

CRIPTOACTIVOS Y SU INCIDENCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

Daniel A. Miliá

Doblas 955 - Departamento 213 – Ciudad Autónoma de Buenos Aires - CP: 1424. Argentina

daniel@economicas.uba.ar

Resumen

Recibido: 10/2023

Aceptado: 12/2023

Palabras clave

Criptoactivos.

Minería.

Bitcoin.

Cambio climático

A lo largo de más de una década, el mercado de criptoactivos ha logrado atraer a una amplia base de usuarios a nivel mundial. Con el crecimiento de este ecosistema digital, han surgido especulaciones cada vez más frecuentes acerca del considerable consumo energético asociado y su correlación con el daño ambiental. En este contexto, planteamos la siguiente interrogante: ¿cómo se muestra el consumo energético de las principales criptomonedas en el cambio climático? Con el fin de abordar esta interrogante, se estableció como objetivo primordial examinar el consumo energético derivado del uso de estos instrumentos. Para este propósito, se llevó a cabo una revisión bibliográfica descriptiva basada en artículos científicos e informes de centros de estudios especializados que analizaron su influencia en la huella de carbono. Por último, examinamos cómo la minería de Bitcoin supera en consumo energético a naciones enteras, como Finlandia o Bélgica, mientras que Ethereum ha logrado mitigar sus emisiones de gases de efecto invernadero mediante la transición al protocolo de consenso “Proof of Stake” (prueba de participación), evidenciando así un enfoque más sostenible para el desarrollo.

Copyright: Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires.

ISSN: 2250-687X - ISSN (En línea): 2250-6861

CRYPTOASSETS AND THEIR IMPACT ON CLIMATE CHANGE

Daniel A. Miliá

Doblas 955 - Departamento 213 – Ciudad Autónoma de Buenos Aires - CP: 1424. Argentina

daniel@economicas.uba.ar

Abstract

KEYWORDS

Cryptoassets.
Mining.
Bitcoin.
Climate Change.

Over more than a decade, the crypto-assets market has successfully attracted a diverse user base worldwide. As this digital ecosystem expanded, concerns regarding its substantial energy consumption and its association with environmental harm became increasingly prevalent. In this context, we pose the pivotal question: How does the energy intake of main cryptoassets reflect on climate change? To address this inquiry, we conducted a descriptive literature review, drawing from scientific articles and reports from specialized centers to analyze their carbon footprint. Finally, we examined how Bitcoin mining surpasses the energy consumption of entire nations like Finland or Belgium, while Ethereum has managed to mitigate its greenhouse gas emissions by transitioning to the Proof of Stake consensus protocol, thereby demonstrating a more sustainable approach for development.

Copyright: Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires.

ISSN: 2250-687X - ISSN (En línea): 2250-6861

INTRODUCCIÓN

Pese a ser una tecnología considerada innovadora, por la libertad que ofrece en las transacciones financieras e inversiones, las criptomonedas tienen serias implicaciones ambientales. Por caso el Bitcoin, máximo representante de los criptoactivos basados en la tecnología blockchain, es una moneda cuyo minado no deviene de energías mayormente de energías renovables.

El problema aparece con la mayor competencia de minado, en tanto la red de Bitcoin tiene integrada una función de complejidad dinámica: a más mineros, mayor dificultad, ya que la red se autoevalúa cada 2.016 bloques, para así mantener una emisión de Bitcoin controlada, en otras palabras, la dificultad crece o decrece exponencialmente a medida que se agrega mayor potencia a la red. Esto se conoce como Prueba de Trabajo o *Proof of Work* y es el método mediante el cual la red descentralizada llega a consenso sobre cuáles bloques son válidos sin depender de una autoridad central. Todo ello requiere de mayor poder de cómputo y, por ende, de mayor consumo de energía.

Desde su creación, diversos trabajos se han desarrollado en torno a las criptomonedas, algunos 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 procesos se hace más urgente, y otros más, relacionados a su viabilidad para una economía más próspera. Sin embargo, muy poco se ha discutido sobre las implicancias ambientales del 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, empieza a levantar peso las cuestiones ligadas al medio ambiente.

