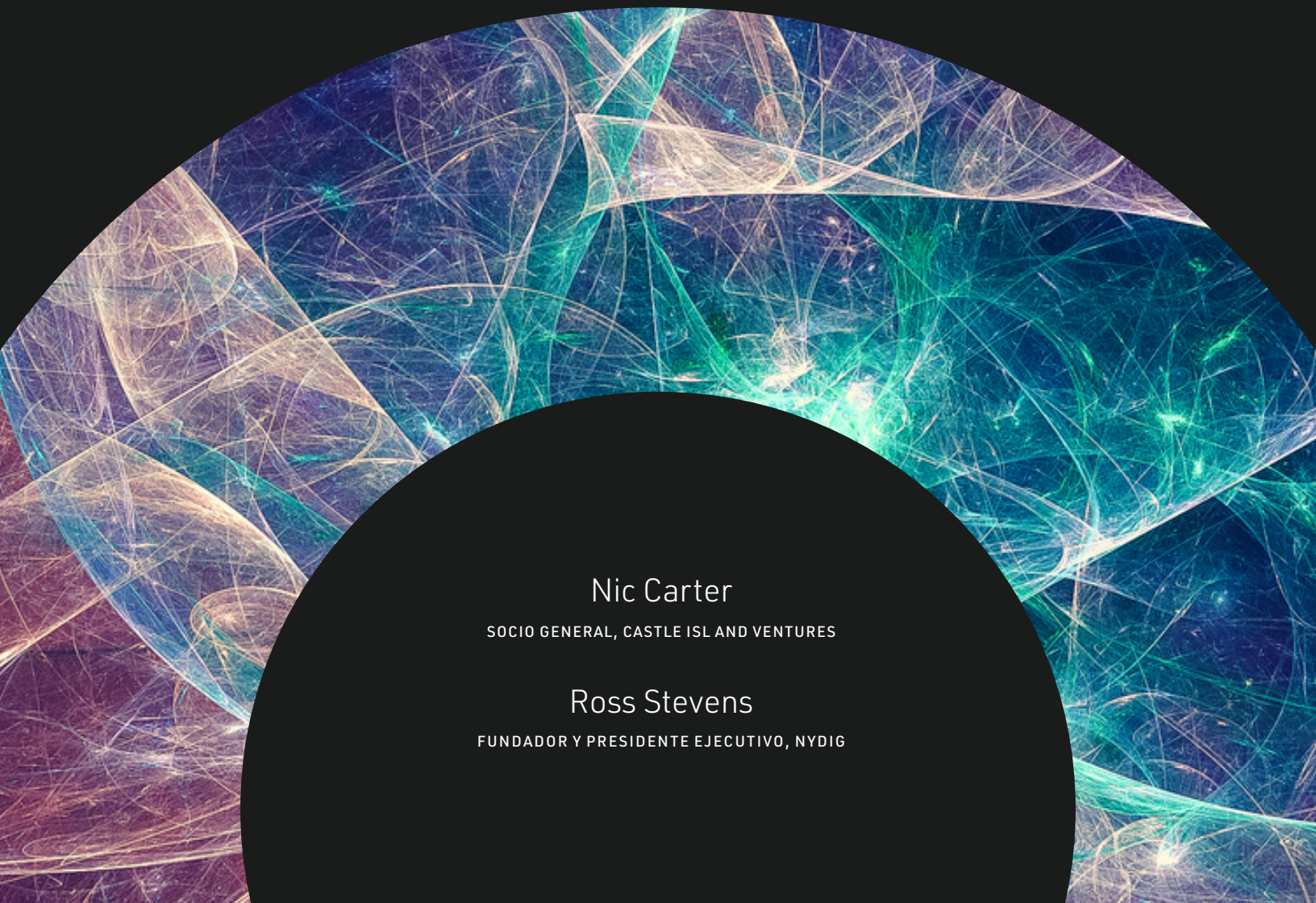
NYDIG

SEPTIEMBRE 2021

BITCOIN NET ZERO

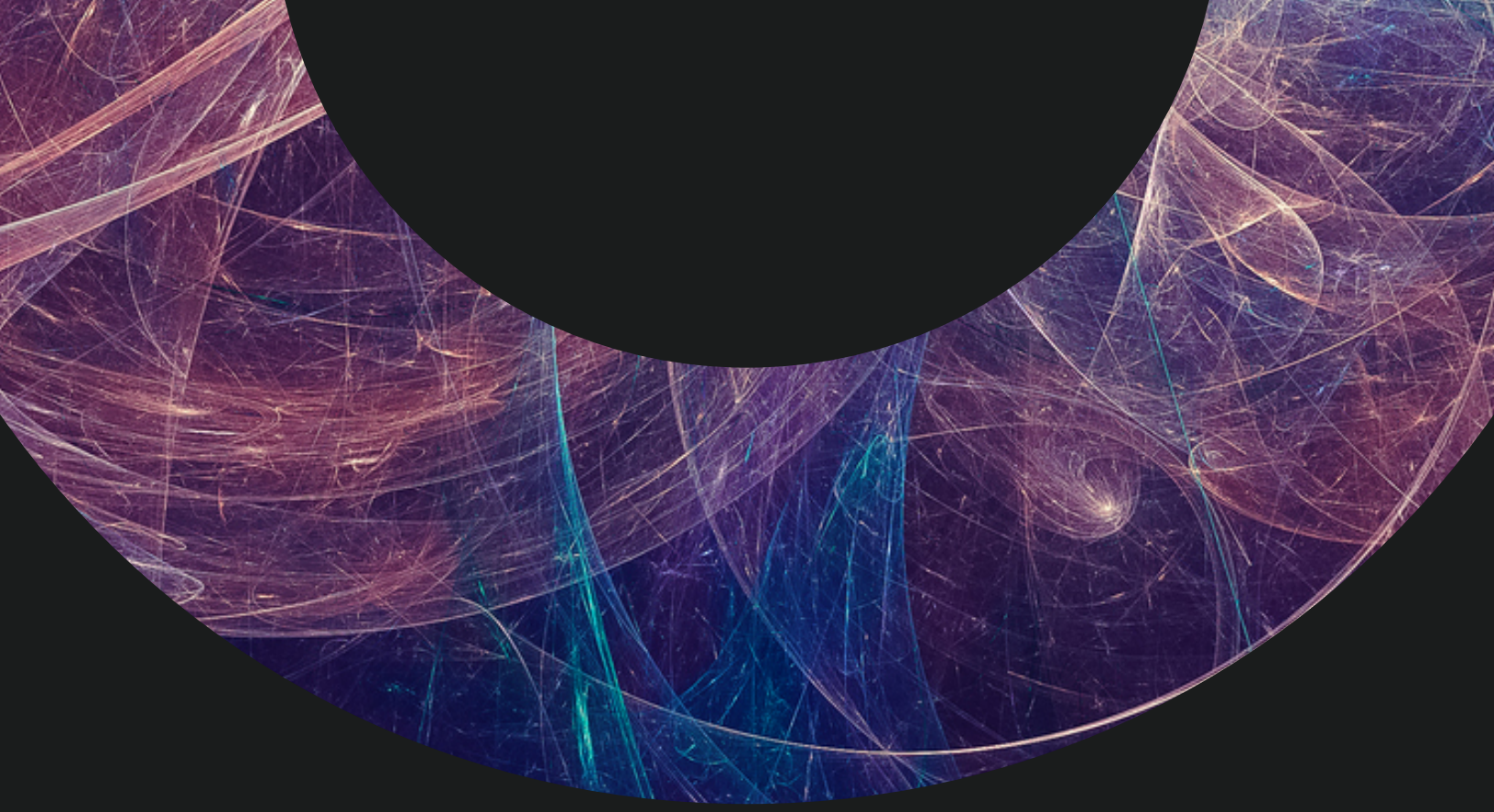


Nic Carter

SOCIO GENERAL, CASTLE ISL AND VENTURES

Ross Stevens

FUNDADOR Y PRESIDENTE EJECUTIVO, NYDIG



1. Importancia de Bitcoin en la actualidad

1. El costo humano de la inestabilidad monetaria
2. La relevancia de Bitcoin para la sociedad actual
3. Consumo energético y progreso civilizatorio

2. Emisiones de carbono de Bitcoin

1. ¿Cómo se comparan el consumo eléctrico y las emisiones de Bitcoin a nivel global?
2. ¿Por qué la minería de Bitcoin consume tanta electricidad?
3. ¿Cuál es el consumo eléctrico de la minería de Bitcoin?
4. ¿Qué emisiones de carbono han resultado del consumo histórico de electricidad?
5. ¿Cómo se compara Bitcoin con otras innovaciones y productos básicos?

3. Emisiones futuras de carbono de Bitcoin

1. ¿Cómo evolucionará el consumo eléctrico de Bitcoin bajo diferentes escenarios?
2. ¿Cómo evolucionarán las emisiones de carbono de Bitcoin bajo estos escenarios?
3. ¿Qué mecanismos de descarbonización podrían reducir las emisiones?

Resumen ejecutivo

Desde 1920, se han producido al menos 55 episodios de hiperinflación en el mundo, los cuales han destruido ahorros y generado dificultades económicas. Estos eventos generalmente son resultado de una mala gestión de los sistemas financieros y la economía por parte de los gobiernos centrales. Bitcoin ofrece al mundo una alternativa: un sistema monetario sólido fuera del control de gobiernos y bancos centrales.

Para los miles de millones de personas en circunstancias económicas menos favorecidas, Bitcoin representa un avance importante. Ofrece a trabajadores y ahorradores un medio para protegerse de la inflación al almacenar su riqueza en un medio independiente de los bancos centrales y resistente a la expropiación gubernamental. Bitcoin ha sido adoptado por más de 100 millones de personas en el mundo durante su corta existencia, con una adopción elevada en países con alta inflación, controles de capital restrictivos, escaso respeto por los derechos de propiedad o gobiernos ineficaces. En estos países, se valora la calidad institucional de Bitcoin, que supera favorablemente a sus contextos locales.

Para cumplir su función, Bitcoin depende de un sistema de «prueba de trabajo» (proof of work), mediante el cual los mineros compiten para agrupar transacciones en un libro contable global compartido. Este proceso es el principal impulsor de los costos energéticos de Bitcoin y las emisiones de carbono asociadas, los cuales pueden analizarse en el contexto del consumo energético de otras tecnologías que mejoran nuestra calidad de vida, como la calefacción, el aire acondicionado, las lavadoras y las secadoras. Estimamos que Bitcoin consumió 62 TWh de electricidad en 2020, lo que generó 33 millones de toneladas de emisiones de dióxido de carbono, una cifra insignificante a escala global: representa solo el 0.04% del consumo energético primario mundial y el 0.1% de las emisiones globales de carbono. El consumo eléctrico de Bitcoin también es bajo en comparación con otros servicios modernos intensivos en energía, como la refrigeración doméstica (630 TWh) y las secadoras de ropa (108 TWh).

Si la demanda de Bitcoin continúa aumentando, su precio seguirá subiendo, lo que incentivará a los mineros a gastar más energía para completar bloques (ya que son recompensados en bitcoin). Contrarrestando este incentivo para minar está la reducción preestablecida a la mitad (halving) de las recompensas de Bitcoin aproximadamente cada cuatro años, lo que disminuye los ingresos por minería y, en consecuencia, la demanda de electricidad.

Hemos evaluado la huella de carbono futura de Bitcoin utilizando varios escenarios de precios futuros: En un escenario base, el precio de Bitcoin alcanza los $60,000 para 2030. El consumo de electricidad y las emisiones asociadas alcanzan su punto máximo alrededor de 120 TWh y 47 MtCO2 en 2024, antes de disminuir rápidamente. Para 2028, las emisiones estarán por debajo de una ruta hacia cero emisiones netas (una reducción lineal de las emisiones de carbono desde los niveles de 2020 hasta cero en 2050).

