426 MtCO₂) y 1.16% (372 MtCO₂).

ALC se destaca por poseer uno de los sectores eléctricos más limpios del mundo. El 60 % de su electricidad proviene de fuentes hídricas (47.3 %) y de fuentes renovables y nuclear (13,2 %), mientras que a nivel global es justamente lo contrario, el 62.80 % es térmico de fuentes fósiles y la diferencia una combinación de renovables, incluyendo la hídrica y nuclear. Pero además algunos países como Costa Rica y Uruguay pueden abastecer cerca del 100 % de sus necesidades eléctricas de fuentes renovables. (JIMÉNEZ, 2021, p.15)

A pesar de contar con una matriz energética renovable y sostenible la participación del sector eléctrico en ALC representa menos del 20% de consumo final de energía, siendo sobrepasado por el petróleo y gas natural.

3 CRIPTOMONEDAS

3.1 DEFINICIÓN

El 2009 marca un inicio en las concepciones sobre posibilidades del dinero y las formas en que estas se pueden transaccionar, debido a la creación de una moneda electrónica que podría ser negociada en cualquier parte del mundo y de forma descentralizada, definiendo a esta moneda como “una cadena de firmas digitales”⁷, las cuales serán conocidas alrededor del mundo como criptomonedas.

Una criptomoneda es según el Banco Central Europeo: “un tipo de dinero no regulado, digital, que se emite y por lo general es controlado por sus desarrolladores, utilizado y aceptado entre los miembros de una comunidad virtual específica” (MORENO, RODRIGUEZ, GIRALDO, 2022, p.2). Así mismo el Banco Santander la define como, “un activo digital que emplea un cifrado criptográfico para garantizar su titularidad y asegurar la integridad de las transacciones, y controlar la creación de unidades adicionales, es decir, evitar que alguien pueda hacer copias como haríamos, por ejemplo, con una foto. Estas monedas no existen de forma física: se almacenan en una cartera digital”⁸.

Diversas investigaciones también se han encargado de darle una definición a las criptomonedas, cada una desde su propia perspectiva. Es así que García define a la criptomoneda como “una moneda digital o virtual que utiliza la criptografía para establecer un nivel de seguridad, como moneda pueden ser intercambiadas y operadas como cualquier otra divisa tradicional, pero estas se encuentran fuera del control de los gobiernos e instituciones financieras. (GARCÍA, 2018, p.3). Complementariamente Cadena nos dice que también pueden ser definidas como, “cualquier tipo de unidad digital, creada u obtenida mediante el cálculo matemático, cuyo sistema está basado en internet y que se utiliza como un medio de cambio o una forma de valor digitalmente almacenado” (et al. CADENA, RINCÓN, 2018, p.12).

Algunas características identificables de las criptomonedas son las que siguen a

⁷ NAKAMOTO, Satoshi. Bitcoin: Un sistema de efectivo Electrónico Usuario-a-Usuario. 2008.

⁸ Disponible en: <https://www.santander.com/es/stories/guia-para-saber-que-son-las-criptomonedas>

continuación:

- (i) No tienen representación física.
- (ii) Su emisión es descentralizada.
- (iii) No son controlados por ningún Estado o entidad financiera.
- (iv) Con frecuencia operan en circuitos transnacionales.
- (v) No necesitan intermediación. (CABRERA, LAGE, 2021, p.3)

Las definiciones coinciden en que las criptomonedas son unidades digitales apoyadas de criptografía para que puedan cumplir el propósito de medio de pago de una forma segura y descentralizada; como estas no existen de forma física, el registro digital que las caracteriza puede representar tanto unidades monetarias como valores o servicios, por ello además de ser llamadas criptomonedas también son llamadas cryptoactivos.

3.2 ORIGEN

Antes de convertirse en una realidad en el 2009, la idea de las criptomonedas nace muchos años antes del Bitcoin (primera criptomoneda del mundo). En 1983 el criptógrafo David Chaum desarrolla el primer sistema criptográfico denominado eCash en cual fue usado en un banco de Estados Unidos hasta el año 1998, en primera instancia desarrollo un sistema de efectivo electrónico basada en firmas digitales que era gestionadas por el banco con criptografía; para 1995 agrega el componente de la confidencialidad a un nuevo sistema y lo denominaría DigiCash. Tiempo después Wei Dai, ingeniero informático, le seguiría con la publicación de un ensayo donde describe lo que sería el inicio de las criptomonedas y la tecnología blockchain; en su ensayo propone la creación del “b-money”, un sistema de efectivo electrónico distribuido y anónimo, dentro del ensayo especifica las particularidades necesarias para el desarrollo de este sistema, que incluye la utilización de un libro contable apoyada en criptografía, protocolos para la gestión del sistema, además de las recompensas por el trabajo de los participantes.⁹

Años después, ante la necesidad de hacerle frente a un contexto de crisis

⁹ Información disponible en: <https://economia3.com/como-nacen-las-criptomonedas/>

financiera que atravesó el mundo en el 2008, en la cual bancos y corredores de bolsa quedaron en la bancarrota, una persona o grupo de personas bajo el pseudónimo de Satoshi Nakamoto emiten un White Paper llamado Peer to Peer Electronic Cash System, este documento inspirado en el trabajo previo de Dai, “propone un sistema de pago electrónico basado en pruebas criptográficas”. (CABRERA, LAGE 2021, p.3), esbozando lo que sería la primera criptomoneda denominada Bitcoin. “En enero de 2009 nace la red de Bitcoin creándose el primer código abierto, y por lo tanto, el primero bloque de la cadena. No sería hasta finales de 2009 cuando se realiza el primer cambio de dólares por esta moneda virtual, con un cambio de 1,309.03 BTC (Bitcoin) por 1\$” (GARCIA, 2018, p.12). Al año siguiente se utiliza por primera vez en el mercado de bienes para pagar una pizza que costó 10 000 BTC. Años más tarde, en el 2015 ingresaría al mercado la segunda criptomoneda conocida como ETHER de la compañía Ethereum.

3.3 PRESENCIA MUNDIAL

Desde la emisión de la primera criptomoneda; muchas monedas digitales, han ingresado a este mercado, debido a la facilidad con la que pueden ser creadas y las pocas o nulas regulaciones que existen entorno a ellas.

3.3.1 Principales criptomonedas

Cautivados con la revolucionaria forma de un sistema de transferencia monetario que descansa en la tecnología y no en bancos centrales, muchas personas se impulsaron a desarrollar y emprender en el mundo de los criptoactivos. Tal como lo comenta Cabrera Y Lage (2021), “el atractivo de estas ideas, la curiosidad, la difusión de mensajes que lo señalan como *el dinero del futuro*, el anonimato en las transacciones y el interés especulativo, entre otros, llamaron la atención de potenciales usuarios y/o creadores de criptoactivos” (CABRERA, LAGE, p.5). Tal fue su acogida que actualmente existen alrededor de 20 000 criptoactivos en el mundo¹⁰, este monto incrementa y decrece por el ingreso nuevos criptoactivos o por aquellos que dejan de circular por ser proyectos poco atractivos para los usuarios.

¹⁰ Información basada en el artículo del portal Criptonoticias. Disponible en: <https://www.criptonoticias.com/criptopedia/cuantas-criptomonedas-existen/>

En general las criptomonedas presentan ciertas ventajas y desventajas a la hora de considerarlas como posibles inversiones. Dentro de las ventajas se puede mencionar lo siguiente:

- Al no encontrarse vinculadas a la política monetaria de un país, se convierten en monedas mundiales.
- Al no existir intermediarios, permite que las transacciones se puedan realizar de forma directa con quien se desea intercambiar criptoactivos.
- Las transacciones se pueden realizar desde y para cualquier parte del mundo por su capacidad transnacional.
- Brindan transparencia en las operaciones que se realizan ya que estas quedan registradas en un libro mayor para que puedan ser consultadas en cualquier momento.
- Otorgan privacidad a los usuarios de las cuentas, el protocolo que ejecutan las criptomonedas otorga la información necesaria al receptor.
- La compleja criptografía que emplean, es la que le brinda seguridad al sistema.

En contra parte, las desventajas que se identifican son:

- Existen necesariamente con el uso del internet, siempre requerirán de una conexión para utilizarlas.
- La volatilidad de su valor, si bien puede ser una ventaja para algunos que la ven como oportunidad de negocio, también se presenta como un problema por su elevado riesgo de inversión, pudiendo perder en mucho dinero en un solo día.
- A pesar de la seguridad que ofrece la criptografía que aplican, pueden ser objeto de ciberataques.
- No se puede revertir las transacciones una vez sean estas sean integradas a la cadena de bloques.
- Algunas criptomonedas son utilizadas para la creación de esquemas piramidales que se muestran con una capitalización similar a proyectos exitosos del mercado y terminan siendo una estafa.
- Su uso limitado en el comercio tradicional no permite que sus usuarios accedan a bienes y servicios de forma regular.
- La poca o nula regulación que existe para los criptoactivos las convierte en un

medio facilitador para el narcotráfico o el terrorismo.

- Los impactos ambientales que se originan de la mineración y el hardware que se requiere para realizar esta acción.

De acuerdo a García, “las diferencias fundamentales que presentan entre todas ellas son, por un lado, la tecnología que utilizan y por otro, la filosofía de su diseño. De esta forma, aunque la mayoría de las criptomonedas emplean la tecnología blockchain, cada una implementa ciertas variaciones que permiten innovar unas frente a otras, haciéndolas más rápidas en procesar transacciones, más seguras, o bien más eficientes” (GARCÍA, 2021, p.17). Incluso muchas de estas criptomonedas son creadas utilizando la tecnología del Bitcoin, algo parecido a extensiones de ella, con la finalidad de reducir costos y evitar las complicaciones respecto a los conocimientos técnicos que requeriría crear una criptomoneda con un nuevo diseño tecnológico.