Ante ese escenario, este trabajo busca presentar una perspectiva global sobre los criptoactivos, con énfasis en el Bitcoin, y aportar a la discusión sobre los impactos ambientales globales, analizando las tendencias en consumo de energía y generación de emisiones, así como la consideración de mitos y verdades que rodean este tema. Para profundizar el desarrollo de los impactos socioambientales se ha generado un análisis pormenorizado del daño ambiental directo e indirecto, como así también posibles fuentes de salida en el minado de criptomonedas mediante energías renovables.

MINERÍA DE CRIPTOACTIVOS

A partir de 2008, el Bitcoin y otras criptomonedas comenzaron a llamar la atención por su innovadora tecnología denominada blockchain, basada en un sistema descentralizado y de código abierto, considerada por sus adeptos como un proceso disruptivo, dada la libertad que se ofrece a través de la no intromisión de ningún banco, gobierno o autoridad para supervisar cómo se realizan las transacciones de criptomonedas. Sin embargo, pese a las potenciales revoluciones en términos de transferencias financieras o de información de un agente a otro, la tecnología en la que se basa la creación de unidades de Bitcoin (y otras) está relacionada con un problema ambiental global: el cambio climático.

La tecnología blockchain se basa en la solución de problemas criptográficos complejos para validar las transacciones o registros. Para resolver estos problemas, participan miles de nodos informáticos adheridos a la red, dando lugar a una competencia para validar una nueva transacción y obtener la recompensa, esta es la denominada minería de criptomonedas. Se estima que la red Bitcoin está conformada por 10 mil nodos, y estos a su vez pueden estar compuestos por una o

varias computadoras (de Vries, 2019). En esta carrera, solo uno de los nodos resuelve el problema, mientras que el resto, simplemente consume energía en vano. El proceso de minería y el mantenimiento de los sofisticados equipos hacen que esta actividad sea intensiva en el uso de energía.

En resumen, la complejidad de los cálculos matemáticos que se deben procesar para lograr la extracción de una moneda o un Satoshi, que es el equivalente más bajo de ese criptoactivo, requiere de un alto consumo de energía. Los miles de millones de operaciones necesarias para lograr la extracción tienen una recompensa para el minero, no obstante, el costo ambiental es muy alto, considerando que para competir y que la mina no baje su rendimiento, las computadoras deben sobre explotarse a niveles que el consumo de energía se vuelve desorbitado.

RIESGOS AMBIENTALES DERIVADOS DE CRIPTOACTIVOS

La minería de Bitcoin no es en absoluto un enemigo invisible del medio ambiente, sino más bien es esencialmente, una realidad ineludible que ya atenta contra su integridad a todo ámbito y nivel. El creciente problema energético ligado a los criptoactivos y la tecnología sobre la que subyace es latente. Se estima que, hasta octubre de 2021, la utilización total de energía de la red Bitcoin ha sido de 83.91 terawatt-hora (TWh), mientras que, en los años anteriores, el consumo anual estuvo entre los 73.1 y 78.3 TWh⁴. 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). Para países como El Salvador, el consumo de energía de la red Bitcoin representa alrededor de 13 veces lo que el país entero utiliza en un año.

En definitiva, la tendencia es completamente creciente, esto se debe a la intensificación de la demanda por la incursión de más mineros que se ven atraídos por las recompensas y compensaciones potenciales, que son posibles gracias al permanente funcionamiento de los equipos, los cuales trabajan minando las 24 horas del día.

Lo preocupante de esta situación, además del crecimiento constante y acelerado en el uso de energías, son las fuentes de las que proviene dicho bien. 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. La localización de los mineros en China no ha sido casualidad, ya que la maximización de las ganancias depende de los costos en los que se incurra para operar y mantener los equipos trabajando: la energía China es por tanto atractiva al ser extremadamente barata.

En términos ambientales, este escenario implica considerar el tema de las emisiones de carbono, sabiendo que, la generación y uso de Bitcoin en 2017 generó 69 millones de toneladas de carbono equivalente (MtCO₂e) y, se considera que, de mantenerse la tendencia el uso acelerado del Bitcoin (sin incluir el impacto de otras criptomonedas), las emisiones acumuladas cruzarán el umbral de los 2 °C dentro de 22 años, en un escenario optimista, y dentro de tan solo 2 años, si la adopción de esta tecnología se expande. Este escenario representa una clara barrera a las metas de limitar a 1.5 °C el calentamiento global en los próximos años.