En un escenario de precios altos, Bitcoin alcanza los $490,000 para 2030, es decir, 45 veces su precio promedio de 2020. El consumo de electricidad alcanza su máximo en 2027 con un nivel 11 veces superior al de 2020, y las emisiones de carbono asociadas son siete veces mayores que las de 2020. Las emisiones caen rápidamente después de 2027, llegando a 22 MtCO2 para 2040. Incluso en el punto máximo del escenario de precios altos, las emisiones de Bitcoin solo representan el 0.9% de las emisiones globales de carbono.

Al proporcionar un nuevo sistema monetario sólido e independiente de los gobiernos, Bitcoin puede ofrecer valor a miles de millones de personas. Esto supera con creces sus requisitos energéticos asociados. Además, muchos mineros están centrándose cada vez más en minimizar las emisiones de carbono vinculadas a sus actividades mediante la compra de compensaciones, la adquisición de energías renovables, la preferencia por ubicaciones con energía renovable y el uso de energía que de otro modo se desperdiciaría, como la hidroeléctrica no utilizada o el gas quemado en antorchas. A largo plazo, la intensidad de las emisiones de carbono de Bitcoin (y con ello sus emisiones absolutas de carbono) disminuirá, a medida que continúe el desarrollo de energías renovables y los países avancen hacia la descarbonización de sus redes eléctricas.

Sección 1

Importancia de Bitcoin en la actualidad

1. El costo humano de la inestabilidad monetaria
2. La relevancia de Bitcoin para la sociedad actual
3. Consumo energético y progreso civilizatorio

Esta sección presenta y analiza a Bitcoin en su contexto como sistema monetario no soberano que penetra rápidamente en un mundo de monedas fiduciarias. Invita a los lectores a reflexionar sobre el costo humano de la inestabilidad monetaria, que afecta a miles de millones de personas en el mundo. Tener acceso a una moneda estable en un país que respeta los derechos de propiedad es la excepción y no la norma. Analizamos las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son los costos y desventajas asociados a la inestabilidad monetaria?
- ¿Qué lugar ocupa Bitcoin entre los activos monetarios en la actualidad?
- ¿Cuál ha sido el nivel de adopción de Bitcoin en sus primeros 12 años?
- ¿Dónde se ha adoptado Bitcoin con mayor intensidad y qué nos dice esto sobre su propuesta de valor?
- ¿Cuál es la relación entre el consumo energético y la calidad de vida?

Resumen

- Existen numerosos ejemplos en los que el colapso monetario ha causado daños inmediatos y demostrables a los ciudadanos. Analizamos los casos recientes de Argentina, Líbano, Turquía, Cuba y Nigeria.
- Hasta la fecha, se han registrado 56 episodios de hiperinflación en la historia. Todos, excepto uno, ocurrieron en los siglos XX o XXI, y ninguno en economías con una moneda basada en un patrón de materias primas. Los ahorros de quienes no convirtieron su dinero en activos tangibles fueron destruidos.
- Las crisis monetarias afectan de manera desproporcionada a las clases media y baja, que no poseen activos reales ni tienen los medios para trasladar rápidamente sus recursos al extranjero.
- Bitcoin puede beneficiar a los ciudadanos al obligar a los bancos centrales (que podrían haber sido excesivamente inflacionarios) a adoptar disciplina monetaria.
- Bitcoin ofrece a los ahorradores un medio para almacenar su riqueza en un sistema independiente de los bancos centrales. Más de 100 millones de personas en el mundo lo han adoptado en sus pocos años de existencia.
- La alta adopción per cápita de Bitcoin es evidente en países con inflación elevada, controles de capital estrictos, derechos de propiedad débiles y gobiernos ineficaces. Esto demuestra que los ciudadanos en estos países valoran las cualidades institucionales de Bitcoin, que superan las de sus sistemas locales.
- Los costos energéticos de Bitcoin deben evaluarse en el contexto de sus beneficios. Numerosas tecnologías que consumen energía –como la calefacción, el aire acondicionado, las lavadoras y las secadoras– han sido aceptadas porque mejoran la calidad de vida.

1.1 El costo humano de la inestabilidad monetaria

Argentina, diciembre de 2001

El 1 de diciembre de 2001, todas las cuentas bancarias en Argentina fueron congeladas. El peso argentino se depreció un 40% frente al dólar estadounidense de la noche a la mañana y perdió el 75% de su valor en los siguientes tres años[1]. La mayoría de los ahorradores que vieron disminuir el valor de sus ahorros congelados eran pequeños depositantes; quienes tenían recursos habían trasladado sus fondos a jurisdicciones más seguras antes de la devaluación repentina.[1]

Los ahorros de las clases media y baja fueron prácticamente destruidos. Con el dinero congelado, el comercio colapsó y el desempleo se disparó, alcanzando un máximo del 22.5%. Los disturbios provocaron 24 muertes solo en diciembre[2]. Siete millones de personas de clase media cayeron en la pobreza debido a lo que se conoció como el corralito –literalmente "parque infantil"– y sus consecuencias[2]. Esto significó que el 18% de la población se convirtió en nuevos pobres –recién empobrecidos–.

Las devaluaciones generalmente ocurren de forma repentina, violan invariablemente los derechos de propiedad y causan el máximo daño a los menos móviles económicamente. El sistema bancario –del cual los depósitos se vuelven difíciles o imposibles de retirar– suele ser el principal medio de expropiación. El corralito argentino siguió trágicamente el manual de devaluación.

Con este y otros recuerdos de fuertes devaluaciones aún presentes en la memoria colectiva, Argentina tiene una de las tasas per cápita más altas del mundo en adopción de criptomonedas[3]. La plataforma de criptomonedas argentina Ripio cuenta con 1.3 millones de usuarios[4], atraídos por dinero sólido y no estatal como Bitcoin.

Turquía, mayo de 2018

El 23 de mayo de 2018, la lira turca cayó un 5% frente al dólar estadounidense. El catalizador: el anuncio del presidente Erdogan de que ignoraría las opiniones del banco central y tomaría el control directo de las tasas de interés[5]. La lira se depreció un 25% durante el año y ha caído un 77% frente al dólar desde 2013. La inflación oficial ha superado ampliamente el 10% durante los últimos tres años[6], afectando desproporcionadamente a los hogares de bajos ingresos que carecen de activos tangibles para intercambiar o vender. La inflación se ha disparado y el crecimiento se ha desplomado.

Dada la afinidad cultural por el oro en Turquía, no es sorprendente que Bitcoin haya desempeñado un papel significativo a medida que la moneda se debilitaba. Turquía tiene la octava penetración per cápita de criptomonedas más alta del mundo, con aproximadamente 5 millones de inversionistas en cripto[7]. Los exchanges locales BtcTurk y Paribu tienen 3 millones de usuarios cada uno.

Los 84 millones de habitantes de Turquía se han visto obligados a enfrentar una crisis monetaria exacerbada por la imposición directa de las opiniones del presidente Erdogan sobre la política monetaria, combinada con un banco central débil y no independiente con una puerta giratoria de gobernadores[8]. La crisis actual, causada por el endeudamiento y gasto gubernamental insostenibles, combinados con una falta de credibilidad monetaria, ha causado estragos en la población.

Líbano, octubre de 2019

En octubre de 2019, los bancos libaneses impusieron límites arbitrarios de retiro, atrapando los ahorros de los usuarios en un sistema que no podía cumplir con sus obligaciones pendientes.[9] Los cajeros automáticos dejaron de dispensar efectivo. Desde el otoño de 2019, la libra libanesa se ha devaluado un 91 por ciento frente al dólar estadounidense. Aunque la libra sigue estando nominalmente vinculada a 1,500 por 1 dólar, la tasa en la calle es de 17,000 por 1 dólar. En medio del caos, los grandes depositantes han logrado escapar del sistema bancario, sacando del país 6 mil millones de dólares, en eludir directa de los controles de capital[10]. Los exiguos ahorros de los pequeños depositantes han quedado congelados.

Las consecuencias de la crisis financiera y el colapso de la moneda han sido graves. La clase media, que antes era vibrante, ha sido aniquilada. Los ciudadanos comunes, incapaces de acceder a servicios financieros funcionales, han recurrido al trueque de bienes.[11] Los ciudadanos comunes, incapaces de acceder a servicios financieros funcionales, han recurrido al trueque de bienes. Más de la mitad de la población ha caído en la pobreza[12]. El Banco Mundial ha calificado[13] este episodio como una de las 10 peores crisis financieras del mundo desde mediados del siglo XIX. OMás de tres cuartas partes de las familias no pueden comer adecuadamente, y dos tercios de la población ahora compra alimentos a crédito.[14]

Al igual que con el corralito argentino, cuando una moneda fiduciaria frágil colapsa, las élites suelen tener los medios para escapar, mientras que los pequeños y medianos depositantes son castigados financieramente y sufren un deterioro acelerado en sus condiciones de vida. Frente a un sistema financiero disfuncional, algunos emprendedores libaneses han comenzado a utilizar Bitcoin como una moneda puente para fines de remesas.[15]

Cuba, enero de 2021

Desde 1993, los cubanos han tenido que lidiar con un sistema complejo de múltiples monedas y tasas de cambio. Aunque tanto el peso cubano como el peso convertible (CUC) están oficialmente fijados a $1, el peso se intercambia alrededor de 4 centavos por dólar. Los trabajadores estatales reciben salarios en pesos, la moneda de uso común; los CUC están reservados para turistas e importaciones. La asociación del CUC con el sector "lujo" o turístico ha llevado a muchos cubanos a abandonar empleos remunerados en pesos por trabajos en turismo o como taxistas, que les dan acceso a los escasos y más confiables CUC[16]. Manejar múltiples monedas genera fricciones y confusión constante, mientras el acceso desigual a estas divisas profundiza la desigualdad.

La pandemia de COVID-19 redujo el turismo, golpeando la economía cubana y desatando una crisis económica. Además, el gobierno unificó los sistemas monetarios el 1 de enero de 2021, provocando una devaluación brusca e inflación de tres dígitos[17]. Como en todos los cambios abruptos de política monetaria, los efectos han sido desiguales: los cubanos que ahorraban en pesos y no trabajaban para el Estado sufrieron especialmente, mientras los empleados estatales recibieron aumentos salariales automáticos para compensar la inflación[18].

La devaluación, combinada con la escasez de dólares, intensificó la crisis. La inflación alcanzará al menos 500% este año, y los cubanos se han visto obligados a adquirir divisas en el mercado negro para obtener alimentos y productos básicos[19]. Esto desencadenó las protestas más fuertes contra el régimen cubano desde la revolución de 1959. El sufrimiento económico es tan grave que los cubanos están arriesgando arrestos por la policía secreta al participar en las primeras protestas masivas de la historia nacional.

Nigeria, mayo de 2021

Nigeria es el país más poblado de África, con 211 millones de habitantes, y una potencia económica en crecimiento que probablemente desempeñará un papel importante en el futuro del continente. Sin embargo, su población ha cargado con un sistema monetario poco confiable. La inflación alcanzó el 18% en marzo de 2021[20], con precios de alimentos especialmente volátiles. La inflación de bienes materiales es común para los nigerianos: desde 2008, ha promediado el 12.2%[21]. Los problemas monetarios empeoraron este año con la devaluación abrupta[22] del naira, resultado del intento de armonizar las dos monedas paralelas del país. Los ahorros en naira se redujeron drásticamente, y Nigeria también cayó en una dolorosa recesión. Sin embargo, a los ahorradores les resulta difícil convertir el naira en otras monedas más sólidas debido a controles de capital estrictos[23].