Figura 4: Principales criptomonedas

#	Nombre	Precio	1h %	24h %	7d %	Cap. de Mercado	Volumen (24h)	Acciones en circulación
1	 Bitcoin BTC	\$17,054.67	▲ 0.01%	▼ 1.25%	▲ 4.87%	\$327,883,388,959	\$21,331,183,932 1,251,508 BTC	19,225,431 BTC
2	 Ethereum ETH	\$1,265.79	▼ 0.10%	▼ 1.91%	▲ 7.48%	\$154,899,264,294	\$5,912,234,771 4,673,196 ETH	122,373,866 ETH
3	 Tether USDT	\$1.00	▲ 0.00%	▼ 0.01%	▲ 0.05%	\$65,581,482,317	\$28,008,838,661 28,007,064,236 USDT	65,576,715,611 USDT
4	 BNB BNB	\$290.22	▲ 0.16%	▼ 2.05%	▼ 1.60%	\$46,425,580,898	\$675,912,016 2,331,704 BNB	159,969,528 BNB
5	 USD Coin USDC	\$1.00	▲ 0.01%	▲ 0.00%	▼ 0.01%	\$43,161,255,725	\$2,210,987,124 2,211,116,165 USDC	43,156,360,391 USDC
6	 Binance USD BUSD	\$1.00	▼ 0.02%	▼ 0.04%	▼ 0.03%	\$22,083,800,345	\$5,652,369,540 5,651,549,745 BUSD	22,079,962,056 BUSD
7	 XRP XRP	\$0.3865	▼ 0.99%	▼ 0.83%	▼ 0.30%	\$19,425,476,084	\$863,229,630 2,228,473,712 XRP	50,260,446,248 XRP
8	 Dogecoin DOGE	\$0.1024	▲ 0.05%	▼ 1.80%	▲ 1.21%	\$13,582,324,386	\$1,038,416,770 10,146,111,847 DOGE	132,670,764,300 DOGE
9	 Cardano ADA	\$0.3204	▼ 0.00%	▼ 0.85%	▲ 4.07%	\$11,042,323,829	\$198,085,358 618,722,129 ADA	34,459,306,811 ADA
10	 Polygon MATIC	\$0.9183	▲ 0.04%	▼ 1.45%	▲ 10.69%	\$8,020,443,753	\$311,953,291 339,497,931 MATIC	8,734,317,475 MATIC

Fuente: Portal CoinMarket, extraído en diciembre del 2022.

En la figura N°4, podemos ver las 10 criptomonedas con mayor capitalización de mercado, a pesar de la diversidad de las monedas existentes y de las que integran la lista de las 10 con mejor capitalización, es notoria la diferencia de la participación de Bitcoin y Ethereum en el mercado de las criptomonedas; “bitcoin conserva un dominio del 38,56%. Mientras, Ethereum permanece en el segundo lugar con una participación de 16,28%”¹¹. BTC es la criptomoneda más cara del mercado, con un precio de \$17 054.67 = 1 BTC, consolidándose como la moneda virtual más popular, seguida inmediatamente por Ethereum con un precio de \$1265.79 = 1 ETHER. Aún con la volatilidad de sus precios actualmente consideradas como las monedas más valiosas del mercado, no solo en términos de su precio, sino también por su antigüedad.

Si bien todas las criptomonedas se desarrollan con la tecnología Blockchain, cada una guarda ciertas características que las diferencia, ya sea implementado cambios técnicos o en el concepto de su creación. Tal es el caso de Bitcoin y Ethereum, que utilizan la misma tecnología, pero aplicada de forma diferente, se detallará algunas características de estas dos criptomonedas:

Bitcoin: Creada el 03 de enero del 2009, es la primera criptomoneda en salir al mercado, es también la plataforma inicial de la tecnología blockchain, las demás criptomonedas están inspiradas en esta red para elaborar la suya con características propias. Realizan su protocolo de consenso mediante pruebas de trabajo (PoW) y utilizan el algoritmo de hash SHA-256. Está previsto que solo existan 21 millones de bitcoin en el mundo. Una transacción es recibida en segundos y toma 10 minutos aproximadamente para recibir la confirmación (tiempo de bloque).

Ethereum: Creada el 30 de julio de 2015, es la segunda empresa con mayor capitalización en el mercado después del Bitcoin, utiliza también la tecnología blockchain, y se caracteriza principalmente por la ejecución de contratos inteligentes. “Ethereum es programable significa que puede crear aplicaciones que usan la cadena de bloques para almacenar datos o controlar lo que puede hacer su aplicación. Esto da como resultado una cadena de bloques de propósito general que se puede programar para hacer

¹¹ Porcentajes extraídos en octubre del 2022 según Portal Criptonoticias. Disponible en: <https://www.criptonoticias.com/criptopedia/cuantas-criptomonedas-existen/>

cualquier cosa”¹². Su criptomoneda se denomina Ether (ETH). Actualmente se encuentran en proceso de migración de protocolo de consenso de PoW a PoS (Prueba de participación) y utilizan el algoritmo Ethash. La emisión de Ether's (criptomonedas de la red Ethereum) es ilimitada por el momento y el tiempo de respuesta de la confirmación de las operaciones se realiza en segundos.

3.3.2 Situación Actual

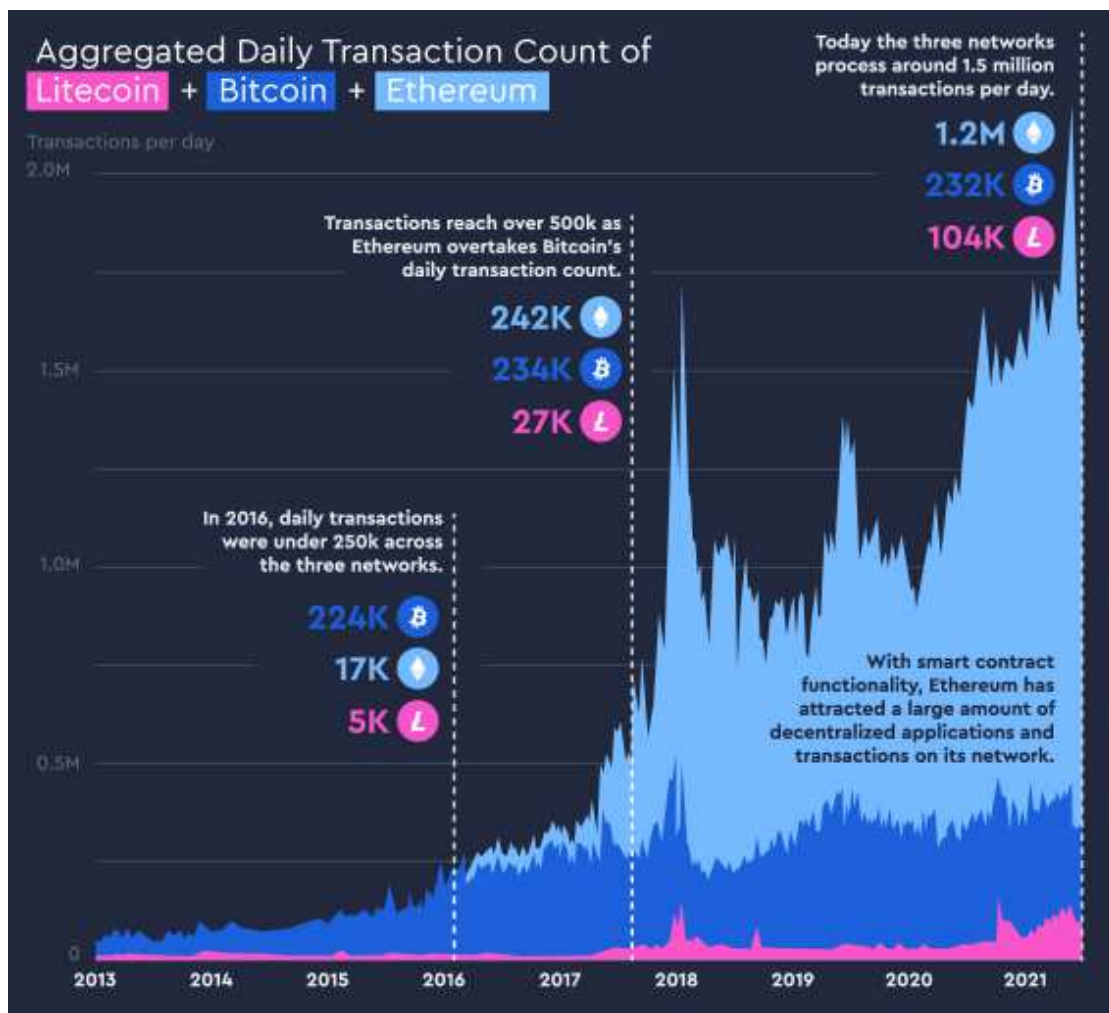
A pesar de todas las discusiones alrededor de las criptomonedas, estos han conseguido incrementar su popularidad y su participación en el mercado financiero.

En la Figura N°5, se puede ver la evolución de las transacciones realizadas por día de 3 criptomonedas, Bitcoin, Etherreum y Litecoin; donde se muestra que hasta el 2021 las operaciones que gestionaban las principales criptomonedas como el Bitcoin y Ethereum superaban el millón de dólares por día, ubicando se en los primeros lugares de las monedas que más se transaccionan. Si bien el Bitcoin es la crypto pionera en el mercado, con la aparición de Ethereum en el 2015, el mercado de criptomonedas empieza a surgir como una opción más interesante. Para el 2017 Ethereum superaba a Bitcoin debido a las ofertas iniciales que emitieron, lo que contribuyó a la especulación y por ende empezaría la carrera de precios.

Los criptoactivos entre el 2020 y 2021 fueron un refugio para muchos inversionistas que buscaban diversificar su dinero por la recesión económica que dejaba en el mundo la COVID-19, este comportamiento llevo a que el mercado de los criptoactivos superara los 3 billones de dólares, siendo su pico más alto en toda su historia. Alza que se vio reflejada en el precio del Bitcoin y Ethereum que llegaron a sobrepasar los 50 000 y 4 500 dólares respectivamente.