En el corto plazo, no se percibe un cambio radical en la tendencia del uso de energías y su proveniencia de fuentes con una huella de carbono significativa; para el año 2020, sólo el 39 % de la energía usada en la minería de criptoactivos provenía de fuentes renovables. Tal y como se muestra en la Tabla N°1, aunque la energía hidroeléctrica es la fuente más común en las diferentes regiones donde se realiza la criptominería, las fuentes de energía no renovable y contaminantes como el carbón y combustibles derivados del petróleo siguen teniendo un peso considerable en

el consumo. Por ejemplo, en el caso de Asia-Pacífico, que es la región con más criptomneros en el mundo, el 65 % de los mineros utilizan energía hidroeléctrica, pero, a la vez, el 12% también usa energía resultante de los derivados del petróleo. Dicho de otra manera, los criptomneros no utilizan una única fuente de energía, por lo que un mismo minero puede estar al mismo tiempo, minando bitcoin con fuentes renovables y no renovables. (Lu,2021).

Por caso, en la Tabla N°1 es importante notar que, aunque las fuentes renovables tienen un peso considerable, la energía más contaminante, siempre está presente en el proceso que se realiza para minar criptoactivos:

Tabla N°1: Porcentaje de mineros según fuente de energía

Fuente de energía	Asia-Pacífico	Europa	LATAM y Caribe	América del Norte
Hidroeléctrica	65%	60%	67%	61%
Gas natural	38%	33%	17%	44%
Carbón	65%	2%	0%	28%
Eólica	23%	7%	0%	22%
Gasoil	12%	7%	33%	22%
Nuclear	12%	7%	0%	22%
Solar	12%	13%	17%	17%
Geotérmica	8%	0%	0%	6%

Fuente: University of Cambridge, citado en (Lu, 2021).

Nota del editor: Los números en cada columna no están destinados a agregar al 100% ya que los criptomneros pueden utilizar fuentes combinadas de energía de manera simultánea.

El impacto ambiental directo se ve reflejado sobre todo en la necesidad de tener una fuente ininterrumpida de energía, teniendo en cuenta que las energías renovables no son lo suficientemente estables para que el suministro sea constante y a bajo costo, lo que si logran otras fuentes contaminantes como el carbón o los combustibles fósiles.

Cabe destacar que con el cambio climático esta situación será cada vez más habitual, por ejemplo, es común observar casos en regiones de Europa donde la energía eólica no es una opción en ciertos períodos del año, ante la variabilidad climática que provoca falta de viento suficiente para impulsar las turbinas, lo que vuelve al punto de que para solventar la escasez, los países recurren a combustibles contaminantes, algo contraproducente con la meta de mitigación del Acuerdo de París, que establece la urgencia y necesidad de mantener la temperatura promedio global debajo de los 1.5°C.

El minado de Bitcoin constituye un reto trascendental para el medio ambiente, y aunque la tendencia puede modificarse en el mediano y largo plazo, ya sea por mejoras en la eficiencia de los procesos, o por la diversificación de las fuentes de energía, es un hecho que actualmente los mineros se siguen guiando por la reducción de costos y la maximización de ganancias, lo que impide tener certeza de una reducción en la huella de carbono que esta actividad genera.

Sin perjuicio de ello, algunas autoridades han tomado medidas para restringir el minado en sus territorios. Recientemente China impuso nuevas reglas criptográficas que derivaron en una migración masiva de mineros a distintas partes del mundo. Este tipo de regulaciones ha impulsado a tomar acciones para que la minería, especialmente de las monedas más importantes como Bitcoin, ideen plataformas más eficientes en miras de obtener más potencia para el desarrollo de estas operaciones sin aumentar el consumo eléctrico.

Debido a que los mineros compiten a gran escala y su único costo variable suele ser el acceso y el costo de la energía, se ven incentivados a migrar a las fuentes más baratas. Ello ha derivado en que muchas ciudades que no cuentan con una red eléctrica lo suficientemente potente o estable se vean afectadas por una mayor demanda en el sistema y se generen apagones constantes por la sobrecarga.