No es sorprendente que Nigeria tenga una tasa de adopción de Bitcoin muy alta, la más alta del mundo según Statista: en una encuesta reciente, el 32% de los encuestados afirmó usar criptomonedas[24]. Incluso las acciones gubernamentales para desconectar a los exchanges del sector bancario no lograron frenar el entusiasmo por Bitcoin. Los usuarios simplemente migraron a exchanges peer-to-peer, como Paxful, donde Nigeria ocupa el segundo lugar a nivel mundial, detrás de EE.UU. Chainalysis estima[25] que $2.4 mil millones en criptomonedas llegaron a manos nigerianas solo en mayo de 2021.

Los usos de Bitcoin en Nigeria son extremadamente diversos. Grupos activistas políticos, excluidos del sector bancario formal, han usado Bitcoin para aceptar donaciones y movilizarse evitando la censura. Algunos nigerianos también usan Bitcoin como un dispositivo alternativo de ahorro. Otros usan bitcoins como moneda puente para importar dólares estadounidenses. Bitcoin también es un medio de intercambio[26] para exportadores obstaculizados por controles de capital. En resumen, Bitcoin está liberando la creatividad y el potencial económico de una población creciente y ambiciosa, ofreciéndoles una alternativa a un sistema financiero excluyente e inestable.

Estos ejemplos recientes son, lamentablemente, solo una pequeña muestra de los colapsos monetarios globales y sus efectos en la población, especialmente en las clases media y trabajadora. La historia de las monedas fiduciarias está repleta de casos similares. Los más notorios son aquellos en los que el valor de una moneda cae prácticamente a cero, y los ahorros se destruyen por completo. En Venezuela y Zimbabue, la moneda soberana fue totalmente aniquilada. En total, se han identificado 56 eventos distintos de hiperinflación (definidos como periodos donde la inflación mensual supera el 50%) en la historia27. Todos, excepto uno, ocurrieron en los siglos XX o XXI. Las causas han variado: guerras, caos político o cambios abruptos en regímenes económicos. Pero hay una constante: cada uno ocurrió en economías con un estándar monetario fiduciario y discrecional. Ningún evento de hiperinflación ha ocurrido en economías donde la política monetaria estaba limitada por un patrón de materias primas.

La destrucción de los ahorros de una nación mediante hiperinflación descontrolada es un fenómeno moderno. Por supuesto, la hiperinflación no es la única forma de colapso monetario. La política monetaria, si se usa mal, puede ser una herramienta poderosa para la confiscación, redistribuyendo recursos sociales sin consentimiento. Con demasiada frecuencia, las reformas monetarias sorprenden a los ciudadanos y erosionan su capacidad adquisitiva. Dado que los ciudadanos suelen ahorrar directa o indirectamente a través de instrumentos vinculados a la deuda gubernamental y la moneda local, los cambios bruscos en la política monetaria suelen perjudicar a los ahorradores.

La inflación, los impagos y el caos monetario tienden a debilitar a la sociedad. Los relatos históricos sobre inestabilidad monetaria y la posterior destrucción de ahorros suelen ser técnicos y cargados de jerga, ignorando el enorme costo humano de los fracasos monetarios. Peor aún, la frecuencia de las crisis financieras ha aumentado drásticamente[28] desde el fin del sistema Bretton Woods. Entre 1975 y 2009, se registraron 224 crisis monetarias distintas[29], una tasa de más de seis por año.

Irónicamente, la creciente frecuencia e intensidad de la inestabilidad monetaria ocurre junto con una confianza cada vez mayor por parte de los bancos centrales modernos. En 2017, la entonces presidenta de la Reserva Federal, Janet Yellen, declaró que no creía que hubiera otra crisis financiera "en nuestras vidas"[30]. Hoy, los bancos centrales de países desarrollados facilitan el gasto estatal monetizando deuda, y algunos[31] incluso financian directamente el gasto gubernamental mediante emisión monetaria. A medida que la flexibilización cuantitativa se ha normalizado, los bancos centrales están reinterpretando sus mandatos y ampliando su alcance[32].

A pesar de este mayor rol de los bancos centrales, las crisis financieras no son cosa del pasado. En 2020, los impagos soberanos alcanzaron su nivel más alto en más de 20 años[33], mientras que la proporción de degradaciones crediticias soberanas frente a mejoras fue récord (10:1). Sin embargo, el acceso a las monedas soberanas más creíbles depende en gran medida del lugar de nacimiento de una persona. Actualmente, 1,300 millones de personas en el mundo viven bajo inflación de dos o tres dígitos[34].

1.2 La relevancia de Bitcoin para la sociedad actual

Hoy, Bitcoin es una institución monetaria de relevancia global que ofrece un medio no estatal y no bancario para almacenar riqueza, así como un medio transaccional apolítico y neutral. Si bien muchas personas usan intermediarios o custodios para almacenar sus bitcoins (de manera similar a quienes poseen oro en formato papel), también es posible tener el activo directamente en una computadora portátil o teléfono inteligente. El valor agregado de todas las unidades de Bitcoin en circulación ronda los $700,000 millones[35].

Además de ser un medio para transportar riqueza a través del tiempo y el espacio mediante un sistema con reglas predecibles y garantías sólidas basadas en criptografía, Bitcoin también facilita el asentamiento final de valor sin riesgo de contraparte. Bitcoin liquida transacciones por valor de miles de millones de dólares cada día sin interrupciones o tiempos de inactividad significativos, otorgando a los usuarios una finalización predecible y fuerte dentro de unos pocos bloques. En abril de 2021, se estimó que se liquidaban $15 mil millones en transferencias de bitcoin cada día.[36] En sus primeros 12.5 años de existencia, Bitcoin liquidó cientos de transacciones individuales por más de mil millones de dólares sin incidentes. Gracias a su historial de funcionamiento continuo y mayormente sin fallos, Bitcoin es ampliamente considerado un sistema global de liquidación sólido y confiable.

Estas garantías de liquidación son posibles gracias al proceso de prueba de trabajo (proof of work), en un entorno sin un coordinador o líder único. Sistemas alternativos que parecen menos costosos se basan en modelos centralizados con un puñado de árbitros finales que determinan el historial transaccional válido. Bitcoin busca establecer un medio transaccional neutral, apolítico y sin sesgos, por lo que debe mantener un entorno abierto donde cualquier minero puede entrar o salir libremente. La prueba de trabajo lo permite.

Además, el mecanismo de prueba de trabajo (proof of work) regula la emisión de nuevos bitcoins al subastarlos efectivamente en un entorno de mercado libre con competencia abierta. El modelo de emisión de Bitcoin basado en el libre mercado garantiza que ningún grupo pequeño y privilegiado pueda obtener acceso exclusivo al control monetario. El método de emisión por prueba de trabajo –donde los mineros gastan electricidad y recursos computacionales para adquirir nuevas unidades– establece un costo real para bitcoin, obligando a los mineros a "invertir" si desean ocupar la posición de emisor. Esto contrasta con los sistemas fiduciarios, donde un puñado de entidades privilegiadas pueden crear unidades monetarias arbitrarias sin costo alguno.

Para una tecnología incipiente, con solo 12 años de existencia, Bitcoin ha logrado un nivel de adopción notable. El Cambridge Center for Alternative Finance estimó en 2020 que había entre 101 y 191 millones de usuarios de criptomonedas en el mundo[37]. Solo el exchange de criptomonedas Coinbase cuenta con 56 millones de usuarios[38] en 100 países. Una encuesta de NYDIG[39] identificó 46 millones de dueños de bitcoin solo en EE.UU. Crypto.com estima que en enero de 2021 había 106 millones de usuarios de criptomonedas, de los cuales 71 millones poseían bitcoin[40]. Aunque las cifras exactas son difíciles de obtener, hoy Bitcoin es relevante en la vida de más de 100 millones de personas a nivel global.

Si bien gran parte del capital invertido en Bitcoin proviene de inversionistas estadounidenses, europeos o chinos, las cifras de penetración per cápita revelan una adopción global. Basado en un índice que cuantifica la adopción ciudadana (usando flujos en cadena, datos de encuestas y transacciones medibles en exchanges peer-to-peer), es evidente que la mayor penetración per cápita de Bitcoin está en: Sub-Saharan Africa, Latin America, Eastern Europe, and Southeast Asia.[41]

Los 20 países más activos en cripto, medidos por uso por unidad de población, se listan en la Tabla 1. EE.UU. y China están en la lista, pero esta está dominada por mercados emergentes, fronterizos o políticamente inestables. Algunos países con alta actividad cripto enfrentan episodios inflacionarios (ej: Venezuela, Argentina, Nigeria). Otros, como China y Ucrania, imponen controles de capital estrictos a los activos ciudadanos. De manera reveladora, los usuarios parecen adoptar Bitcoin al menos parcialmente por fallas en las instituciones locales: los 10 principales países en el índice de adopción cripto tienen, en promedio, puntajes inferiores al promedio global en medidas de democracia e integridad gubernamental.

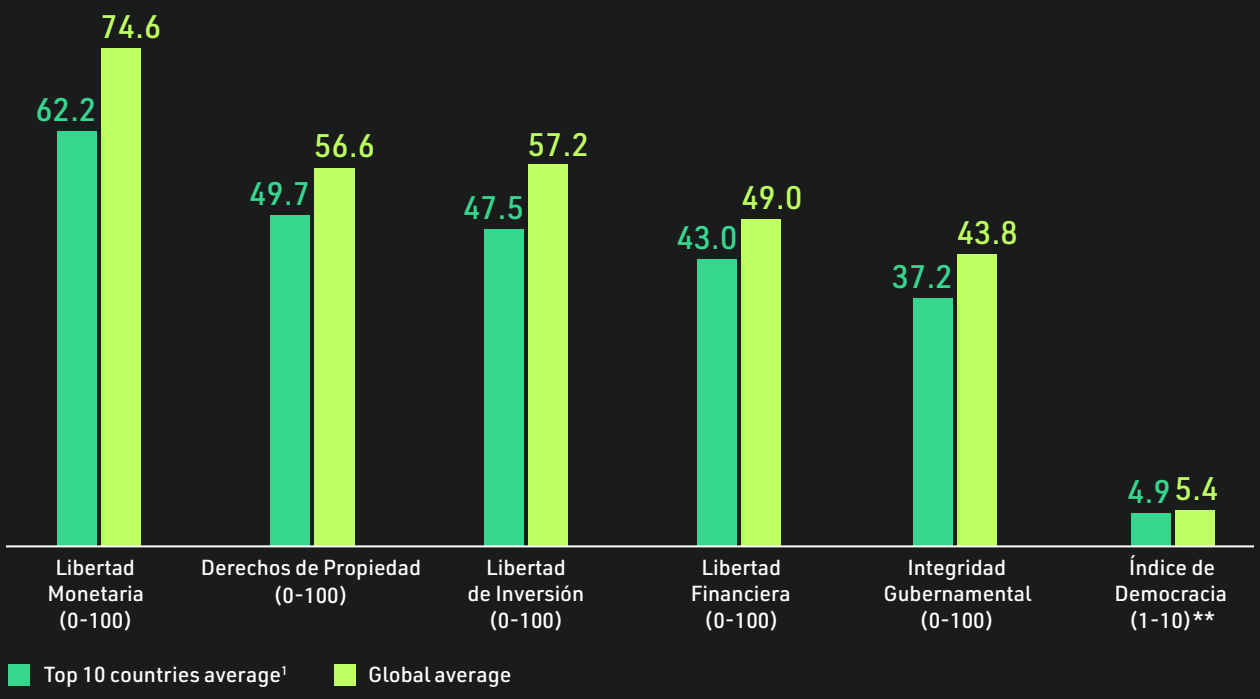
TABLA 1:
Los 20 países más activos en criptomonedas - Índice Global de Adopción de Criptomonedas de Chainalysis

RANGO	PAÍS	RANKING GENERAL DEL ÍNDICE[1]	RANGO	PAÍS	ÍNDICE DE ADOPCIÓN DE CRIPTOMONEDAS[1]
1	Vietnam	1.00	11	Colombia	0.19
2	India	0.37	12	Tailandia	0.17
3	Pakistan	0.36	13	China	0.16
4	Ucrania	0.29	14	Brasil	0.16
5	Kenia	0.28	15	Filipinas	0.16
6	Nigeria	0.26	16	Sudáfrica	0.14
7	Venezuela	0.25	17	Ghana	0.14
8	Estados Unidos	0.22	18	Rusia	0.14
9	Togo	0.19	19	Tanzania	0.13
10	Argentina	0.19	20	Afganistán	0.13

1. Chainalysis combina tres medidas del uso de criptomonedas y las ajusta por el poder adquisitivo del mercado (valor de criptomonedas recibido en cadena, valor de comercio minorista transferido en cadena, volumen de intercambio peer-to-peer (P2P)).