¹² Extraído de la página web oficial de Ethereum. Disponible en: <https://ethereum.org/en/what-is-ethereum/>

Figura 5: Evolución de transacciones por día Bitcoin, Ethereum y Litecoin



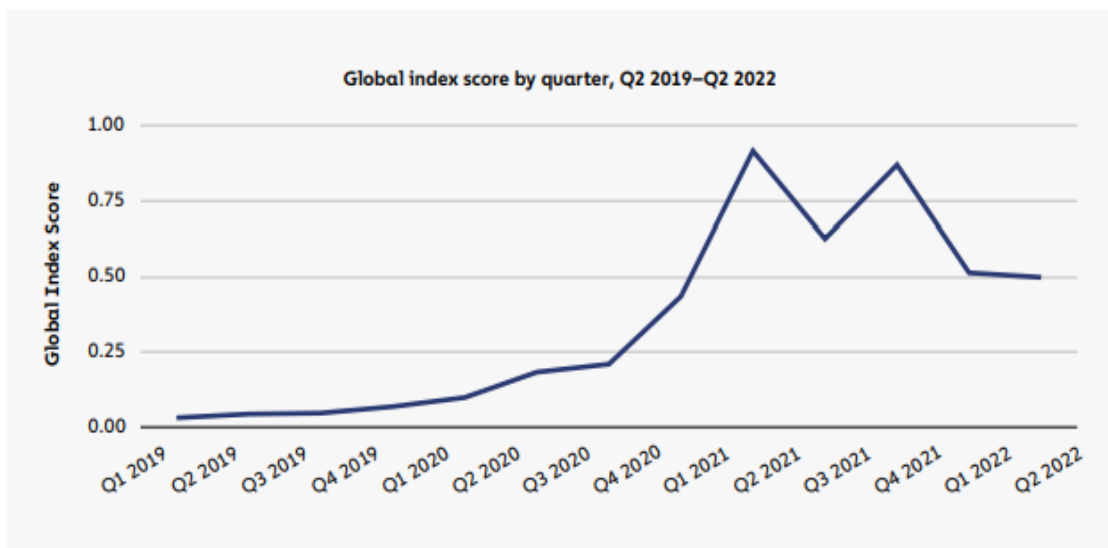
Fuente: Visual Capitalist en colaboración con CoinPayments, 2021. Disponible en <https://www.visualcapitalist.com/sp/visualizing-the-rise-of-cryptocurrency-transactions/>

La consultora Chainalysis, anualmente elabora un índice sobre la adopción de criptomonedas en el mundo, en la Figura N°6 se puede observar el comportamiento trimestral de este índice, desde el año 2019 hasta el segundo trimestre del 2022, el cual tuvo incrementos sin precedentes en el primer y cuarto trimestre del 2021. En su reporte anual menciona que:

La adopción global de criptomonedas alcanzó su máximo histórico actual en el segundo trimestre de 2021. Desde entonces, la adopción se ha movido en oleadas: cayó en el tercer trimestre, que vio caídas en los precios de las criptomonedas, se recuperó en

el cuarto trimestre cuando vimos que los precios repuntaron a nuevos máximos históricos, y ha caído en cada uno de los dos últimos trimestres ya que hemos entrado en un mercado bajista. Aun así, es importante tener en cuenta que la adopción global se mantiene muy por encima de sus niveles anteriores al mercado alcista de 2019¹³.

Figura N°6: Índice de adopción global de las criptomonedas



Fuente: Consultora Chainalysis - 3er Reporte Informe sobre la geografía de las criptomonedas de 2022

A pesar de las caídas que ha sufrido el mercado de criptomonedas este año, la consultora ve con optimismo su recuperación, sostienen que gracias a que los tenedores de cryptoactivos a largo plazo decidieron mantenerse firmes aguantando la tendencia bajista, sus carteras, aunque desvalorizadas, tienen la opción de apreciarse porque estas aún no están vendidas, repercutiendo de forma positiva en la recuperación del mercado como un todo.

A nivel mundial, el uso de la aplicación de tecnología de criptomonedas y blockchain ha ido en constante aumento, y América Latina no ha sido la excepción en esta nueva tendencia. En promedio entre los años de 2017 y 2020 las criptomonedas ocuparon el 6% del volumen de bitcoins a nivel global, mientras que para marzo del año

¹³ Global adoption of cryptocurrency reached its current all-time high in Q2 2021. Since then, adoption has moved in waves – it fell in Q3, which saw crypto price declines, rebounded in Q4 when we saw prices rebound to new all-time highs, and has fallen in each of the last two quarters as we’ve entered a bear market. Still, it’s important to note that global adoption remains well above its pre-bull market 2019 levels. (GRAUER, KUESHNER, UPDEGRAVE, 2022, p.8)

2021 aumento a 15,8%. Para abril de 2021, los países latinoamericanos con mayor volumen de criptodivisas fueron Colombia, con el 45% de la región; seguido de Perú con el 13%; Chile con el 12%; México con el 11%; y Brasil con el 11% (CÁRDENAS Y COLEGAS, 2022, p.54)

De acuerdo al portal Statista¹⁴, para el 2022 hubo un ligero incremento de la adopción de criptomonedas en países como Brasil y Mexico con un 19% y 12% respectivamente. Así mismo, las empresas vinculadas a las criptomonedas y a la tecnología blockchain lograron posicionarse dentro de la región brindando servicios relacionados al intercambio de monedas digitales.

El caso más resaltante de aceptación de las criptomonedas es la decisión tomada por el Gobierno Salvadoreño de incluir al Bitcoin como moneda de curso legal dentro de sus fronteras, con aciertos y desaciertos el gobierno aún sigue apostando por el éxito de esta operación, a pesar de la baja aceptación y poco conocimiento de la población de este mercado digital.

3.4 BLOCKCHAIN Y MINERIA

El desarrollo y funcionamiento de las monedas digitales, sientan sus bases en la tecnología blockchain, o también conocido como “cadena de bloques”. Esta tecnología nace con la emisión del primer Bitcoin en 2009, “empezó a funcionar la creación de bitcoins y la base de datos pública e inmutable con las transacciones, conocida como «ledger» (libro de registros)”.(DOLADER, BEL, MUÑOZ, 2017, p.1).

¿De qué se trata esta tecnología y cómo funciona con las criptomonedas? La CEPAL en su informe sobre las tecnologías digitales para un nuevo futuro, nos dice lo siguiente:

Una cadena de bloques actúa como un libro digital que trabaja con un registro único, consensuado y descentralizado para validar información y transacciones. El registro se distribuye en varios nodos de una red y en cada bloque se almacena una

¹⁴ Disponible en: <https://es.statista.com/temas/8539/criptomonedas-en-america-latina-y-el-caribe/#topicOverview>

cantidad de registros o de transacciones válidas, así como información referente a ese bloque y a su vinculación con el bloque anterior y con el siguiente a través de una huella digital única. A medida que se crean nuevos registros, primero son verificados y validados por los nodos de la red, y luego se añaden a un nuevo bloque que se enlaza a la cadena (CEPAL, 2021, p.57)

Así mismo; Dolader, Bel y Muñoz nos dicen que, la cadena de bloques es una base de datos que puede ser compartida por una gran cantidad de usuarios en forma peer-to-peer¹⁵ y que permite almacenar información de forma inmutable y ordenada. (DOLADER, BEL, MUÑOZ, 2017, p.34). Característica que le da un gran potencial para ser aplicada a diversos ámbitos como los contratos inteligentes, inteligencia artificial, entre otros.

De acuerdo a Bartolomeo y Machin (2020), algunos elementos que se relacionan con esta tecnología, son los siguientes: Un *nodo*, que sería aquel dispositivo (por ejemplo: una computadora o laptop) conectado a la red a través de un protocolo o software. Un *hash*, que sería aquel algoritmo matemático que transforma cualquier bloque de datos en una nueva serie de caracteres. Un *nonce*, el cual sería un número aleatorio añadido al hash de cada bloque. Un *bloque*, creado en cada uno de los nodos a partir de la verificación y confirmación de todos los nodos de la red blockchain, y que contiene toda la información sobre las transacciones. Y el *protocolo*, que sería una forma de software informático que establece ciertas reglas que permiten la comunicación y el comportamiento de los nodos en la red blockchain (FACULTAD DE CIENCIAS ENCONÓMICAS UNCUIYO, 2020).

Así mismo, dentro de la red blockchain diferentes tipos de nodos que cumplen una función específica. Los nodos completos, son los que ayudan a cumplir los protocolos (por ejemplo, los protocolos de Bitcoin), ellos almacenan una copia exacta, completa y actualizada de la red, ellos transmiten las transacciones que puedan generar y las de otros usuarios, validan y dan conformidad al bloque creado para luego actualizar la red con esa información. Los supernodos o nodos de escucha, son un puente entre nodos completos, son un punto de comunicación e interconexión con otros nodos. Los nodos de minería, también almacenan una copia exacta y completa de red, con la diferencia de que

¹⁵ Red de ordenadores conectados entre sí para intercambiar información sin necesidad de un servidor fijo (García, 2018, p.7)

estos utilizan un software de minería para proponer bloques a la red, a través del protocolo consenso que ejecuten, estos nodos competirán para que su bloque creado sea el ganador y puedan obtener su recompensa, la particularidad de estos nodos es que, los mineros son quienes al cobrar la recompensa inyectan más criptomonedas a la red. Por último, existen los nodos ligeros, quienes harán parte de la red con una versión ligera de la blockchain, recibirán las transacciones de los super nodos para realizar las validaciones, estos nodos pueden ser ejecutados en teléfonos o tabletas.¹⁶

De acuerdo a García, “el elemento clave de este sistema de bloques es que se encuentra descentralizado: sus usuarios pueden hacer una tracción de una cuenta a otra sin necesidad de un tercer implicado” (GARCÍA, 2018, p.7). Una red descentralizada es formada por varios nodos, quienes se hacen cargo de procesar los datos, almacenar información y trabajar de forma colectiva para la toma de decisiones, a diferencia de una red centralizada, en la cual existe un solo servidor, donde la red se construye en nodos centrales quienes manejan y contienen toda la información. La blockchain, por su naturaleza descentralizada, le permite a cada nodo gestionarse de forma autónoma, e intercambiar información de igual a igual (peer-to-peer), siendo esta característica esencial para que una criptomoneda pueda ser intercambiada sin necesidad de que un banco central intervenga en el proceso.