El uso creciente de energía en la minería de criptomonedas se debe en gran parte a la enorme cantidad de transacciones y procesamiento de datos necesarios para crear y mantener la moneda digital. A medida que estas redes crezcan y se hagan más complejas, la demanda de potencia informática aumentará consumiendo más energía. Pero más allá del debate sobre el mayor o menor impacto de las criptomonedas en el medio ambiente, es importante avizorar que la tecnología de *blockchain* en la que se basa esta economía digital está siendo incorporada en múltiples industrias.

La adopción de este nuevo sistema está apenas comenzando, por lo que el debate debe ser lo suficientemente amplio para contemplar posibles acciones en torno a la producción y consumo de energía, así como en el establecimiento de estándares mínimos a nivel internacional para la operación de estos sistemas.

Desde el punto de vista del entorno construido, la minería de criptomonedas abre el debate sobre las implicaciones que tiene la instalación de las denominadas “granjas” de aparatos electrónicos. Algunas están localizadas en contextos urbanos, mientras que otras se emplazan en localidades remotas como la central de Ethereum en Islandia. En ambos casos, estas se han ido constituyendo como especies de cascarones vacíos que poca relación tienen con el entorno en el cual se instalan pero que representan un consumo energético importante que puede tensionar el suministro de este servicio en algunas ciudades. A diferencia de las antiguas localidades mineras que impulsaron la construcción de infraestructura, viviendas y equipamientos, esta nueva actividad que se desarrolla con escasa mano de obra en las centrales operativas no necesariamente promoverá el desarrollo de las localidades ni generará economías de escala en torno a esta actividad.

El alto costo de la electricidad impulsará a mediano y largo plazo el desarrollo de sistemas más eficientes, sin embargo, las apuestas por reducir la huella de carbono de las monedas digitales no deben solo depender de la buena voluntad de los grandes grupos que controlan estas redes. En particular, sería útil plantear distintas alternativas para establecer políticas fiscales que contribuyan a la reducción del consumo energético de las criptomonedas. La ONU también está buscando formas de evitar que el crecimiento de esta economía digital socave los esfuerzos contra el cambio climático, por lo que está apoyando iniciativas como “Crypto Climate Accord”¹ que tiene como objetivo asegurarse que los futuros proyectos basados en esta tecnología estén diseñados para consumir menos energía.

A esto se le suman alternativas más creativas para contrarrestar el impacto medioambiental de las criptomonedas, como la reutilización del calor residual derivado de la minería para calentar viviendas multifamiliares en Finlandia o crear diversos productos como un generador de calor que contribuya a reducir el consumo de energía en un hogar.

EL DAÑO INDIRECTO AL MEDIO AMBIENTE

Cuando se quiere estimar el impacto ambiental en emisiones de CO₂ no solo influye el consumo de energía. Aparte de la minería existen otros procesos relacionados que producen CO₂, que aunque no sean de las mismas dimensiones, podrían ser importantes y significativos para

¹ <https://cryptoclimate.org/>

introducírlos en el presente trabajo. Como ya se ha planteado, para producir criptomonedas se necesita una gran cantidad de potencia computacional, esto significa que se utilizarán dispositivos que funcionarán las 24 horas del día. Llegará un momento en el que dejen de hacer su función, se queden obsoletos y se conviertan en desechos, es decir, en residuos electrónicos. La producción de hardware se ha vuelto un círculo que se va alimentando y haciendo mayor, cuanto más valor y más popular es bitcoin o las criptomonedas en general, más empresas se quieren meter el mundo de la minería.

Esto provoca que el proceso de hacer y cerrar un bloque sea más difícil y requiera más energía para resolverse por lo que presume una menor tasa de rentabilidad conforme aumenta la escala. Todo ello constituye una oportunidad para que el Estado junto con las empresas productoras de hardware busquen mejores incentivos para un uso más eficiente de los recursos. En tal sentido, será rentable cuando las recompensas obtenidas por bloque sean mayores al gasto de energía eléctrica y los costos de los nuevos equipos. Consecuentemente, el hardware más antiguo queda obsoleto, otros mineros tendrán nuevos dispositivos más rápidos que los antiguos, esto supondría la realización de un menor número de bloques y menos ingresos para aquellos que no renueven su sistema computacional. Así, este hardware anticuado pasará a ser un desecho electrónico.