Fuente: Índice Global de Adopción de Criptomonedas de Chainalysis 2021

GRÁFICO 1:
Principales estadísticas socioeconómicas de los 10 países más activos en criptomonedas frente al promedio global
2021



1. Promedio de los 10 países en el Índice de Adopción Global de Criptomonedas de Chainalysis.

Fuente: 2021 Chainalysis Global Crypto Adoption Index, Heritage.org (2020).

La adopción desproporcionada de Bitcoin en países con monedas débiles o protecciones inferiores para la propiedad privada es lógica: consiste en un sistema independiente de derechos de propiedad[42] que defiende la libertad transaccional de los individuos y permite a los ahorradores globales controlar directamente su riqueza mediante una clave criptográfica simple. Bitcoin es una red global no soberana disponible para cualquier persona con internet y un teléfono inteligente, y ofrece una elección monetaria libre, permitiendo a los ahorradores excluirse de su régimen local. Además, la presencia de sustitutos monetarios de libre acceso ejerce una fuerza disciplinaria sobre los bancos centrales[43], castigando políticas monetarias laxas. Por lo tanto, Bitcoin no necesita ser adoptado por completo para mejorar las condiciones de vida de quienes residen bajo regímenes monetarios erráticos: la mera amenaza de sustitución de moneda puede incentivar un mejor comportamiento por parte de las autoridades monetarias. Así, Bitcoin tiene relevancia contextual: puede no parecer tan atractivo para quienes creen vivir en entornos monetarios estables o bajo gobiernos que respetan los derechos de propiedad y el estado de derecho, pero se vuelve críticamente relevante en su ausencia.

1.3 Consumo de energía y progreso civilizacional

Como investigamos más adelante en este informe, Bitcoin requiere una cantidad considerable de energía. Antes de examinar la probable trayectoria de estas emisiones, podemos considerar la relación de la humanidad con la energía.

La historia de la civilización ha sido una de captura y explotación de fuentes de energía cada vez más densas. Las mayores herramientas para reducir la pobreza y mejorar la calidad de vida han sido el desarrollo de procesos industriales, la electrificación, la agricultura industrializada, la climatización y calefacción, y el transporte mecanizado. Por ejemplo, desde las reformas de Deng Xiaoping en China en la década de 1980, 850 millones de chinos han salido de la pobreza gracias a la industrialización y urbanización, todo lo cual requirió el uso de energía abundante.

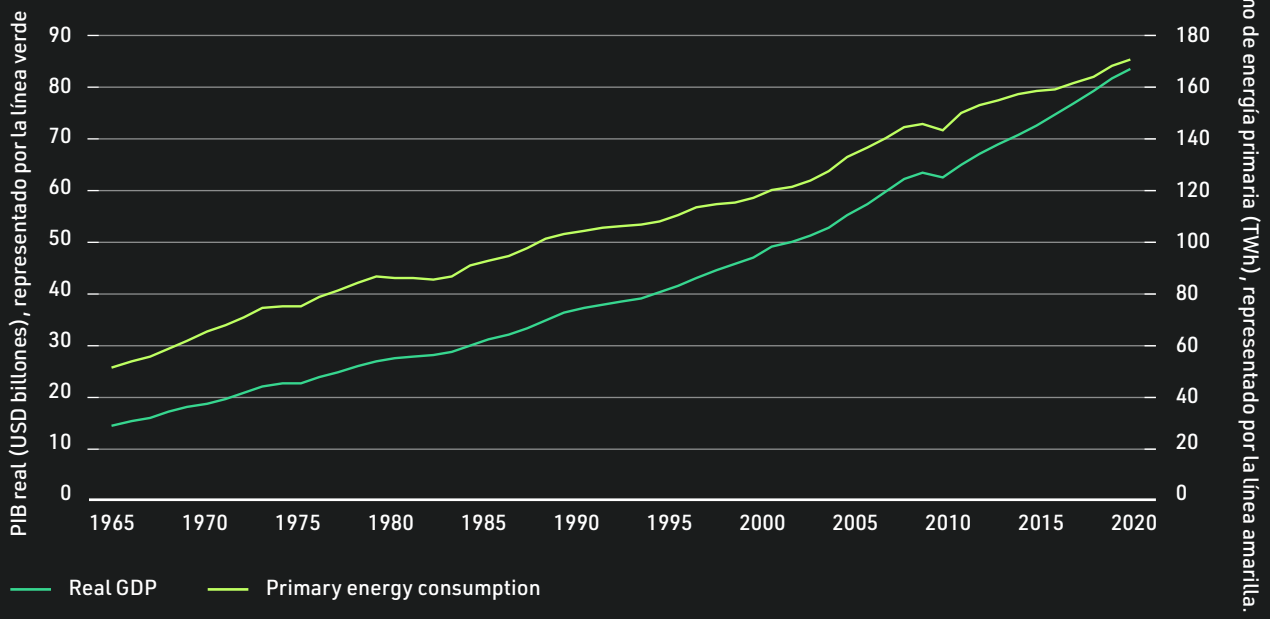
El mundo aún no está completamente electrificado, y un nivel de vida moderno y desarrollado está lejos de ser universal. De hecho, 760 millones de personas hoy en día viven sin acceso a electricidad confiable.[44] Solo un tercio de todos los hogares a nivel mundial tiene acceso a aire acondicionado y solo el 8 por ciento de las 2.8 mil millones de personas que viven en los climas más cálidos.[45]

A largo plazo, el consumo de energía primaria está estrechamente correlacionado con el PIB (ver Gráfico 2). Un análisis transversal del PIB y el consumo de energía per cápita revela que los países más ricos consumen, por lejos, la mayor cantidad de energía (ver Gráfico 3A). Simplemente no hay forma de lograr un alto nivel de vida sin producir y consumir energía abundante.

GRÁFICO 2:

PIB real global y consumo de energía primaria

USD billones, TWh, 1965-2019

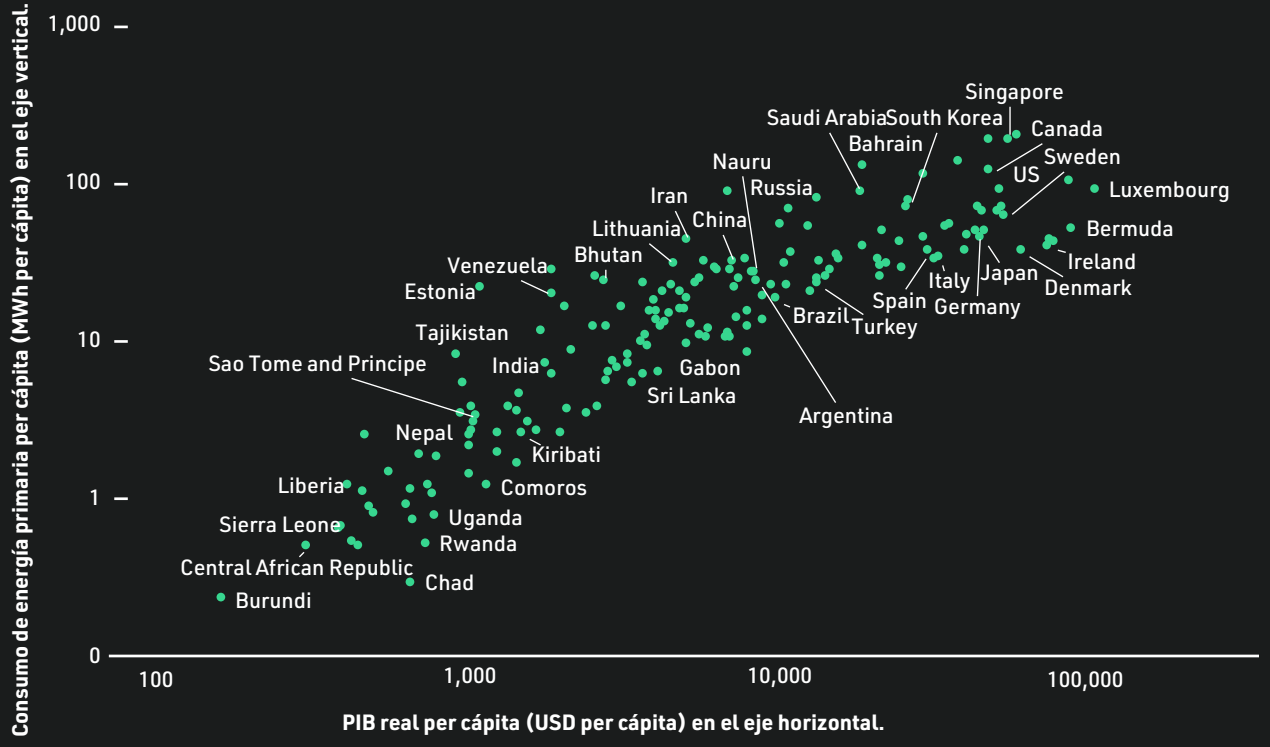


Fuentes: Revisión estadística de la energía global de BP, El Banco Mundial.

GRÁFICO 3A:

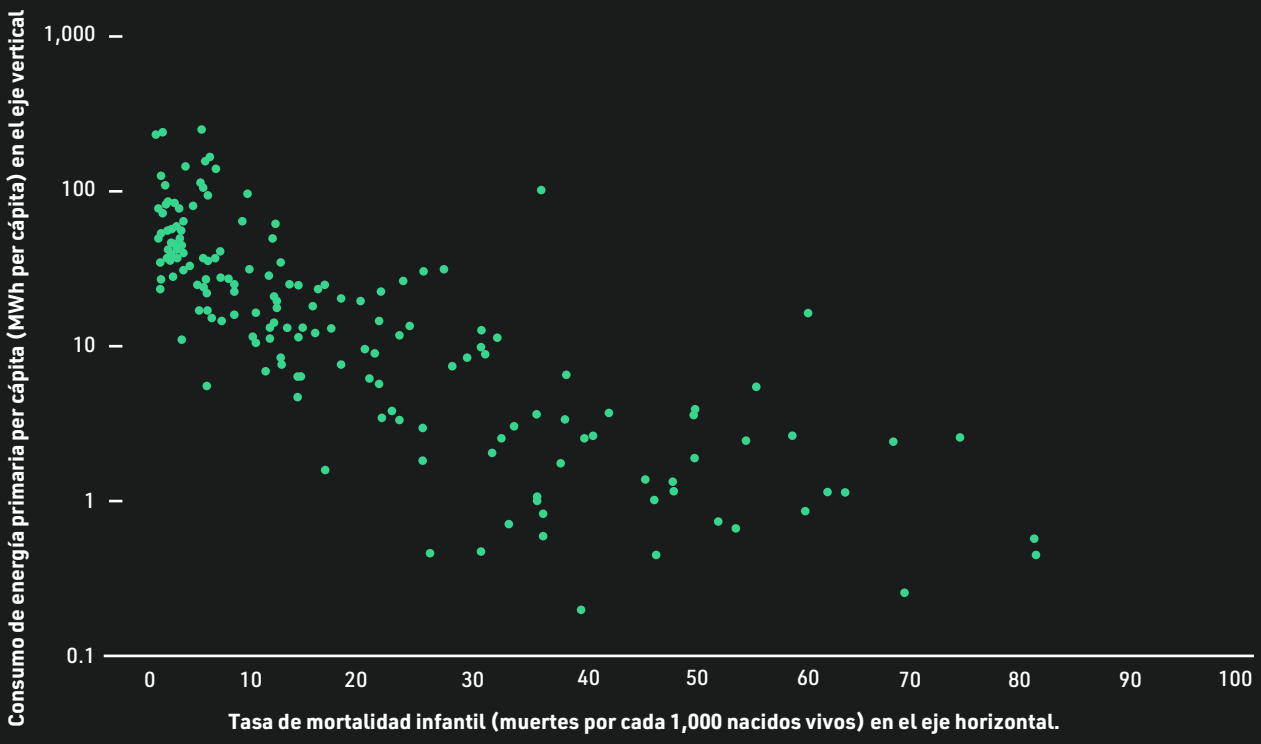
PIB real per cápita y consumo de energía primaria per cápita por país

USD per cápita, MWh per cápita, 2018



Fuentes: Administración de Información de Energía de EE. UU., El Banco Mundial, análisis de NYDIG.