La blockchain nació con el propósito de prevenir la duplicación de gastos (double spending) de cryptoactivos en un sistema sin una autoridad central o intermediario que controlara la emisión y transferencias de dichos activos. La blockchain permite solucionar dicho problema sin necesidad de acudir a una autoridad central o intermediario al hacer visibles a todos los interesados la totalidad de las transacciones. En efecto, el registro público de las transacciones hace posible prescindir de una autoridad o intermediario dentro de un sistema de pagos. (PADILLA, 2020, p.184)

Como se mencionó en el anterior apartado el nacimiento de esta tecnología se da a la par con la del Bitcoin, en los siguientes párrafos se desarrollará el proceso que recorre una criptomoneda hasta llegar a su receptor.

En el sistema bancario tradicional, cuando una persona desea enviar o guardar

¹⁶ Información disponible en: <https://academy.bit2me.com/que-es-un-nodo/>

dinero utiliza a los bancos y otras entidades similares, las cuales están encuadradas dentro de las normativas de un banco central, entidad regulada por el estado que proporciona seguridad a este sistema. Así, cuando un usuario, quiere enviar dinero, autoriza al banco para realizar la transacción la cual se gestionará en su red y el usuario se deslinda del proceso.

En lo que se refiere a las criptomonedas, los usuarios en lugar de ir a un banco, utilizan una billetera virtual o monedero virtual, las cuales contienen las claves públicas y privadas para enviar o recibir pagos en criptoactivos. Estas claves son las que le dan al usuario la propiedad y derecho de dichas monedas virtuales. La *clave pública*, generada de forma infinita, es usada para recibir monedas de otros usuarios; son direcciones para recibir, consultar y ver el estado de los fondos de determinado movimiento, si se desea encontrar una similitud al sistema bancario tradicional, una clave pública podría ser homóloga a una cuenta bancaria, con la gran diferencia de esta clave es diferente para cada transacción que se realice.

La *clave privada* es única, es aquella “contraseña” o “PIN” que está encriptada, y que le permite al usuario administrar los fondos de determinada dirección dentro de la cadena de bloques, como analogía se asemeja a la clave de seguridad de nuestras cuentas bancarias, “la llave privada se usa para firmar las transacciones emitidas por el usuario; éste especifica las cantidades de moneda a transferir y las llaves públicas de destino” (DOLADER, BEL, MUÑOZ, 2017, p.36). En un lenguaje más sencillo, la clave privada actúa como una llave o firma que nos da derecho sobre determinada clave pública que contengan las transacciones dentro de la red.

Recordemos que las criptomonedas no existen de forma física, con el uso de estas claves, los usuarios transfieren una moneda en forma de *cifrado digital o registro de transacción* que indica el traspaso de la cantidad de criptomoneda de un usuario a otro.

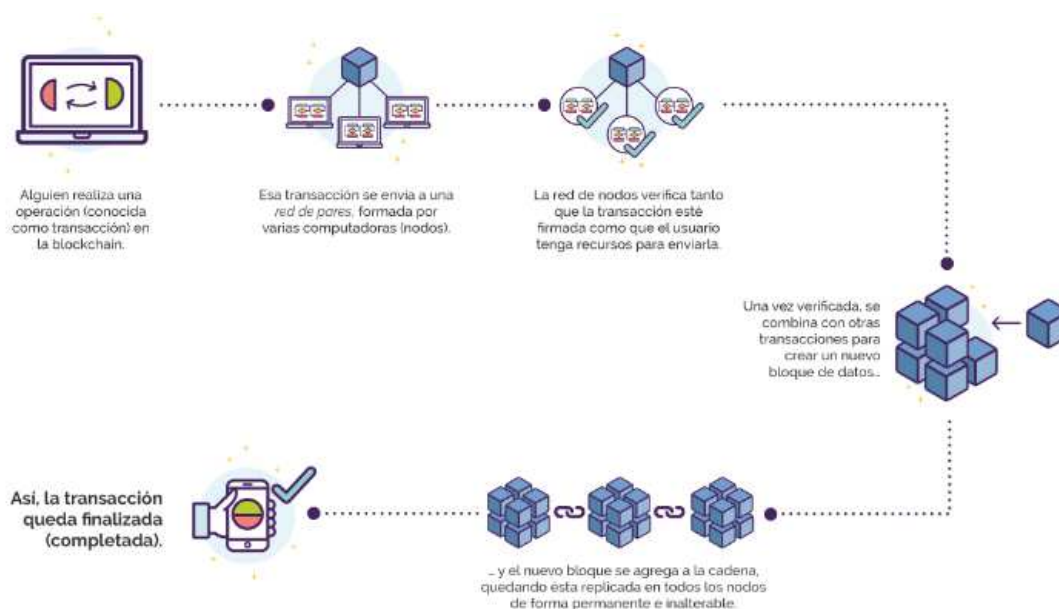
De forma resumida podemos ver en la Figura N°7 como funciona red blockchain, así cuando un usuario realiza una transacción, esta es recibida por nodos completos de la red, las cuales se encargarán de verificar la firma de la transacción, la clave pública del destinatario y los saldos del emisor; posteriormente estos pasarán a ser validados por los

nodos mineros quienes se encargarán de unir esta operación con otras operaciones que ya han sido validadas, para conformar todas ellas un bloque el cual retornará a los nodos completos, quienes verifican la validez del bloque para darle el visto que le permitirá unirse a la cadena de bloques de forma inmutable.

En el caso de bitcoin, la información añadida a la blockchain es pública y puede ser consultada en cualquier momento por cualquier usuario de la red. La información solo puede ser añadida a la cadena de bloques si existe un acuerdo entre la mayoría de las partes. Transcurrido un cierto tiempo, se puede asumir que la información agregada en un bloque ya no podrá ser modificada (inmutabilidad). La creación de nuevos bloques es realizada por nodos denominados «mineros». Los mineros son nodos de la red que participan en el proceso de escritura de datos en la blockchain a cambio de una recompensa económica (DOLADER, BEL, MUÑOZ, 2017, p.34).

Estos mineros ejecutan una versión del software de Bitcoin con un protocolo específico que les permite crear y proponer bloques a la red, por lo tanto, mientras más bloques válidos propongan los mineros, mayor será la recompensa económica que reciben.

Figura 7: Transacciones en la red blockchain



Fuente: Blockchain Federal Argentina. 2022. Disponible en: <https://bfa.ar/blockchain/bloques-y-transacciones>

Es preciso describir con mayor detalle lo que sucede cuando las transacciones son recibidas por los nodos. Una transacción emitida por un usuario en primer lugar viaja hasta los nodos completos¹⁷ más cercanos, ellos se encargarán de verificar la operación, descartarán las transacciones que no cumplan con las condiciones de la red y validarán aquellas que si lo hagan, para ser posteriormente propagadas al resto de nodos que conforman la red, después de ser validadas en toda la red estas serán recogidas por los mineros para trabajar en la creación de los bloques, los cuales contendrán: una cantidad de registros o transacciones, una marca de tiempo y un identificador del bloque, un código hash que vincula el nuevo bloque al anterior y el nuevo hash que deberá ser encontrado por el minero.

El trabajo que ejecutan los mineros al reunir varias transacciones previamente validadas y que puedan conformar un bloque, consiste en

“(...) encontrar un nonce que consiga un valor hash para el nuevo bloque con un determinado número de ceros al inicio. Debido a las características de la función de hash, no es posible calcular estos valores analíticamente, es decir, para obtener un bloque válido, el minero debe recurrir a la fuerza bruta: probar valores del parámetro nonce hasta hallar uno válido. El proceso de probar valores o fuerza bruta es un proceso computacionalmente costoso, de ahí que este mecanismo se conozca como «prueba de trabajo»” (DOLADER, BEL, MUÑOZ, 2017, p.34).

Cuando el minero consigue un hash válido, este es informado a toda la red blockchain, donde cada nodo comprobará la validez del bloque y su vinculación con el hash del bloque que le precede, en caso sea correcto, el bloque será agregado a la cadena, el minero recibe su recompensa y nuevamente repetirá el proceso de minado, con nuevas transacciones que aún no hayan sido agregadas a ningún bloque.

3.5.1 Proof of Work y Proof of Stake

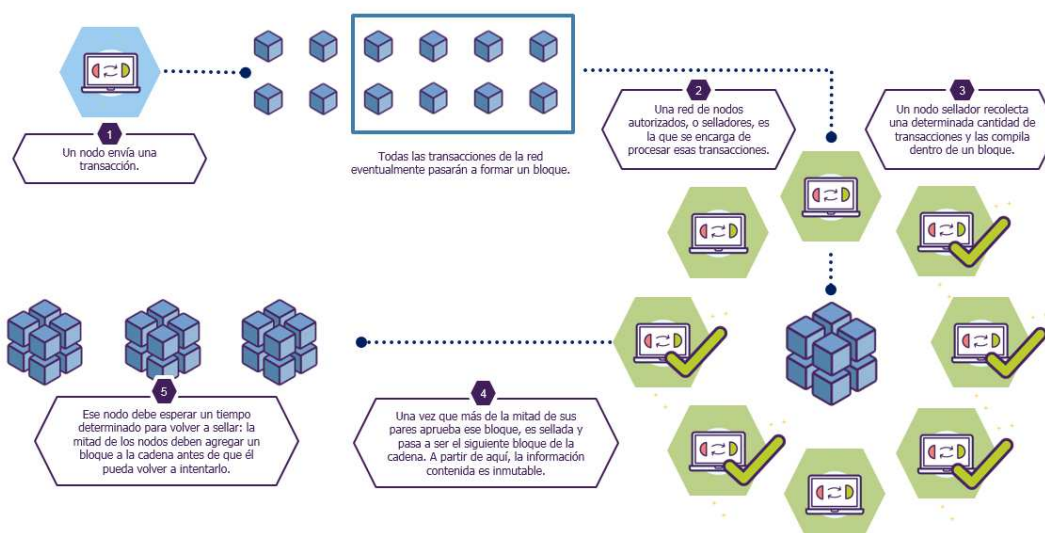
Uno de los protocolos de consenso más antiguos en la mineración de criptoactivos es la Proof of Work (PoW) o Prueba de Trabajo. Utilizado en la mayoría de criptoactivos,

¹⁷ Uno de los tipos de nodos dentro de la red bitcoin, son los nodos completos, ellos al igual que los mineros almacenan una copia completa de la blockchain de Bitcoin.

este protocolo le dio a Nakamoto la posibilidad de crear el Bitcoin. La Figura N°8 muestra el proceso por el cual pasa una operación después de ser validada por un nodo completo y es recogida por un nodo minero, siendo el consenso de la mitad más uno que lo que le permite a un bloque creado unirse a la red.