En el estudio de Vries (2019) también se trabaja la problemática de los desechos electrónicos. Cuando los dispositivos llegan al final de su vida útil (se estima una vida media de 1,5 años), se convierten en residuos. El autor estima que en octubre de 2018 hubo 3,91 millones de máquinas Antminer S9 con un rendimiento de 57,7 exahashes/s y se produjeron 16.442 toneladas, en diciembre del mismo año el rendimiento fue de 19,9 exahashes/s y se produjeron 5.973 toneladas. Por tanto, anualmente son 10.948 toneladas de residuos electrónicos, equivalen a los de un país como Luxemburgo. Estos residuos anuales equivalen a emitir 134 g de CO₂ por transacción. En la misma sintonía, critica el argumento respecto a que el impacto ambiental será limitado debido a la producción finita de bitcoin. La obtención de recompensas o la probabilidad de obtenerlas es más baja cuanto más mineros existan y no hay un límite de mineros que puedan entrar a competir por cerrar bloques. Aunque el bitcoin sea finito, una vez se haya terminado seguirán existiendo las tarifas de transacción que serán los incentivos para seguir con la actividad del cierre de bloques.

Sumado a ello, Vries & Stoll (2021), utilizan una metodología para estimar los residuos electrónicos generados por el hardware empleado para la minería del Bitcoin. Durante 2021 se producen 30 kt de residuos globales y esperan que aumente en un 70% de aquí a 2050. Años atrás empresas como Bitmain, especializada en el minado de Bitcoin, que producían el 76% del hardware distribuido, se encargaba de dar datos de sus ventas, ahora ya no lo hacen, lo cual no favorece a los estudios sobre el tema. A esto, habría que agregarle que la existencia de instalaciones ilegales podría suponer sesgos en las muestras de los autores.

No obstante, el estudio tiene varias limitaciones, por ejemplo, los autores consideran que la vida útil de un dispositivo termina cuando ya no es rentable, pero los mineros no tienen por qué deshacerse de ellos. El precio del bitcoin es muy volátil y de acuerdo a los umbrales de rentabilidad puede que los dispositivos vuelvan a ser beneficiosos en periodos futuros, aunque sea para escalas de minado inferiores a las estándares.

DESMITIFICACIÓN EN EL PAGO DE LA CRIPTO-ENERGÍA

Un mito importante de aclarar es que se cree de manera errónea que los mineros son quienes pagan las facturas de energía para que el Bitcoin funcione, algo que no es del todo cierto si tenemos en cuenta que usan combustibles que son subsidiados por los Estados, tanto los que provienen de fuentes de energías renovables como los que son provenientes de carbón o fósiles. Además, un dato más relevante es que las grandes empresas mineras que operan en el mundo son

corporaciones multinacionales que buscan energía barata y que no asumen los impactos ni costos ambientales generados por su actividad extractiva, sino que, al agotar las condiciones para funcionar en un determinado lugar, buscan otro que les permita mantener operando sus equipos.

Por otro lado, se sostiene que la minería de Bitcoin es limpia, lo que constituye otra falacia. Por citar un ejemplo, una sola transacción de Bitcoin tiene la misma huella de carbono que 735,000 transacciones de la cadena de tarjetas de crédito VISA². Esto viene a afirmar que el diseño central del Bitcoin provoca en esencia, el desperdicio de energía. Debatir respecto a la minería de Bitcoin no es un asunto que dependa superficialmente de la perspectiva, como algunos adeptos pretenden hacer creer. El consumo de energía y los subyacentes impactos que este genera tiene rostros muy definidos. Por una parte, profundiza la brecha de desigualdades con respecto al acceso a la energía como derecho humano y, por otra parte, impone de nuevo una lógica de mercantilización de la naturaleza como un objeto a explotar para generar recompensas y compensaciones para los grupos corporativos que tienen acceso a ella.

En síntesis, la pandemia por COVID-19 ha acelerado la digitalización de las economías y dentro de este contexto los criptoactivos se han arraigado considerablemente a los sistemas económicos. El ritmo vertiginoso de la digitalización de las economías llevará a una demanda creciente de energía y las fronteras para esto generarán mayor inequidad. Si bien se han visto intentos por regular legalmente los criptoactivos y en algunos países hay medidas para prohibir su circulación, esta tecnología de por sí ha sido creada para mantener la descentralización en las transacciones, creando sus propias formas de funcionamiento fuera de las cadenas de las instituciones bancarias y del control estatal.