GRÁFICO 3B:
Tasa de mortalidad infantil y consumo de energía primaria per cápita por país
Muertes por cada 1,000 nacidos vivos



Fuentes: Administración de Información de Energía de EE. UU., El Banco Mundial, análisis de NYDIG.

Dotar a los ciudadanos de energía abundante es esencial para alcanzar un alto nivel de vida. De hecho, dado que la energía abundante nos otorga tantas comodidades, la sociedad rara vez debate públicamente el mérito social de estas tecnologías. El aire acondicionado en países cálidos se da por sentado. Cuando los apagones lo desactivan, la reacción es lamentar la pérdida de conveniencia en lugar de aceptar las condiciones preindustriales. El contrato social esbozado en Occidente establece que hogares e industrias consumen libremente la energía que han pagado, mientras los responsables políticos regulan la red eléctrica y mitigan sus externalidades.

Numerosas innovaciones tecnológicas consumen grandes cantidades de energía y son percibidas como usos válidos de esta debido a su utilidad social. La refrigeración, el aire acondicionado, los ventiladores eléctricos, el transporte marítimo y el aéreo mejoran drásticamente nuestra calidad de vida, aunque consumen energía en abundancia. Mencionamos estas industrias no para sugerir que su uso deba restringirse, sino porque evidencian la correlación entre producción energética y prosperidad humana. Estas tecnologías hacen los veranos tolerables y los inviernos soportables, simplifican tareas domésticas, facilitan el comercio global y hacen posible los viajes internacionales.

A medida que la civilización avanza, seguiremos descubriendo medios innovadores para producir energía suficiente de manera sostenible. A medida que nuevas formas de energía se vuelvan más abundantes, desbloquearán experiencias hasta ahora inaccesibles. Así como la gasolina y los motores de combustión hicieron posible el transporte en automóvil, y las baterías eficientes permitieron la computación personal y la comunicación constante, los nuevos métodos de producción y almacenamiento energético seguirán impulsando el progreso civilizatorio. Nuestro desafío es satisfacer la creciente demanda de energía de la sociedad de manera compatible con los límites planetarios relevantes. Las alternativas –regresar a un estado preindustrial o impedir que el sur global se industrialice– no son prácticas ni morales.

Al igual que las tecnologías mencionadas, Bitcoin es una innovación revolucionaria que puede mejorar la calidad de vida global. Ofrece a los ahorradores la oportunidad de controlar directamente su riqueza en un sistema monetario sólido y no estatal, regido por normas no discrecionales. Así, Bitcoin proporciona un sistema de derechos de propiedad excepcionalmente potente. Como toda tecnología disruptiva, su impacto completo no ha sido inmediatamente apreciado por todo su mercado potencial, aunque sigue una curva de adopción acelerada. Dado que Bitcoin ofrece un medio monetario único con una propuesta de valor claramente establecida, puede situarse junto a otras innovaciones intensivas en energía que mejoran nuestra calidad de vida.

Sección 2

Emisiones de carbono de Bitcoin

1. ¿Cómo se comparan el consumo eléctrico y las emisiones de Bitcoin a nivel global?
2. ¿Por qué la minería de Bitcoin consume tanta electricidad?
3. ¿Cuál es el consumo eléctrico de la minería de Bitcoin?
4. ¿Qué emisiones de carbono han resultado del consumo histórico de electricidad?
5. ¿Cómo se compara Bitcoin con otras innovaciones y productos básicos?

Esta sección explora por qué la minería de Bitcoin requiere un consumo significativo de electricidad, además de examinar su consumo histórico de energía y las emisiones de carbono resultantes. Contextualiza el consumo eléctrico y las emisiones de carbono de la minería de Bitcoin, comparándolos con niveles globales y con los de otras innovaciones y productos básicos. Abordamos las siguientes preguntas:

- ¿Cómo se comparan el consumo eléctrico y las emisiones de carbono de Bitcoin a nivel global?
- ¿Por qué la minería de Bitcoin es intensiva en electricidad?
- ¿Cuál es el consumo eléctrico de la minería de Bitcoin?
- ¿Qué emisiones de carbono están asociadas a este consumo eléctrico?
- ¿Cómo se compara Bitcoin con otras innovaciones y productos básicos?

Resumen

- El consumo absoluto de electricidad y las emisiones de carbono de Bitcoin no son significativos a nivel global: representan el 0.04% del consumo energético primario mundial, el 0.2% de la generación eléctrica global y el 0.1% de las emisiones globales de carbono.
- La minería de Bitcoin es intensiva en electricidad por diseño, para garantizar la seguridad de la red.
- El consumo eléctrico de la minería de Bitcoin se estima mediante un enfoque ascendente (bottom up), basado en la tasa de hash de la red y la eficiencia de las máquinas. Estimamos que la minería de Bitcoin consumió 62 teravatios hora (TWh) de electricidad en 2020. Esta cifra aumentó a una tasa anualizada de 92 TWh en marzo de 2021, antes de caer a 49 TWh en julio, tras la represión china contra la minería.
- Las emisiones de carbono de Bitcoin dependen principalmente de la intensidad de carbono del mix eléctrico de los mineros y su consumo de energía. Estimamos que la minería de Bitcoin generó 33 millones de toneladas de CO_2 ($MtCO_2$) en 2020. Alineado con el consumo eléctrico, las emisiones alcanzaron un máximo anualizado de 49 $MtCO_2$ en marzo de 2021, pero cayeron a 27 $MtCO_2$ en julio.
- Las emisiones absolutas de carbono de Bitcoin son bajas en comparación con otras innovaciones intensivas en energía, como el transporte aéreo y el aire acondicionado, y con productos básicos extraídos a gran escala.

Traducido por
21 MILLONES
BTC.COM

2.1 ¿Cómo se comparan el consumo eléctrico y las emisiones de Bitcoin a nivel global?

El consumo absoluto de electricidad y las emisiones de carbono de Bitcoin no son significativos a nivel global: representan el 0.04 por ciento del consumo energético primario mundial, el 0.2 por ciento de la generación eléctrica global y el 0.1 por ciento de las emisiones globales de carbono.

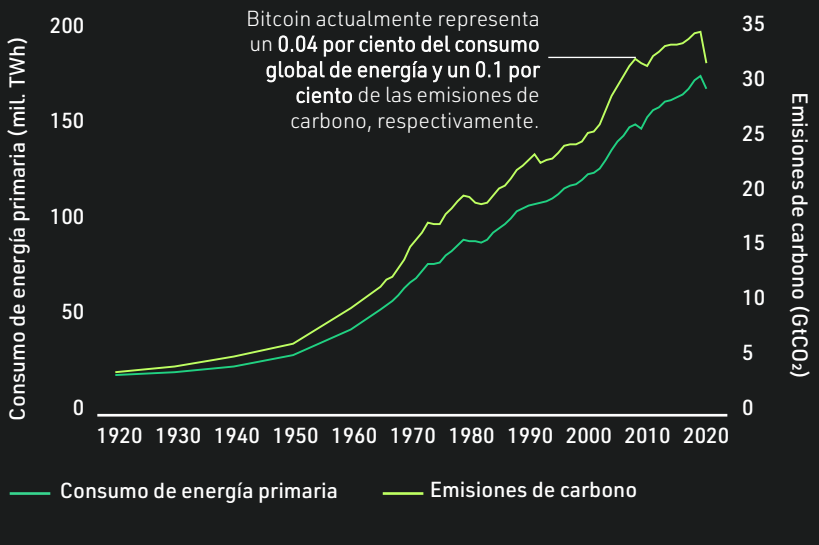
Consumo energético global, emisiones de carbono y generación eléctrica

La energía puede clasificarse en dos grandes tipos: no renovable y renovable. Las fuentes no renovables incluyen carbón, petróleo y gas natural (combustibles fósiles), así como materias primas para energía nuclear. Las renovables incluyen hidroeléctrica, solar, eólica y geotérmica.

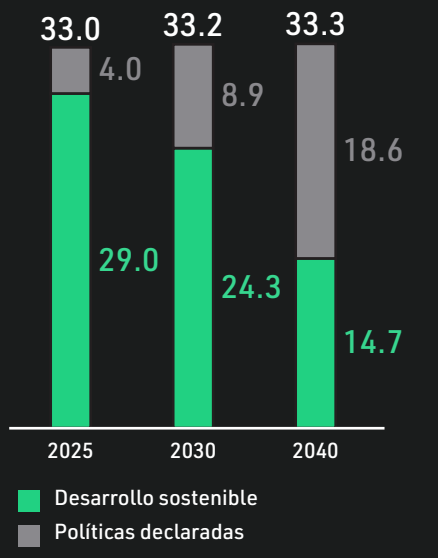
Desde la Revolución Industrial, el consumo energético primario global anual ha aumentado drásticamente: de aproximadamente 6,000 TWh en 1800 a más de 170,000 TWh en 2019. Este aumento ha ido acompañado de un incremento similar en las emisiones globales, que pasaron de 30 millones de toneladas de CO_2 ($MtCO_2$) anuales en 1800 a 36,000 millones (36 $GtCO_2$) en 2019. En el escenario de desarrollo sostenible de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), las emisiones globales de carbono disminuyen rápidamente, reduciéndose a 15,000 $MtCO_2$ en 2040 (ver Gráfico 4).

GRÁFICO 4:

Consumo [1] global histórico de energía primaria y emisiones de carbono
Thous. TWh, $GtCO_2$, 1920-2020



Proyecciones de emisiones de carbono: Escenario de sostenibilidad IEA 2020 $GtCO_2$



1. Los datos de 1800 a 2019 son datos históricos del BP Statistical Review of Global Energy. Las proyecciones a partir de 2020 están basadas en el Escenario de Desarrollo Sostenible (SDS) de la AIE.

Fuentes: BP Statistical Review of Global Energy, IE A World Energy Outlook 2020, Friedlingstein et al., 2020: The Global Carbon Budget 2020

Consumo de energía primaria se refiere a todo uso de combustible no convertido, incluyendo transporte, calefacción y generación de electricidad. En 2019, la generación eléctrica global fue de aproximadamente 27,000 TWh, utilizada para iluminación, calefacción, refrigeración, operación de electrodomésticos, computadoras, maquinaria y sistemas de transporte. En el Escenario de Desarrollo Sostenible de la AIE, la generación eléctrica global aumentará a alrededor de 39,000 TWh para 2040[46]

El consumo eléctrico y las emisiones de carbono de Bitcoin no son significativos a nivel global. Su consumo eléctrico estimado de 62 TWh en 2020 representó solo el 0.04% del consumo global de energía primaria (170,000 TWh) y el 0.2% de la generación eléctrica global (27,000 TWh) (ver Sección 2.3). Las emisiones de carbono de Bitcoin fueron de 33 $MtCO_2$ en 2020, es decir, el 0.1% del total global de 36,000 $MtCO_2$ (ver Sección 2.4).