Por tanto, la PoW consiste en resolver un acertijo matemático o algoritmo, tal como se mencionó anteriormente, es encontrar un nonce para obtener un hash válido; esta resolución solo puede realizarse probando, es decir a prueba y error, por lo que es posible que se deban realizar millones de intentos hasta encontrar la solución, llegar hasta ella significará que el bloque fue creado con su hash respectivo. De manera que, “para poder crear un nuevo bloque se debe generar un hash a través de un procedimiento matemático complejo encaminado a la solución de un acertijo. A esta operación se le conoce como “mining” o minería”. (PADILLA, 2020, p.185).

Figura 8: Prueba de Trabajo



Fuente: Blockchain Federal Argentina. 2022. Disponible en: <https://bfa.ar/blockchain/bloques-y-transacciones>

La característica principal de este protocolo es que le da seguridad a toda la red, a medida que incrementen los mineros también incrementa la dificultad para la creación del hash de un bloque.

La PoW hace que la creación de bloques con la intención de subvertir el consenso tenga un coste alto para el atacante. Por otra parte, la dificultad de este rompecabezas criptográfico es fácilmente ajustable: se puede incrementar la dificultad aumentando el número de ceros necesarios para completar la PoW o decrementarla reduciendo dicho número de ceros. En particular, en bitcoin la dificultad se reajusta cada 2016 bloques (que equivalen a catorce días), con tal de que la creación de nuevos bloques tenga una frecuencia aproximada de un bloque cada diez minutos. (DOLADER, 2017, p.34)

La solución de este rompecabezas criptográfico, requiere de mucha capacidad computacional y consumo de energía, de ahí la idea de recompensar a los mineros por el trabajo que realizan. Hasta el año 2017 la recompensa era de 25 BTC, la cual se iría reduciendo progresivamente a medida que la red creciera, actualmente la recompensa se encuentra en 6.25 BTC¹⁸. Así mismo para obtener o crear al menos 7 u 8 BTC al día la capacidad de procesamiento que tenga su equipo tecnológico deberá ser de 15 PH/S, es decir 15 mil billones de cálculos por segundo.

Para lograr estas velocidades exorbitantes de procesamiento de información se ha tenido que pasar de las arquitecturas convencionales de procesadores CPU y GPU (Pentium Core, Sparc, Cray-2, etc.), a arquitecturas más sofisticadas denominadas Field Programmable Gate Array (FPGA) y Application Specific Integrated Circuit (ASIC), que incrementan significativamente la velocidad de cálculo, medidos en PH/s, y reducen el consumo de energía en Kwh. (MONTROYA, 2020, p.46)

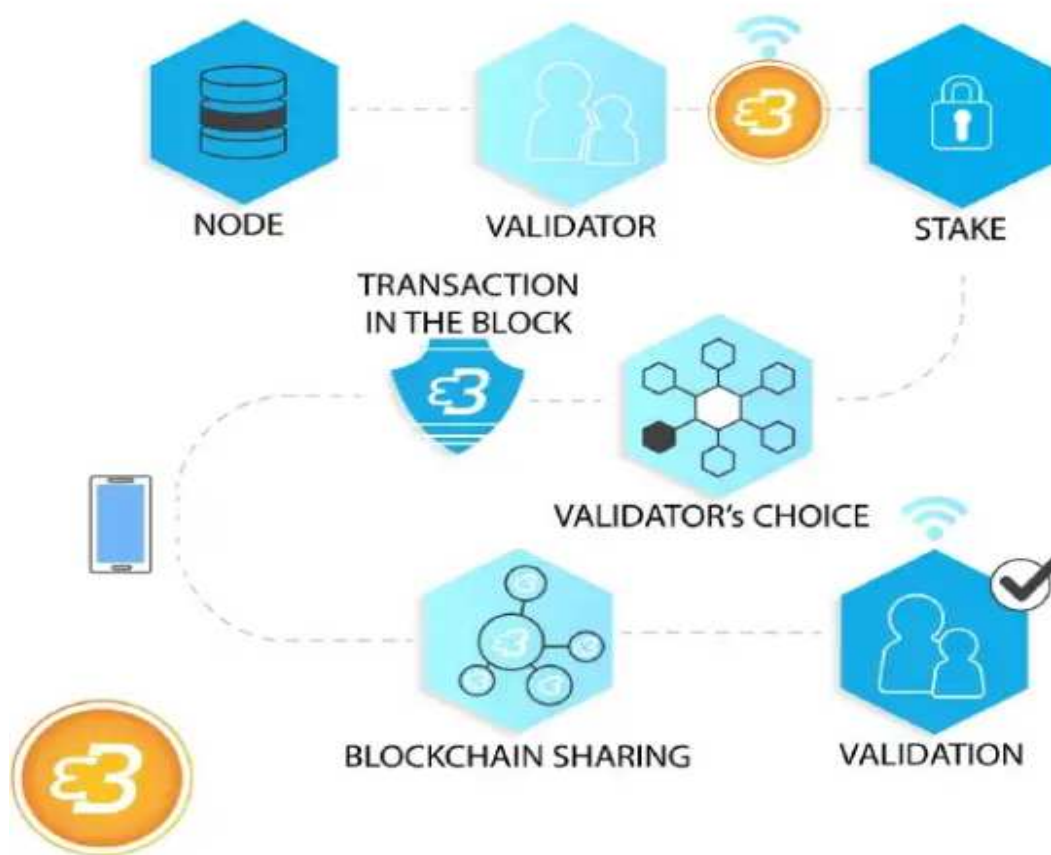
Si bien la prueba de trabajo es la que se usa en la mayoría de minerías de criptomonedas no es la única alternativa para obtener un consenso. El segundo protocolo de consenso más utilizado es el Proof of Stake (PoS) o prueba de participación, la cual podemos ver en la Figura N°8, la PoS consiste en al igual que PoW en crear consenso entre todos los participantes de la red, aquí los nodos llamados mineros son conocidos como validadores.

Tiene un funcionamiento similar a PoW pero no genera una competencia entre nodos, en cambio la lotería selecciona un nodo para que sea el encargado de resolver el

¹⁸ Importe extraído de la plataforma Blockchain.com. Disponible en: <https://www.blockchain.com/explorer/assets/btc>

siguiente bloque (Salimitari & Chatterjee, 2019). Este nodo es conocido como falsificador (Fairley, 2017) y es elegido de manera determinista (Swan, 2018), de acuerdo a su participación proporcional en la red (Debus, 2017) o conforme a su riqueza en términos de esa criptomoneda (Swan, 2018); mientras más monedas, mayor poder tiene el minero (Fairley, 2017). Además, el nodo seleccionado usará una firma digital para demostrar su propiedad sobre la participación en lugar de resolver un problema de hash complejo, de esta forma no necesita altos recursos computacionales (Debus, 2017) y, lo convierte en un método de consenso seguro (Young Lee, 2019). (et.al. CAMPAÑA, ZUMBA, 2020, p.23)

Figura 9: Prueba de Participación



Fuente: Pagina web Oficial de BTCBAM. 2021. Disponible en: <https://btcbamofficial.medium.com/lets-learn-more-about-the-proof-of-stake-cb04462d9035>

En este protocolo no se crean más monedas, cada participante tiene desde el principio una cierta cantidad de monedas, por lo tanto, los validadores no reciben recompensa de minera sino una recompensa relacionada a la tarifa de la transacción que puede ser recibida por cualquier integrante de la red, ya que su sistema de selección

aleatoria, asigna a cualquiera de los integrantes la tarea de la validación, teniendo más posibilidades de encargarse de la validación aquel que tenga más monedas.

Comparativamente, ambas tecnologías son diferentes y tiene particularidades que las hace cumplir el propósito del consenso. Sin embargo, existen algunos puntos que se pueden relacionar. La descentralización¹⁹, característica esencial en el mundo de los criptoactivos, tiende a ser menor en la PoS que en la PoW, ya que necesita la mayor cantidad de participación de los nodos, además de los altos montos que un nodo debe tener para participar de las validaciones. El consumo energético del PoS es más amigable, ya que no necesita la potencia computacional que la PoW necesita. En cuanto a la seguridad, por un lado, el PoW hace uso de la criptografía y otros elementos que hace a la red muy segura, en el caso del PoS, depende del buen funcionamiento que le den los nodos de validación, ya que en ellos recae la responsabilidad de generar los bloques e incluirlos en la red.

¹⁹ Disponible en: <https://academy.bit2me.com/pow-vs-pos/>

4 IMPLICANCIAS AMBIENTALES DE LAS CRIPTOMONEDAS

Este ítem estará dedicado a la influencia del mercado de las criptomonedas en el cambio climático, se dará principal atención a las principales monedas como el Bitcoin y Ethereum, ya que son las más negociadas en la actualidad.

4.1 CONSUMO ENERGÉTICO

No hay como hablar del consumo energético, sin hablar primero del hardware que utiliza la minería de cryptoactivos. Tal como fue explicado en el ítem anterior, el proceso de creación de bloques mediante el minado por pruebas de trabajo (PoW), demanda una capacidad computacional que exige consumo de energía elevado, debido a que los equipos deben estar todo el tiempo en funcionamiento para encontrar la solución a los algoritmos; recordemos que aquel minero que crea un bloque válido es quien recibe la recompensa, esto conlleva no solo al consumo energético del equipo tecnológico sino también a los sistemas de enfriamiento que se utilicen en el proceso. De acuerdo a Vires, “como la minería puede proporcionar un flujo sólido de ingresos, las personas están muy dispuestas a operar máquinas hambrientas de energía para obtener una parte. A lo largo de los años, esto ha provocado que el consumo total de energía de la red Bitcoin crezca hasta alcanzar proporciones épicas, a medida que el precio de la moneda alcanzó nuevos máximos²⁰” (DIGIECONOMIST, 2022, s/p).