UN ESPACIO PARA LA MINERÍA VERDE

El planteamiento más extendido para reducir la contaminación de la criptominería apunta a descarbonizar la electricidad. Sin embargo, también hay propuestas para disminuir su consumo energético, tal es el caso de la expuesta por la Oficina de Política Científica y Tecnológica de la Casa Blanca (OSTP) de Estados Unidos. En septiembre de 2022 publicó un relevamiento sobre las implicancias climáticas de la criptominería en Norteamérica, en la cual sus recomendaciones apuntaban a dar asistencia técnica a Estados, comunidades y mineros para que desarrollen capacidades de minimizar emisiones, ruido o el impacto sobre el agua. También plantean actualizar las normas para equipos de minería y promover investigaciones que mejoren la sostenibilidad ambiental de criptoactivos. El informe de la OSTP menciona que el mecanismo de consenso Proof of Stake (PoS) o “prueba de participación” aparece como alternativa a la prueba de trabajo (PoW), disminuyendo la cantidad de computadoras necesarias para mantener la cadena de bloques. Se calcula que PoS consumió 0,28 mil millones de kilovatios-hora en 2021, menos del 0,001% del uso mundial de electricidad. Ethereum, la plataforma de la segunda criptomoneda más popular después de Bitcoin, anunció hace poco tiempo su migración de la prueba de trabajo a la prueba de participación, con lo que se espera un ahorro energético anual equivalente al consumo de energía de Chile. En el caso de Bitcoin, se empieza a denotar cierto consenso para introducir modificaciones puntuales en el sistema en general que podrían dar lugar a una reducción inmediata del consumo de electricidad, como añadir más transacciones por bloque y disminuir la dificultad o tiempo necesario para resolver la prueba de trabajo.

En ese contexto, nuevas monedas digitales con respaldo en energías limpias comienzan a proliferar en la criptoeconomía. SolarCoin (SLR), por ejemplo, una moneda digital lanzada en enero de 2014 que busca fomentar el desarrollo mundial de la energía solar fotovoltaica utilizando

² <https://www.dw.com/es/por-qu%C3%A9-el-bitcoin-necesita-m%C3%A1s-energ%C3%ADa-que-pa%C3%ADses-enteros/a-56590456>

tecnologías blockchain para generar un registro descentralizado, incorruptible y auditable de la energía solar producida por cualquier individuo o empresa. Al registrar una instalación en la blockchain de SolarCoin, los propietarios de la instalación reciben un crédito digital (1 SolarCoin) por cada Megavatio-hora (MWh) producido.

El objetivo final de esta criptomoneda es dejar un registro fiable e independiente de la contribución que cada instalación solar está haciendo en la lucha contra el cambio climático y al mismo tiempo recompensar a los propietarios de estas instalaciones y limitar la dependencia de las ayudas estatales. Las SolarCoins se envían a direcciones (cuentas) en carteras digitales y se utilizan como moneda, pueden intercambiarse por monedas gubernamentales en intercambios de criptomonedas o gastarse en empresas que las acepten.

Por caso, en El Salvador se le instruyó a la empresa estatal de electricidad geotérmica LaGeo el desarrollo de un plan que impulse la minería utilizando energía renovable generada por volcanes. Sumado a ello, desde Argentina, la Cámara Latinoamericana de Litio, impulsa una nueva criptomoneda, Atómico 3, ligada a las reservas del metal blando que se utiliza principalmente en la industria de baterías eléctricas recargables. En el caso de Paraguay, que cuenta con dos grandes represas hidroeléctricas con una potencia de cerca de 8.500 MW de los cuales solo consume 3.300 MW, por lo que existe un excedente aproximado de 5.500 MW de energía limpia que podría ser aprovechado por la industria de las criptomonedas.