En el futuro, bajo diversos escenarios de precio de Bitcoin, su consumo eléctrico y emisiones de carbono seguirán siendo una pequeña proporción de los totales globales. Incluso en nuestro escenario de precio más alto, donde el consumo eléctrico y las emisiones de Bitcoin alcanzan picos de 706 TWh y 234 $MtCO_2$, esto solo representaría: 0.4% del consumo global de energía primaria, 2.0% de la generación eléctrica global, 0.9% de las emisiones globales de carbono (ver Secciones 3.1 y 3.2).

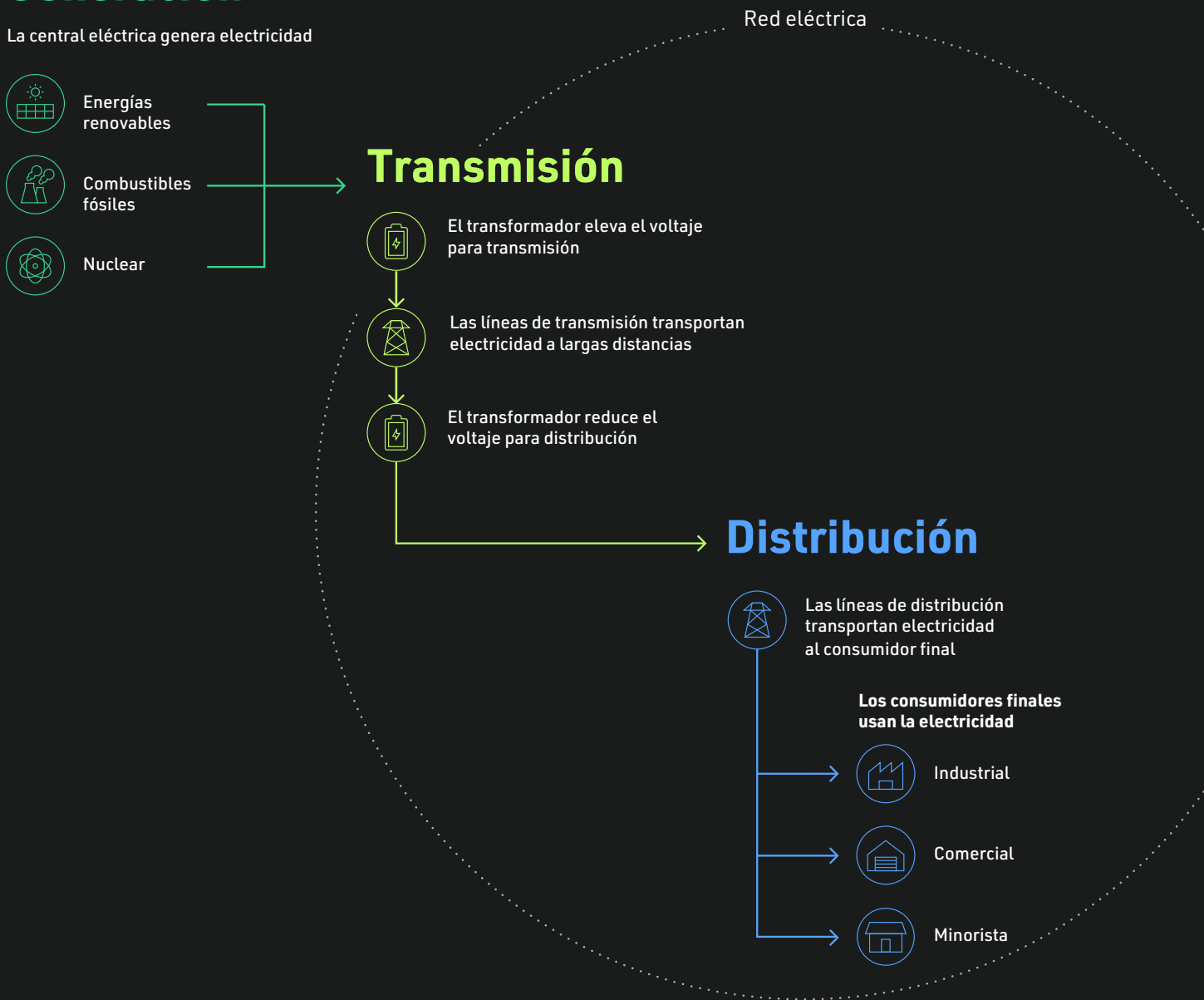
Red eléctrica y energías renovables

Tradicionalmente, la electricidad se ha generado en grandes centrales eléctricas, alimentadas por carbón, gas natural, reactores nucleares o agua. Esta electricidad se transporta inicialmente a través de la red de transmisión a voltajes muy altos, antes de distribuirse a los clientes mediante redes locales de distribución a voltajes más bajos. En conjunto, estas redes se denominan red eléctrica (ver Gráfico 5). Este proceso desperdicia energía de manera significativa: solo alrededor del 40 por ciento del contenido energético del carbón se convierte en electricidad; el resto se pierde como calor residual. El gas natural es más eficiente, pero como máximo el 60 por ciento de su contenido energético se convierte. Además, entre el 4 y el 10 por ciento de la electricidad generada se pierde como calor en las redes de transmisión y distribución[47]. En total, se desperdician alrededor de 50,000 TWh de energía cada año debido a ineficiencias[48]. El consumo eléctrico de Bitcoin equivale a solo el 0.1 por ciento de este desperdicio anual.

La proporción global de electricidad generada con renovables –que incluyen hidroeléctrica, solar, eólica, geotérmica, biomasa y energía marina– aumentó del 20 por ciento en 2010 al 27 por ciento en 2019. Este aumento fue impulsado por la disminución de costos (especialmente de energía solar y eólica) y una mayor demanda derivada de crecientes preocupaciones ambientales (ver Recuadro 1). Usar fuentes renovables en lugar de combustibles fósiles reduce significativamente las emisiones de carbono asociadas a la generación eléctrica.

Se espera que las renovables crezcan rápidamente en el futuro, a medida que sus costos sigan bajando y persistan las preocupaciones ambientales. Esta tendencia podría llevar a la descarbonización de las redes eléctricas. En el Escenario de Desarrollo Sostenible 2020 de la AIE, las renovables alcanzarán una participación del 52 por ciento en 2030 y del 72 por ciento en 2040, a medida que se eliminen gradualmente el carbón, el gas y el petróleo (ver Gráfico 6). Para lograr un mundo con "cero emisiones netas" (equilibrio entre el CO_2 emitido y el removido de la atmósfera), se requeriría un crecimiento aún mayor de las renovables.

GRÁFICO 5:
Generación, transmisión y distribución de electricidad

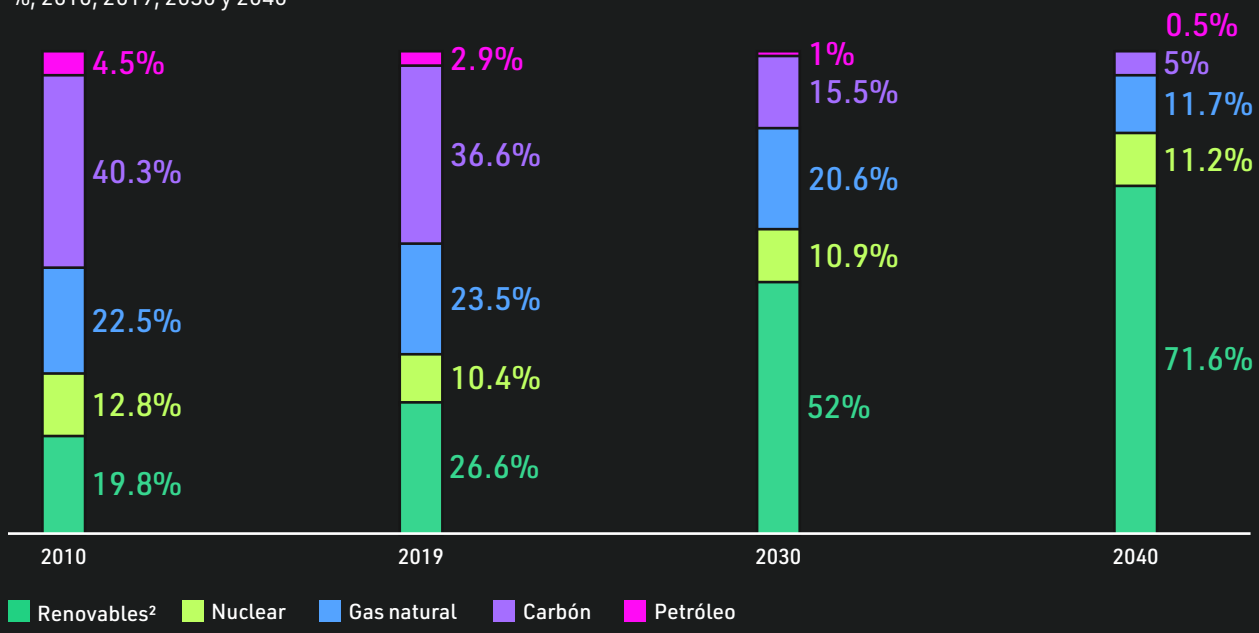


Fuente: Análisis de NYDIG

GRÁFICO 6:

Participación histórica y proyectada de la producción de electricidad por fuente

%, 2010, 2019, 2030 y 2040



1. Basado en el Escenario de Desarrollo Sostenible de la AIE 2020.
2. Las energías renovables incluyen hidroeléctrica, bioenergía, eólica, geotérmica, solar y generación de energía marina.

Fuente: IEA World Energy Outlook 2020

Sin embargo, la energía solar y eólica solo generan electricidad en condiciones climáticas adecuadas (cuando hay sol o viento), a diferencia de las centrales de combustibles fósiles, que pueden producir electricidad bajo demanda. Por ello, en ocasiones, se necesitan plantas de combustibles fósiles para cubrir la demanda que las renovables no pueden satisfacer. Otras veces, las renovables pueden generar exceso de electricidad. Como este exceso no puede almacenarse fácilmente, se debe restringir la producción (reducir deliberadamente la capacidad de generación) para equilibrar la oferta y la demanda en la red. En el futuro, estos problemas podrían resolverse con almacenamiento en baterías, pero hoy son costosas, especialmente si la electricidad debe almacenarse por más de unas horas. Actualmente, por tanto, los combustibles fósiles son necesarios junto a las renovables para garantizar que la oferta eléctrica satisfaga la demanda.

En cualquier momento, una red eléctrica suele transmitir electricidad generada por una mezcla de combustibles fósiles, energía nuclear y renovables. Por ello, las emisiones de carbono por unidad de electricidad producida varían según la combinación específica, que cambia con el tiempo. La intensidad de carbono de una red se mide típicamente en gramos de CO_2 por kWh (gCO_2/kWh). Esta intensidad puede alcanzar hasta 1,000 gCO_2/kWh para el carbón o 400 gCO_2/kWh para el gas, pero es 0 gCO_2/kWh para renovables y energía nuclear (excluyendo emisiones asociadas a su fabricación y distribución). En muchos países, el carbón sigue dominando: en 2019, China produjo el 65% de su electricidad con carbón. En otros, el gas es la fuente principal: Rusia generó el 49% de su electricidad con gas en 2019, y EE.UU. el 38%. En Europa, las renovables son la mayor fuente, con un 37% en 2019[49].