A medida que el mercado de las criptomonedas aumentó, se abrió un mercado para la elaboración de hardware especializado que les permitió a los mineros hacer más eficiente su trabajo. De acuerdo a Stoll y colegas (2021), el hardware utilizado para minar evolucionó de la siguiente manera,

Los mineros de primera generación usaban unidades centrales de procesamiento (CPU) en computadoras personales convencionales con una potencia de cómputo de menos de 0,01 gigahashes por segundo (GH/s) y una eficiencia de 9000 julios por gigahashes (J/GH). Con el tiempo, los mineros cambiaron a unidades de procesamiento de gráficos (GPU), con 0,2-2 GH/s y 1500-400 J/GH en 2010 y, a partir de

²⁰ Disponible en: <https://digieconomist.net/bitcoin-energy-consumption>

2011, pasaron a arreglos de puertas programables en campo (FPGA) con 0,1-25 GH. /sy 100-45 J/GH. Desde 2012, han prevalecido los dispositivos de circuito integrado de aplicación específica (ASIC), con hasta 18.000 GH/s y menos de 01 J/GH²¹.

Este último hardware, si bien otorga una alta eficacia en los tiempos de procesamiento frente al consumo energético, es creado para un solo propósito, minar bitcoins, una vez cumplida su función no aporta ningún valor de uso adicional.

Dentro de los mineros, existen aquellos mineros particulares, quienes individualmente ingresan a la competencia de la minería y asumen por completo todos los costos operativos que sean requeridos; del otro lado existe la industria formada de la minería, llamadas instalaciones de hashing o comúnmente granjas de minería, estos centros operan a escala industrial y se ubican por lo general en regiones que pueden proveer abundantes fuentes de energía. Así mismo existen algunos mineros particulares que optan por combinar esfuerzos con algunas de estas granjas de minería para formar un pool de minería (mining pool) con la finalidad de reducir los riesgos de ingresar en este mercado, cubrir gastos operativos como el consumo energético, e incrementar sus probabilidades en la PoW, la recompensa que se obtenga será dividida entre los participantes.

Entender quienes se ocupan de la minera permite comprender a grandes rasgos cuales son las fuentes del consumo energético. Si bien el tipo de equipo utilizado por un minero particular puede ser de cualquier tipo (CPU, LAPTOP), comparativamente se va a tener que ver obligado a mejorar tecnológicamente sus equipos o adquirir los ya existentes en el mercado como los equipos ASIC para mantenerse en la competencia de la minería, ocasionando un consumo energético destinado a esta actividad. En cuanto a las instalaciones de hash, estos se diseñan para trabajar miles de dispositivos de hardware especializado, reflejando también un consumo energético elevado pudiendo ser incrementada al participar en pool's de minería, así mismo estas granjas necesitarán a

²¹ First-generation miners used central processing units (CPU) in conventional personal computers with computing power of less than 0.01 gigahashes per second (GH/s) and an efficiency of 9,000 joule per gigahashes (J/GH). Over time, miners switched to graphics processing units (GPU), with 0.2-2 GH/s and 1,500-400 J/GH in 2010 and, starting in 2011, moved to field-programmable gate arrays (FPGA) with 0.1-25 GH/s and 100-45 J/GH.¹⁷ Since 2012, application-specific integrated circuit (ASIC) devices, with up to 18,000 GH/s and less than 0.1 J/GH have prevailed. (STOLL, KLAABEN, GALLERSDÖRFER, 2021, p.3)

parte sistemas de enfriamiento para mantener a los equipos en temperatura adecuada. En cualquiera de los casos, tanto los equipos de minería especializados u otro tipo de equipo, así como los sistemas de enfriamiento deberán estar en funcionamiento las 24 horas al día, los 7 días de la semana, consumiendo lo que necesiten de energía.

El Centro de Cambridge para las Finanzas Alternativas de la Universidad de Cambridge puso en marcha un proyecto para el rastreo del consumo energético que genera el Bitcoin. El modelo utiliza parámetros tales como: tasa de hashrate²² diaria, valor de emisión del Bitcoin, tarifas diarias de los mineros, el nivel de dificultad diaria de la PoW, el precio de mercado de Bitcoin, la eficiencia de equipos mineros, el costo de la electricidad y la eficacia del uso de la energía²³, información que reflejará el Índice de Consumo de Electricidad de Bitcoin (CBECI).

Figura 10: Consumo energético total del Bitcoin



Fuente: Centro para Finanzas Alternativas – Índice de Consumo de electricidad de Bitcoin Cambridge CBECI. 2022. Disponible en: <https://ccaf.io/cbeci/index>

²² Hashrate mide la velocidad a la que una máquina, o un conjunto de máquinas, puede procesar un algoritmo de prueba de trabajo. Se expresa en hashes por segundo, llamado así por el código alfanumérico aleatorio (hashes) generado a través de la función hash que sustenta el algoritmo de prueba de trabajo. El hashrate total generalmente se refiere a la potencia informática agregada de todo el hardware de minería que intenta resolver el rompecabezas en un momento dado. A partir del 13 de julio de 2021, el hashrate total de Bitcoin es de aproximadamente 100 Exahashes por segundo (Eh/s). Esto corresponde a cien quintillones ($100 * 10^{18}$) 'conjeturas' que la industria minera de Bitcoin produce continuamente cada segundo. (CCAF, 2022, s/p)

²³ Variables descritas en la portal del CBECI. Disponible en: <https://ccaf.io/cbeci/index/methodology>

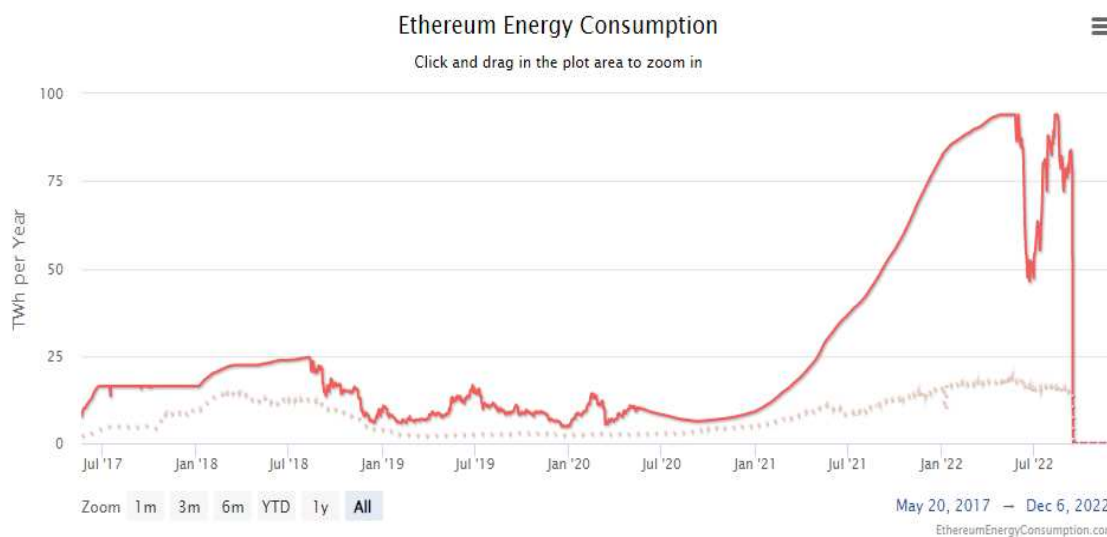
La Figura N°10 muestra resultados anualizados del consumo energético del Bitcoin. En este estimado se puede ver que a partir del 2018 los niveles de consumo de energía incrementaron de manera constante, en ese año el consumo era de 45.44 TW/h, 5 veces mayor que el año anterior que solo llegó a 14.44 TW/h. En adelante el consumo por año fue de 57.09 TW/h (2019), 68.52 TW/h (2020) y 104.89 TW/h (2021). Debido a que el modelo se va actualizando cada 24 horas, las estimaciones del consumo energético del 2022 están llegando hasta 101.63 TW/h. En cuanto al consumo energético acumulado hasta la fecha este asciende a 407.02 TW/H.

De acuerdo a otros levantamientos de información, como el análisis presentado por Artiga y López (2021), “se estima que, hasta octubre de 2021, la utilización total de energía de la red Bitcoin ha sido de 83.91 terawatt-hora (TW/h), mientras que en los años anteriores, el consumo anual estuvo entre los 73.1 y 78.3 TW/h. Este consumo se acerca e incluso supera la utilización anual de energía de países como Chile (76.6 TWh); Colombia (69.9 TWh) o Austria (68.5 TWh)” (ARTIGA, LÓPEZ, 2021, p.4). Según el comparativo realizado por el CBECI, la cantidad de electricidad consumida por el Bitcoin es superior a países como Finlandia (83.7 TW/h por año) y Bélgica (83.4 TW/h por año), en el ranking mundial se encontraría en el puesto N°37, superando a la mayoría de países de América latina, a excepción de Brasil (577.3 TW/h por año), México (300.95 TW/h por año) y Argentina (126.7 TW/h por año).

El sitio web Digiconomist fue uno de los pioneros en discutir y evaluar el consumo energético del Bitcoin. En uno de sus comparativos permite identificar cuanto de porcentaje de participación tiene la energía consumida por el Bitcoin en los países con mayor consumo energético, el resultado arrojó que el consumo energético del Bitcoin podría sustituir el 2.7% del consumo de EE.UU., el 11.5% la energía usada por Rusia, y en un 20.1% la energía consumida en Canadá.

Ethereum, la segunda moneda más importante del mercado, funcionaba con el mismo protocolo de consenso que Bitcoin hasta septiembre del 2022, mes en el que la compañía adoptó totalmente el PoS reemplazando el mecanismo de minería de PoW²⁴.