CONCLUSIONES

La huella y deuda ecológica que los países industrializados vienen acumulando históricamente con las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) ha sido señalada como una de las grandes causas generadoras del cambio climático y sus efectos acelerados, que ante la llegada de la minería de Bitcoin se está viendo ampliada y profundizada de manera alarmante. A los lugares que la minería de Bitcoin ha llegado provocó considerables desperdicios de energía, teniendo como premisa fundamental la búsqueda de energía barata, libre y continua para mantener funcionando la tecnología blockchain. Esta competencia por crear nuevas cadenas de bloques es un ecosistema que emplea energía constantemente, mientras millones de personas ven negado su derecho a la energía como bien común global. Las sociedades van caminando hacia un contexto de impactos severos por eventos climáticos extremos y a un clima dramáticamente cambiante, en un contexto de inacción de los Estados para lograr cierta mitigación de las consecuencias.

El relevamiento bibliográfico sobre artículos que tratan sobre criptomonedas se basa en el mecanismo de consenso PoW. El funcionamiento de este mecanismo es el principal causante de las grandes cantidades de consumo eléctrico, por lo que una posible solución a esto sería cambiar a PoS, en tanto constituye una alternativa que consiste en escoger a los mineros para cerrar bloques en función de la cantidad de criptomoneda invertida/depositada. Este mecanismo ya está existente en otras criptomonedas, implementarlo supondría un ligero cambio en alguna de las principales propiedades por las cuales se conocen la mayoría de las criptomonedas.

Lo más relevante es que supondría una reducción de mineros para la validación de transacciones y la producción de criptomonedas y, por lo tanto, se reduciría la huella de carbono. Uno de los objetivos de bitcoin y de algunas criptomonedas es que sea la divisa con la que hacemos todos nuestros intercambios, un sistema que desbanque al dinero convencional y al sistema bancario. La literatura sobre la comparativa del impacto ambiental que tienen estos dos sistemas es escasa y prácticamente inexistente. Los estudios vistos sobre este tema tienen ciertas lagunas, pues el sistema bancario no es demasiado transparente con sus datos de consumo. La comparativa es complicada de hacer, ya que el sistema bancario ofrece muchos más servicios que cualquier criptomoneda. Creemos que no es equiparable un sistema que da servicio a una cantidad de

personas mucho mayor, además de ofrecer otros servicios distintos como préstamos o hipotecas. Para posibles futuros estudios se necesita información fiable por parte de los bancos y consensuar que servicios de los que ofrece el sistema bancario son comparables a los que ofrece una criptomoneda.

Ninguna de las fuentes renovables utilizadas para el minado de Bitcoin puede garantizar el flujo ininterrumpido de energía que la tecnología necesita para funcionar. La carga que supone para el planeta mantener funcionando una tecnología eminentemente extractiva para un juego de precisión en el que ganan pocos y pierde toda la humanidad, hace ver que el camino es erróneo. La especulación que implica esta competencia es más importante que la lucha por generar condiciones de adaptación y resiliencia en la que están inmersos muchos países, para los cuales el cambio climático es un asunto clave de política nacional, de sobrevivencia de sus culturas y pueblos enteros. Por muy innovadora que sea la tecnología que subyace a las criptomonedas, no puede escapar de las responsabilidades ambientales por lo que debe ser acompañada por la búsqueda de soluciones para reducir el impacto negativo que genera en cambio climático.

Por último, la eficiencia energética de los dispositivos usados en la minería de las criptomonedas tiene una correlación causal directa con el consumo eléctrico. Algunos de los estudios revisados más actuales han desarrollado metodologías precisas a pesar de tener varias limitaciones. La información sobre el hardware empleado es clave para conseguir metodologías y estimaciones más sólidas. Para ayudar a que estudios futuros estimen un valor de consumo eléctrico y de huella de carbono más cercano a la realidad, es imprescindible transparencia y veracidad por parte de la comunidad minera y de las granjas mineras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFI (2020). Policy model on consumer protection for digital financial services. Alliance for Financial Inclusion. <https://www.afi-global.org/publications/3465/PolicyModel-on-Consumer-Protection-for-Digital-Financial-Services>
- BCB (2020). Informe sistema de pagos instantáneos. Banco Central de Brasil <https://www.bcb.gov.br/content/estabilidadefinanceira/informesspi/InformeSPI007-2020.pdf>
- BID (2019). Modelo Perú: Acelerando la inclusión financiera a partir de la masificación del dinero móvil. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://mibim.pe/archivos/Documento-PDP.pdf>
- BID & Finnovista (2018). Fintech América latina 2018. Crecimiento y consolidación. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Fintech-AméricaLatina-2018-Crecimiento-y-consolidación.pdf>
- BID & OEA (2020). Ciberseguridad: riesgos, avances y el camino a seguir en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo y Organización de Estados Americanos. <https://publications.iadb.org/es/reporte-ciberseguridad2020-riesgos-avances-y-el-camino-a-seguir-en-america-latina-y-el-caribe>
- Brasel, S. & Gips, J. (2013). «Tablets, touchscreens, and touchpads: how varying touch interfaces trigger psychological ownership and endowment». Journal of Consumer Psychology