No es técnicamente posible que un cliente compre solo electricidad renovable de la red, porque la electricidad suministrada refleja la mezcla de fuentes que la alimentan. Además, los mercados eléctricos (donde consumidores y generadores compran y venden electricidad) están cada vez más interconectados, lo que dificulta rastrear el suministro eléctrico hasta una región específica. Como resultado, la intensidad de carbono refleja la combinación energética de un continente o región, no de un país en particular. Por ejemplo, la mayoría de los mercados europeos ahora operan de manera interconectada, y los países suelen importar o exportar electricidad en cualquier momento.

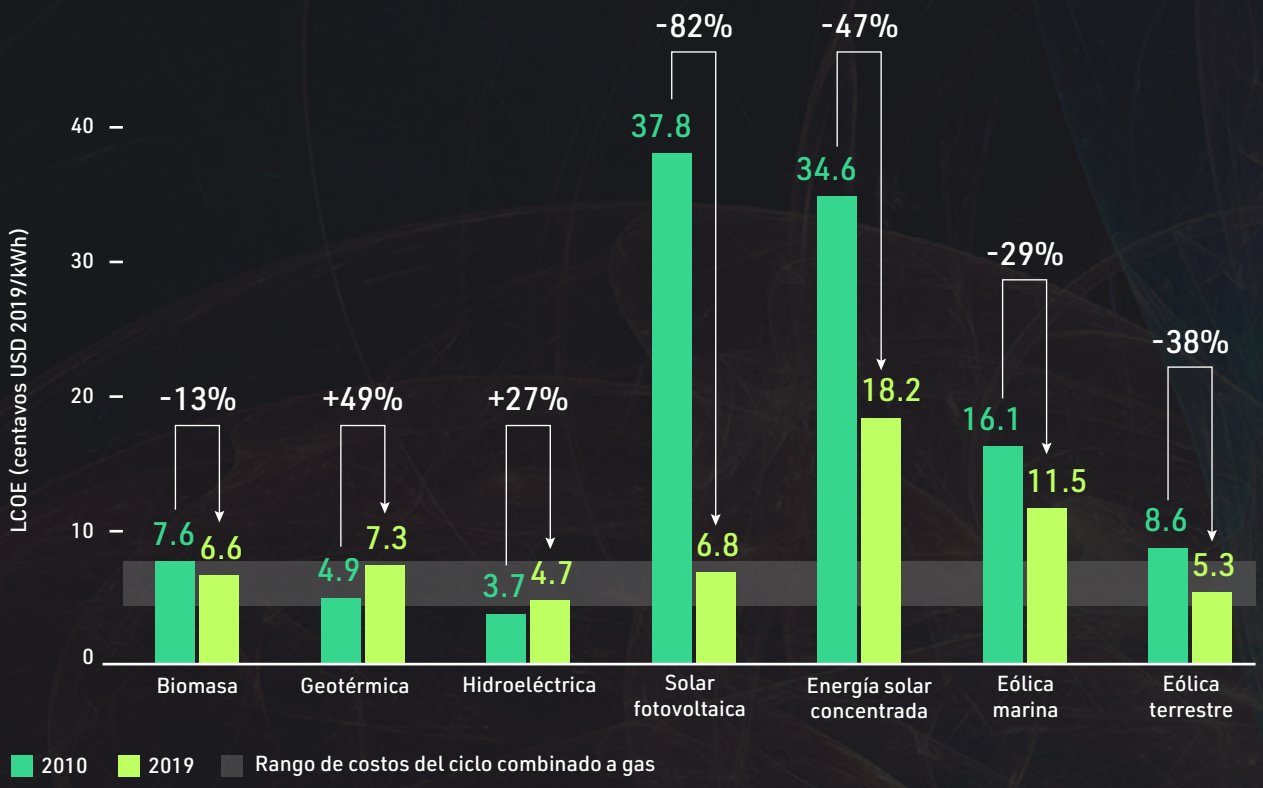
Para fomentar la adopción de renovables, muchos mercados eléctricos han implementado programas de certificación de energía renovable. Bajo estos programas, los generadores renovables obtienen certificados por cada megavatio hora (MWh) de electricidad generada con fuentes renovables, demostrando que han suministrado un volumen específico de energía limpia a la red. Estos certificados pueden venderse a consumidores energéticos, quienes los usan para comprobar que han comprado efectivamente electricidad de origen renovable. Los certificados pueden adquirirse junto con la energía física generada por las renovables o por separado. Gracias a estos programas, un alto consumo eléctrico no necesariamente se traduce en altas emisiones de carbono.

Recuadro 1: Costos de las energías renovables

Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), los costos de las renovables han disminuido drásticamente debido a "mejoras tecnológicas, economías de escala, cadenas de suministro más competitivas y mayor experiencia de los desarrolladores". La caída ha sido más significativa en la electricidad generada por energía solar y eólica. Entre 2010 y 2019, el costo nivelado de electricidad (LCOE) promedio global —una medida del costo total de generar electricidad durante la vida útil de un proyecto— se redujo un 82% para la fotovoltaica solar a escala de servicios públicos (PV), un 38% para la eólica terrestre y un 29% para la eólica marina. Los precios en subastas han mostrado caídas continuas en estos costos durante 2020 y 2021, aunque el ritmo de disminución se desacelera a medida que las tecnologías maduran.

Como resultado, las tecnologías de generación renovable se han vuelto competitivas en costos frente a la generación convencional con combustibles fósiles y se han convertido en una opción de bajo costo para nueva capacidad instalada en la mayoría de los países, impulsando su crecimiento en la última década.

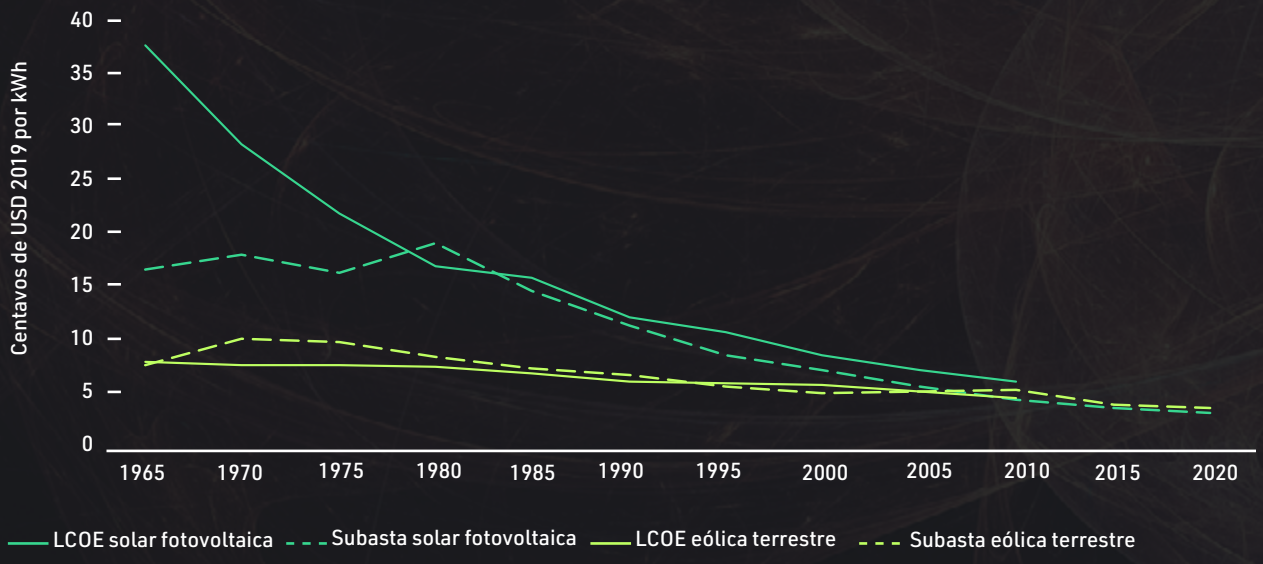
GRÁFICO 7:
Promedio ponderado global del LCOE de la generación de electricidad renovable a gran escala 2019 USD centavos/kWh, 2010 y 2019



1. Rango de LCOE para la generación de energía con turbinas de gas de ciclo combinado, que es la tecnología típica utilizada en las estaciones generadoras a gas.

Fuentes: IRENA Renewable Copyright, Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis

GRÁFICO 8:
Costo histórico de la energía solar fotovoltaica a escala de servicios públicos y eólica terrestre
Centavos de USD 2019 por kWh, 2010 – 2021



Fuente: Base de datos de costos renovables de IRENA, Copyright @IRENA

2.2 ¿Por qué la minería de Bitcoin consume mucha electricidad?

La minería de Bitcoin consume mucha electricidad por diseño, para brindar seguridad a la red.

El ecosistema de Bitcoin incluye varias entidades: Nodos de minería: crean nuevos bloques. Nodos no mineros: validan todo el historial de la cadena de bloques (blockchain) y verifican en tiempo real la validez de las transacciones. Exchanges y custodios tercerizados: gestionan transacciones y almacenan bitcoin para usuarios que prefieren no tener el activo directamente. Este informe se enfoca exclusivamente en el consumo eléctrico de la minería de Bitcoin, ya que el consumo de otras partes del ecosistema es insignificante.

La minería de Bitcoin se ha vuelto más intensiva en electricidad a medida que el valor de Bitcoin aumenta. Los mineros compiten para recibir recompensas en bitcoin al resolver problemas matemáticos aleatorios definidos por el protocolo de Bitcoin. Así, a mayor valor de Bitcoin, mayor competencia. Los mineros incrementan su capacidad computacional, lo que requiere más electricidad. Este gasto energético para resolver los problemas matemáticos es esencial para el mecanismo de prueba de trabajo (proof of work) (ver Apéndice 1).La prueba de trabajo depende de trabajo computacional, lo que asocia un costo real a la creación de bloques. Esto protege la red al hacer costoso –en términos de electricidad y hardware– que un actor malicioso controle la red y añada bloques fraudulentos a la cadena..

2.3 ¿Cuál es el consumo eléctrico de la minería de Bitcoin?