²⁴ Disponible en: <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>

Figura 11: Consumo de energía de Ethereum

Fuente: Portal Digiconomist. 2022. Disponible en: <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>

Antes de suceder esta migración o el evento denominado The Merge, esta criptomoneda presentó a partir de mayo del 2021 un crecimiento sostenido de consumo energético durante 1 año, en la cual se estimó que pico más alto fue de 94 TW/h. De Vries comenta al respecto;

Una estimación realista de la demanda de energía de la red Ethereum antes de The Merge puede ser aún mayor, ya que una red de minería PoW generalmente comprende una combinación de tipos de dispositivos, y se pueden incurrir en costos de energía adicionales para enfriar grandes lotes de estos dispositivos de minería. Un rastreador de Kyle McDonald estimó la demanda de energía de Ethereum en 2,44 GW antes de The Merge. Además, el índice de consumo de energía de Ethereum sitúa esta cifra en 8,88 GW. Esta última es aproximadamente la máxima demanda de energía que los mineros de Ethereum pueden haber podido pagar, ya que ganaron aproximadamente 13,000 monedas por día de la minería. Con Ether cotizando a alrededor de \$ 1,700 USD en la semana anterior a The Merge, esta cantidad se traduce en un ingreso disponible de \$ 22,1 millones de USD. Con una tarifa de electricidad de 10 centavos por kWh (comúnmente utilizada en las calculadoras de rentabilidad minera), la demanda de energía de los mineros no debe exceder los 9,21 GW para evitar operar con pérdidas (suponiendo además que no haya más gastos que la electricidad)²⁵.

²⁵ A realistic estimate for the Ethereum network's power demand before The Merge may be even higher, as a PoW mining network typically comprises a mix of device types, and additional energy costs may be incurred for cooling

Sin embargo, con la migración al PoS, Ethereum elimina la necesidad de consumir mucha energía para la conformación de los bloques, que ahora serán creados e integrados a la red por validadores que serán escogidos aleatoriamente en base a la posesión de monedas. En la Figura N°11, se puede observar que después de julio del 2022, el consumo eléctrico cae a cero, esto debido a que ya no se requieren equipos que demandan alto consumo energético para el funcionamiento de la red de Ethereum.

4.2 HUELLA DE CARBONO

La preocupación que subyace al consumo de electricidad de las criptomonedas, en especial atención la del BTC, es la huella ambiental que dejan las fuentes energéticas de las que proviene la electricidad utilizada para el minado. Tal como fue mencionado en la sección de cambio climático, nuestra sociedad aún depende en gran medida de los combustibles fósiles cuando se trata de energía, por ello, al revisar el consumo energético del Bitcoin y otras criptomonedas también se debe prestar atención a la huella de carbono proveniente de este consumo.

El CCFA, incluyó dentro de su análisis sobre el consumo energético del Bitcoin el impacto que tiene esta criptomoneda en el cambio climático. Consideró las estimaciones previas de electricidad, las ubicaciones de las operaciones mineras, la producción de electricidad por fuente, entre otros que le permitieran trabajar bajo 3 escenarios, el optimista, considerando que todos los mineros obtengan la energía de una fuente energética sustentable como la energía hidroeléctrica, la pesimista, que la fuente principal sea el carbón y la estimada que conseguiría diferenciar las energías utilizadas en los diferentes países donde se ubicaran los mineros.

Finalmente, este trabajo logró evidenciar que en un escenario estimado la minería de Bitcoins estaría liberando 45.03 MtCO₂e. La Figura N°12, muestra las emisiones totales

large batches of these mining devices. A tracker by Kyle McDonald estimated Ethereum's power demand at 2.44 GW before The Merge.¹¹ Moreover, the Ethereum Energy Consumption Index put this figure at 8.88 GW.¹² The latter is approximately the maximum power demand Ethereum miners may have been able to afford, as they earned roughly 13,000 coins per day from mining. With Ether trading at around \$1,700 USD in the week before The Merge, this amount translates to an available income of \$22.1 million USD. With an electricity rate of 10 cents per kWh (commonly used in mining profitability calculators), the power demand of miners should not exceed 9.21 GW to avoid operating at a loss (also assuming no further expenses other than electricity). (DE VRIES, 2022, p.3)

de GEI de Bitcoin, se estima el 2021 fue el año donde más emisiones tuvo esta criptomoneda con una cantidad de GEI de 56.29 MtCo₂e, así mismo el monto acumulado de las emisiones de GEI ascendió a 210.16 MtCo₂e hasta el 2022. El modelo consiguió también estimar el consumo de electricidad por fuente e intensidad de emisiones, siendo el carbón la fuente más utilizada con 36.55%, seguida del gas con un 24.97%. En el 3er Estudio Global de las Criptomonedas presentado por CCFA, se explica que la gran mayoría de los mineros (76%) utilizan energías renovables como parte de la combinación energética, sin embargo, al ver el total del consumo energético minero, las energías renovables solo abarcan el 39%²⁶.

Figura 12: Emisiones totales de GEI de Bitcoin



Fuente: Centro para Finanzas Alternativas – Índice de Consumo de electricidad de Bitcoin Cambridge CBECI. 2022. Disponible en: <https://ccaf.io/cbeci/index>

Por otro lado, Artiga y López mencionan que, “algunos estudios rastrearon hasta 2019 la proveniencia de la energía utilizada por la red, e identificaron que el carbón es una fuente de combustible significativa, dado que al menos hasta 2019, China se perfilaba como el país donde se extraía entre el 60% y 70% de los Bitcoins, utilizando para ello, energía proveniente de carbón” (ARTIGA, LÓPEZ, 2021, p.5). A partir de abril de 2020, China representa más del 75 % de las operaciones de la cadena de bloques de Bitcoin en todo el mundo. Algunas áreas rurales en China se consideran el destino ideal para la

²⁶ El estudio realizó una encuesta en la que participaron más 105 entidades, 75 organizaciones y 30 individuos ubicados en diferentes partes del mundo.

minería de Bitcoin, principalmente debido al precio más bajo de la electricidad y la gran cantidad de terrenos sin desarrollar para la construcción de piscinas.²⁷ De acuerdo al modelo de Dabo Guan y Shouyan Wang, estiman que el consumo energético del Bitcoin llegue a su punto máximo el 2024 lo que generaría 297 TW/h y como consecuencia liberaría 130 millones de toneladas métricas de emisiones de carbono²⁸, proyección que podría ser alcanzada luego de que China prohibiera la minería del Bitcoin en su territorio, obligando a los mineros que tenían acceso a energía hidroeléctrica a mudarse a países como EE.UU. y Kazajistán, “(...) la proporción de energías renovables que alimentan la red disminuyó del 41,6% al 25,1%” (DIGICONOMIST, 2022, s/p)

Sin dejar de lado las comparaciones, el CCFA muestra algunas comparaciones de huella de carbono del Bitcoin con otros sectores y actividades de la industria. Entre ellas una de las comparaciones más usuales es la relación con el oro, mientras que la minería de las criptomonedas presenta por año 45.03 MtCO_{2e}, la minería del oro emitiría 100.4 MtCO_{2e} por año. En cuanto a una comparación entre países, la huella de carbono del Bitcoin supera a países como Suiza con 45 MtCO_{2e} y Malí con 44.20 MtCO_{2e}.

Adicionalmente, Digieconomist compara al Bitcoin con el sistema de pago Visa, explican que esta última, consumió un total de 740 000 gigajulios de energía para sus operaciones que sería equivalente a 19 304 hogares en estados unidos, así mismo en el 2019 proceso 138 300 millones de transacciones, con estos datos calculan que la huella de carbono por transacción de VISA es de 0.45 gramos CO_{2eq}; comparativamente serían 1 482 755 transacciones visa que pueden cubrirse con la huella de carbono de una sola transacción de Bitcoin (669.01 kgCO₂).

Por otro lado, la segunda criptomoneda Ethereum, al migrar hacia la PoS, solucionó el conflicto que existía sobre su participación en la huella de carbono, ya que esta tecnología no requerirá de consumo energético como antes. Sin embargo, de la misma forma que el Bitcoin se actualiza en software y consecuentemente en hardware, este último aún deja pendiente un análisis de cuantos desechos tecnológicos se crean para mantener sus criptomonedas en el mercado.

²⁷ Some rural areas in China are considered as the ideal destination for Bitcoin mining mainly due to the cheaper electricity price and large undeveloped land for pool construction. (SHANGRONG Y COLEGAS, 2020, p.3).

²⁸ Disponible en: https://www.nationalgeographic.com/es/ciencia/criptomonedas-huella-carbono-dinero-digital_16761

5 CONSIDERACIONES FINALES

Mucho se comenta actualmente sobre el destino del Bitcoin y de las criptomonedas por el estancamiento y la tendencia a la baja que experimenta el mercado de los cryptoactivos, los cuales mencionan el próximo fin de las criptomonedas. Lo cierto es que, desde la creación de la primera criptomoneda, a pesar su volatilidad en el mercado, estas siguen siendo una opción de inversión para muchas personas en el mundo. La innovación que trajo Nakamoto con su moneda virtual y la tecnología blockchain abrió las posibilidades de un mercado monetario distinto al que ya conocíamos y por el cual personas y gobiernos están apostando. Es por ello que repensar la tecnológica menos antropocéntrica y más ecocéntrica, permitirán que proyectos como la las monedas digitales no se conviertan en obstáculos para la sustentabilidad, sino todo lo contrario contribuyan a transformar el planeta en lugar donde las siguientes generaciones puedan vivir.