- CAF (2021). Encuestas de medición de capacidades financieras.
<https://www.caf.com/es/actualidad/herramientas/2021/05/visualizadorencuesta-de-capacidades-financiera/?parent=37844>
- Cárdenas, S., Cuadros, P., Estrada, C. y Mejía, D. (2020, Julio 23). Determinantes del bienestar financiero: evidencia para América Latina. Caracas: CAF.
<https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1617>
- Čihák, M. & Sahay, R. (2020). Finance and inequality.
<https://www.imf.org/en/Publications/Staff-DiscussionNotes/Issues/2020/01/16/Finance-and-Inequality-45129>
- Congreso de la República del Perú (2013). Ley N° 29985 que regula las características básicas del dinero electrónico como instrumento de inclusión financiera.
<https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/29985.pdf>
- Consejo Nacional de Inclusión Financiera (2020). Política Nacional de Inclusión Financiera 2020–2024.
https://www.afiglobal.org/sites/default/files/publications/2020-04/ES_Strategy_National_Financial_Inclusion_Strategy.pdf
- Demirgüç-Kunt, A., Klapper, L., & Hess, J. (2018). The Global Findex Database 2017: measuring financial inclusion and the fintech revolution. Washington, D.C.: Banco Mundial.
<https://globalfindex.worldbank.org/>
- Di Giannatale, S. & Roa, M. J. (2019). Barriers to formal saving: micro- and macroeconomic effects». *Journal of Economic Surveys*, Wiley Blackwell, vol. 33(2), pages 541-566.
- Fondo Monetario Internacional (2019). Fintech in Latin America and the Caribbean: stocktaking. Fondo Monetario Internacional.
<https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2019/03/26/Fintech-in-LatinAmerica-and-the-Caribbean-Stocktaking-46677>
- Fondo Monetario Internacional (2020). The promise of fintech: financial inclusion in the post COVID-19 era. Fondo Monetario Internacional.
<https://www.imf.org/en/Publications/Departmental-Papers-PolicyPapers/Issues/2020/06/29/The-Promise-of-Fintech-Financial-Inclusion-in-thePost-COVID-19-Era-48623>
- Karlan, D., Kendall, J., & Zinman, J. (2016). Research and impacts of digital financial services.
https://www.nber.org/system/files/working_papers/w22633/w22633.pdf
- Lusardi, A. & Michell, O. (2017). How ordinary consumers make complex economic decisions: financial literacy and retirement readiness. *The Quarterly Journal of Finance*, Vol. 07, No. 03.
- Mangen, A. et al. (2013). Reading linear texts on paper versus computer screen: Effects on reading comprehension. *International Journal of Educational Research* 58:61-68
- Mejía, D. & Rodríguez, G. (2016). Determinantes socioeconómicos de la educación financiera: evidencia para Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú.
<https://scioteca.caf.com/handle/123456789/835>
- Roa, M. (2013). Financial education and behavioral finance: new insights into the role of information in financial decisions. *Journal of Economic Surveys* 27, 297-315.
- de Vries, A. (2019). Renewable Energy Will Not Solve Bitcoin's Sustainability Problem. *Joule*, 3(4), 893-898. <https://dori.org/10.1016/j.joulr.2019.02.007>

de Vries, A. (2020). Bitcoin's energy consumption is underestimated: A market dynamics approach. *Energy Research & Social Science*, 70, 101721.
<https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101721>

de Vries, A. & Stoll, C. (2021). Bitcoin's growing e-waste problem. *Resources, Conservation and Recycling*, 175, 105901.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105901>