El cambio climático es un hecho, las notas sobre este tema descritos en el primer ítem, nos recuerda que gran parte de la crisis climática que atraviesa el planeta es debido a causas antropogénicas. Las emisiones de gases de efecto invernadero derivados de las grandes cantidades de energía eléctrica directa o indirecta que se tienen que extraer, transformar y producir para sostener nuestros hábitos de consumo, están ocasionando que nuestro sistema climático cambie más rápido de lo que se pensaba, de acuerdo al último informe del IPCC, los escenarios descritos proyectan que en 20 años corremos el riesgo de incrementar la temperatura de la tierra (1.6°C). La huella de carbono por el consumo energético aún muestra que existe la necesidad urgente por implementar fuentes de energía renovables y sostenibles

El Bitcoin y otras criptomonedas, “pensada como una alternativa al sistema monetario tradicional y como una solución a la necesidad de muchos usuarios de un intercambio mundial facilitado por herramientas de pago transnacionales (SANCHEZ, 2018) cumplió su propósito en la descentralización, permitiéndole a las personas generar ingresos derivados de esta actividad, sin embargo, no está cumpliendo con el propósito de sustentabilidad que las tecnologías se proponen ser. De lo expuesto anteriormente, se puede decir que el protocolo de consenso utilizado por Bitcoin (Proof of Work) es la principal razón por la que existe un elevado consumo de energía en esta criptomoneda; la

industria que se teje alrededor de la minería, de la misma forma que eleva las posibilidades de rentabilizar, también incrementa los niveles de consumo energético. El consumo de energía de estos sistemas ha aumentado debido a que los precios de las monedas virtuales se dispararon, y por ser más atractivos se ha elevado su demanda, esto conduce a un mayor consumo de energía en el tiempo por cada criptomoneda y por cada Bitcoin minado. (SANCHEZ, 2018, p.89). Situación muy diferente la que experimenta Ethereum, que consiguió reducir su consumo energético a 0 migrando a un protocolo de consenso de participación.

Al comparar la huella de carbono que deja la minería del Bitcoin con otros sectores de la industria, puede parecer de menor importancia, sin embargo, los datos mostrados por el CBECI, nos permiten ver que la huella de carbono de las criptomonedas no se debe desestimar, tan solo en 3 años el auge que atravesó el Bitcoin elevó en gran medida su huella de carbono, a pesar de que en sus investigaciones hayan dado con una tendencia al uso de energías renovables, lo cierto es que la minería del Bitcoin y otras criptomonedas, utilizaran las alternativas más accesibles y económicas para su producción.

Tal como parece la tecnología de las monedas digitales llegaron para quedarse, ya sean que estén impulsadas por empresas privadas o gobiernos, estas deben trabajar en soluciones similares a la PoS (Prueba de Participación), y en regulaciones que promuevan el uso de energías limpias, con la finalidad de reducir el impacto negativo que generan esta tecnología en el medio ambiente.

REFERENCIAS

ARTIGA, Cesar; LÓPEZ, Meraris. Bitcoin, uso de energía y cambio climático. Perspectivas globales sobre la minería de criptoactivos y sus impactos ambientales. **Friedrich Ebert Stiftung**. 2021. El Salvador. Disponible en: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/fesamcentral/18740.pdf>

CABRERA, Marian; LAGE, Carlos. Criptomonedas: ¿qué son y qué pretenden ser?. **Economía y Desarrollo**. Volumen 166 N°1, p. 1 – 21. 2021. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0252-85842022000100008

CADENA, Paola; RINCÓN, Harold. **¿Qué son las Criptomonedas?**. 2018. 38 p. Disertación (Trabajo de Grado en Especialidad de Gerencia Financiera) – Facultad de Postgrados y Formación Continua, Universidad La Gran Colombia, Bogotá D.C., 2018.

CAMPAÑA, Ximena; ZUMBA, Washington. **Metodos de consenso sobre plataformas blockchain: Un enfoque comparativo**. 2020. 80 p. Disertación (Título en Ingeniería Informática) – Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, Universidad Central de Ecuador, Ecuador, 2020.

CÁRDENAS, Alisva; LASCANO, Luis; PROAÑO, Gladys; MÁCAS, Guadalupe; CHANGO, Santiago. El mundo de las criptomonedas y su importancia en el comercio virtual. **Revista Publicando**. N°9 (36), p. 44 – 58. 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.51528/rp.vol9.id2351>

CCAF (Cambridge Centre for Alternative Finance). 2020. 3rd Global Cryptoasset Benchmarking Study. University of Cambridge. United Kingdom. 2020

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). Tecnologías digitales para un nuevo futuro. (LC/TS.2021/43). Santiago. 2021.

CERVIGÓN, Juan; LÓPEZ-TAFALL, José. Que es el cambio climático y como luchar con él. Economía y Cambio Climático: Reto y Oportunidad, España, N°892, p.19-31, Septiembre-Octubre 2016.

CMNUCC (Convenio Marco de las naciones unidas contra el Cambio Climático), 1992. Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

CHAINALYSIS. Cryptocurrency Report. N°3. 2022. Disponible en: <https://go.chainalysis.com/rs/503-FAP-074/images/2022-Geography-of-Cryptocurrency.pdf>

DE VRIES, Alex. Cryptocurrencies on the road to sustainability: Ethereum paving the way for Bitcoin. Patterns. Diciembre 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.patter.2022.100633>

DE VRIES, Alex. Bitcoin's Growing Energy Problem. *Joule* N°2, p. 801–809. Mayo 2018. Disponible en: <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2542-4351%2818%2930177-6>

DE VRIES, Alex; STOLL, Cristian. El creciente problema de los desechos electrónicos de Bitcoin. Recursos, Conservación y Reciclaje. Volumen N°175, Diciembre, 2021. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344921005103?via%3Dihub>

DÍAZ, Gerarda. El Cambio Climático. **CIENCIA Y SOCIEDAD**, República Dominicana, Volumen XXXVII, N° 2, 2012. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87024179004>

DOLADER, Carlos; BEL, Joan; MUÑOZ, Jose. La Blockchain: Fundamentos, aplicaciones y relación con otras tecnologías disruptivas. **Economía Industrial**, España, N°405, p. 33-40, 2017. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6207510>

ESPÍNDOLA, César; VALDERRAMA, José. Huella del Carbono. Parte1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. Información Tecnológica. Chile, N°23(1), p. 163-176, 2012. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v23n1/art17.pdf>

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS UNCUIYO. Introducción a la tecnología blockchain: su impacto en las ciencias económicas. YouTube, 27 de agosto del 2020. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=ZXOWoGz9v-w>

GALLERSDORFER, Ulrich; KLAABEN, Lena; STOLL, Cristian. Energy Consumption of Cryptocurrencies Beyond Bitcoin. *Joule* V°4, N°9, p. 1839–1851, Septiembre, 2020. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435120303317>

GARCÍA, Jose. **Criptomonedas y Aplicación en la Economía**. 2018. 45 p. Disertación (Trabajo fin de Máster) – Master Universitario en Finanzas, Universidad Pontificia Comillas – ICADE Business School, Madrid, 2018.

GRAUER, Kim; KUESHNER, Will; UPDEGRAVE, Henry. The 2022 Geography of IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Nota Técnica IDEAM–METEO/008-2007. Colombia. 2007.

IEA (2021), Greenhouse Gas Emissions from Energy Data Explorer, IEA, París. 2022 <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/greenhouse-gas-emissions-from-energy-data-explorer>

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge-United Kingdom and New York-USA. 2021.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC. Suiza. 2007.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambio climático 2014. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC. Suiza. 2014

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Glosario. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

JIMÉNEZ, Henry. La energía en América Latina y el Caribe en la ruta hacia la descarbonización en el marco del Acuerdo de París. **Ideas Verdes Análisis Político**, Bogotá, N° 32, 2021. Disponible en: https://co.boell.org/sites/default/files/2022-01/IDEASVERDES_32%20digital.pdf

MARIN, C. **Tecnología Blockchain: Origen, Funcionamiento y Usos**. 2022. 53 p. Disertación (Trabajo de fin de grado) – Facultad de Economía y Empresa, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2022.

MONTOYA, Jose. El Bitcoin una innovación financiera. 2020. 106 p. Disertación (Trabajo fin de grado) – Escuela de Economía, Administración y Negocios. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, 2020.

MORENO, Francisco; RODRÍGUEZ, Johan; GIRALDO, Daniel. Comparación de Dos Plataformas de Blockchain: Bitcoin y Hyperledger Fabric. **Ingeniería y competitividad**, Colombia, vol. 24, núm. 1, 2022. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291371829030>

NAKAMOTO, Satoshi. Bitcoin: Un sistema de efectivo Electrónico Usuario-a-Usuario. 2008.

OLADE (Organización Latinoamericana de Energía). Cambia la Energía Cambia el Clima: Cambio Climático y su impacto en el sector energético. Nota Técnica. Ecuador. 2016.

PADILLA, Jorge. Blockchain y contratos inteligentes: aproximación a sus problemáticas y retos jurídicos. **Revista de Derecho Privado**, Colombia, N° 39, p. 175-201, 2020. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=417564980007>

RODAS, Antonio; NÚÑEZ, Sergio. El Bitcoin: una revisión de las ventajas y desventajas de las transacciones comerciales con dinero virtual. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar. Volumen 5 N°6. México. 2021. Disponible en: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1306

RUEDA, José; GAY, Carlos; ORTIZ, Benjamín. La gobernanza climática en México: Aportes para la Consolidación estructural de la participación ciudadana en la política climática nacional. Volumen II: retos y opciones. Programa de Investigación en Cambio Climático. Universidad Nacional Autónoma de México, México.2017

SHANGRONG, Jiang; YUZE, Li; QUANYING, Lu; YONGMIAO, Hong; DABO, Guan; SHOUYANG, Wang. Policy assessments for the carbon emission flows and sustainability of Bitcoin blockchain operation in China. Nature Communications Vol 12 N°1938. 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22256-3>

STOLL, Cristian; KLAABEN, Lena; GALLERSDÖRFER, Ulrich. The Carbon Footprint of Bitcoin. Joule, N°3, p. 1647 – 1661. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435119302557>

USEROS, Jose. El Cambio Climático: Sus causas y efectos medioambientales. **Anales de la Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid**, España, N°50, p. 71-98, 2013. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4817473>

VIDE, Javier. Conceptos previos y conceptos nuevos en el estudio del cambio climático reciente. **Investigaciones Geográficas**, España, N° 49, p. 51-63, 2009. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17617034003>