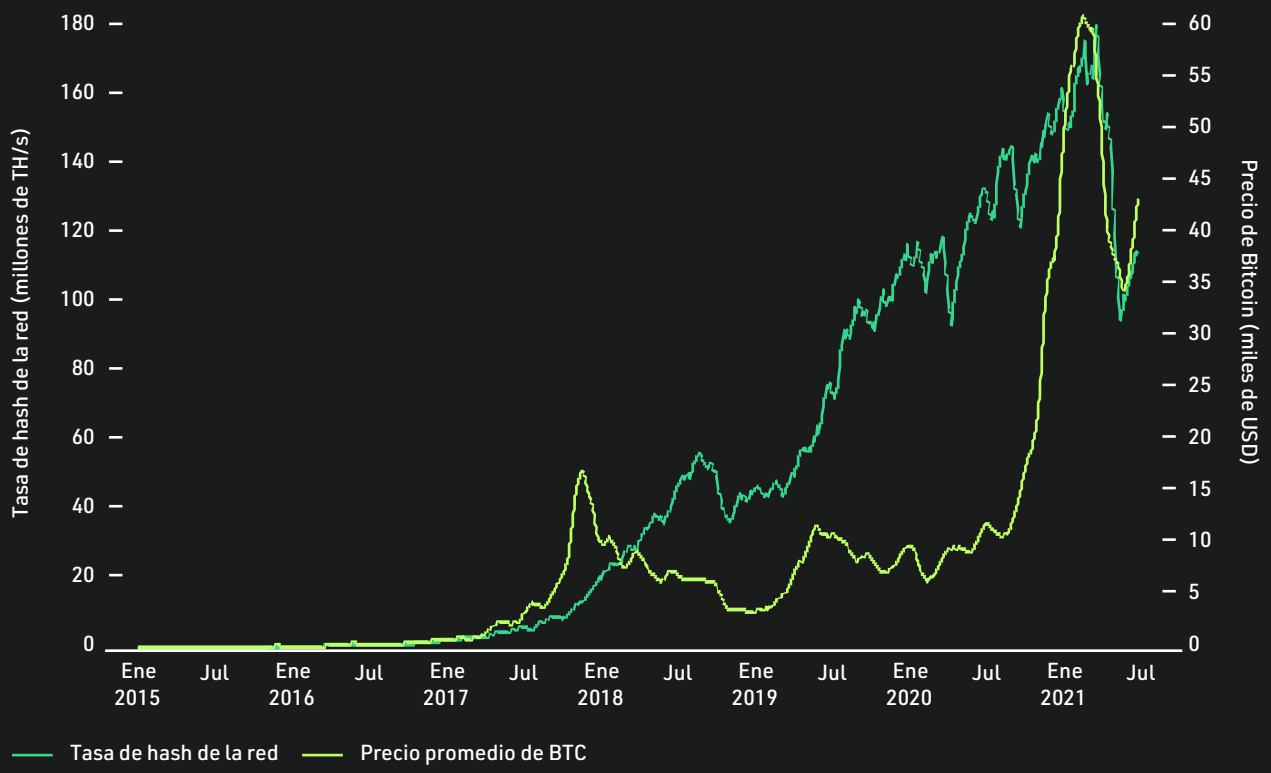
El consumo eléctrico de la minería de Bitcoin se estima mediante un enfoque ascendente (bottom up), basado en la tasa de hash de la red y la eficiencia de las máquinas. Estimamos que la minería de Bitcoin consumió 62 teravatios hora (TWh) de electricidad en 2020, equivalente al 0.04% del consumo energético primario global y al 0.2% de la generación eléctrica mundial. Esta cifra aumentó a una tasa anualizada de 92 TWh en marzo de 2021, antes de caer a 49 TWh en julio tras la represión contra la minería.

Metodología

Nuestro cálculo del consumo eléctrico histórico de los mineros de Bitcoin depende de la tasa de hash de la red y la eficiencia de las máquinas. Estos factores permiten derivar la electricidad promedio requerida por cada hash.

La tasa de hash de la red es pública y se mide en terahashes por segundo (TH/s), o 10^12 cálculos por segundo (ver Gráfico 9). Ha aumentado rápidamente desde 2018 con el desarrollo de máquinas más veloces y el creciente atractivo de la minería ante el alza del precio de Bitcoin. La reciente represión contra la minería en China provocó la caída abrupta de la tasa de hash (ver Recuadro 3).

GRÁFICO 9:
Tasa de hash de la red Bitcoin y precio
Millones de TH/s, miles de USD, ene. 2015 – ago. 2021, media móvil de 20 días



Fuentes: Blockchain.com, Coindesk

La cantidad promedio de electricidad requerida por hash se determina por la eficiencia energética promedio de las máquinas de minería en la red, ponderada por su participación en la tasa de hash. Se mide en julios por terahash (J/TH). Hemos asumido que las 93 clases de máquinas mencionadas en un estudio del Centro de Finanzas Alternativas de Cambridge son representativas del mercado de máquinas de minería desde 2015 hasta 2021[50]. Como la eficiencia energética de cada clase de máquina es conocida, la única variable desconocida es la distribución de la tasa de hash de la red entre estas clases de máquinas a lo largo del tiempo. Esto es necesario para determinar una eficiencia energética promedio ponderada de todas las máquinas en un período dado.

Para determinar la distribución temporal de la tasa de hash por clase de máquina, modelamos una vida útil típica para cada clase. Esto se basó en factores como la fecha de lanzamiento, la fecha de retiro calculada, la eficiencia y la tasa de hash. El parámetro de vida útil de cada clase se ajustó aún más, asumiendo que las máquinas de una clase específica nunca se usarán en días en que el costo eléctrico por hash supere el ingreso promedio por hash; es decir, cuando la máquina no sea rentable.

También se utilizaron referencias externas para calibrar el parámetro de vida útil, como cifras de ventas de fabricantes de hardware listados y firmas de datos dentro de bloques minados[51]. Para cualquier día específico, pudimos comparar el progreso de cada clase de máquina a lo largo de su vida útil y así generar una distribución de la tasa de hash. Esto produjo una eficiencia energética promedio ponderada de las máquinas de minería en la red. Al combinar esto con la tasa de hash conocida, pudimos estimar la electricidad consumida por las máquinas de minería de Bitcoin en cualquier día.

Las operaciones de minería de Bitcoin, al igual que los centros de datos, generalmente usan más electricidad de la necesaria para simplemente operar sus máquinas, principalmente por la necesidad de enfriamiento y otros equipos informáticos. Las empresas mineras entrevistadas indicaron que el uso de electricidad no asociado directamente con las máquinas de minería representa aproximadamente 7.5% de la energía requerida para operarlas. Esto da una eficacia en el uso de energía (PUE, por sus siglas en inglés) de 1.075, que es la relación entre la electricidad total suministrada y la requerida para operar las máquinas. Después de multiplicar nuestras estimaciones de consumo eléctrico por el PUE de 1.075, calculamos el consumo eléctrico diario de las operaciones globales de minería de Bitcoin para cualquier día específico.

Resultados

La eficiencia energética promedio ponderada de las máquinas de minería en la red mejoró significativamente de 2016 a 2020 en línea con el desarrollo y lanzamiento de máquinas más eficientes (ver Cuadro 2). A pesar de la tendencia general de aumento de los precios de Bitcoin de 2016 a principios de 2021, el rápido aumento de la tasa de hash, combinado con la continua reducción de la subvención por bloque, llevó a una disminución de los ingresos de los mineros por terahash durante este período. Como resultado, la rentabilidad de las máquinas más antiguas y menos eficientes se ha erosionado, y han sido reemplazadas por máquinas más nuevas y más eficientes. Esto aumentó sustancialmente la eficiencia energética promedio del hardware de minería de 2016 a 2020 (ver Gráfico 10).

Las empresas de minería con las que entrevistamos sugirieron que una clase típica de máquina en 2021 tiene una vida útil de aproximadamente tres o cuatro años, después de los cuales se reemplaza por modelos más potentes y más eficientes. El aumento del precio de Bitcoin y la consecuente demanda de máquinas durante la última década han llevado a los fabricantes de hardware a invertir en la producción de microchips más eficientes para estas máquinas. Históricamente, y en línea con la Ley de Moore, la eficiencia de los chips se ha duplicado aproximadamente cada dos años. Sin embargo, esto ha disminuido en los últimos años y parece que continuará desacelerándose, con una duplicación cada tres o cuatro años, lo que probablemente aumentará la vida útil de cada clase de máquina.

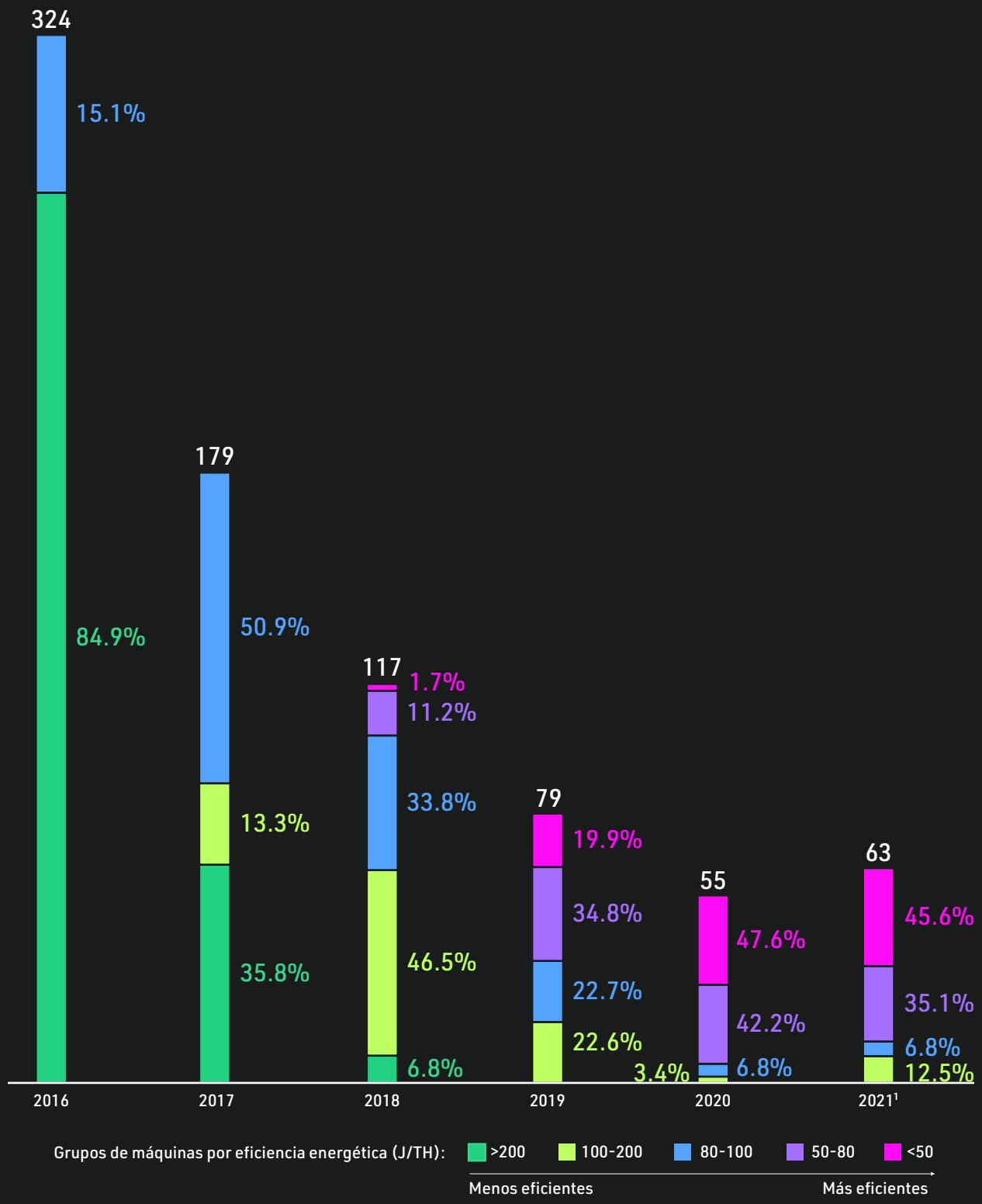
No obstante, algunas máquinas más antiguas podrían volver a encenderse si los aumentos en el precio de Bitcoin las hacen rentables. Nuestro modelo, junto con las firmas de datos de los bloques minados, ha verificado esto en el caso del Antminer S9, una de las máquinas de minería más populares en 2018. Su participación en la tasa de hash comenzó a disminuir en 2020 cuando se acercaba al final de su vida útil, pero luego aumentó a principios de 2021 cuando el precio de Bitcoin subió.

El consumo de electricidad de la minería de Bitcoin se mantuvo relativamente bajo hasta finales de 2017, cuando el primer aumento en el precio de Bitcoin atrajo a una comunidad más amplia de mineros. Después de eso, más mineros compitieron para resolver los problemas matemáticos, y la tasa de hash y el consumo de electricidad crecieron rápidamente, alcanzando 62 teravatios hora (TWh) en 2020. Eso equivalió al 0.04 por ciento del consumo mundial de energía primaria y al 0.2 por ciento de la generación mundial de electricidad.

GRÁFICO 10:

Eficiencia energética promedio del hardware de minería y participación de la tasa de hash por eficiencia energética del grupo de máquinas

J/TH, %, 2016 – 2021

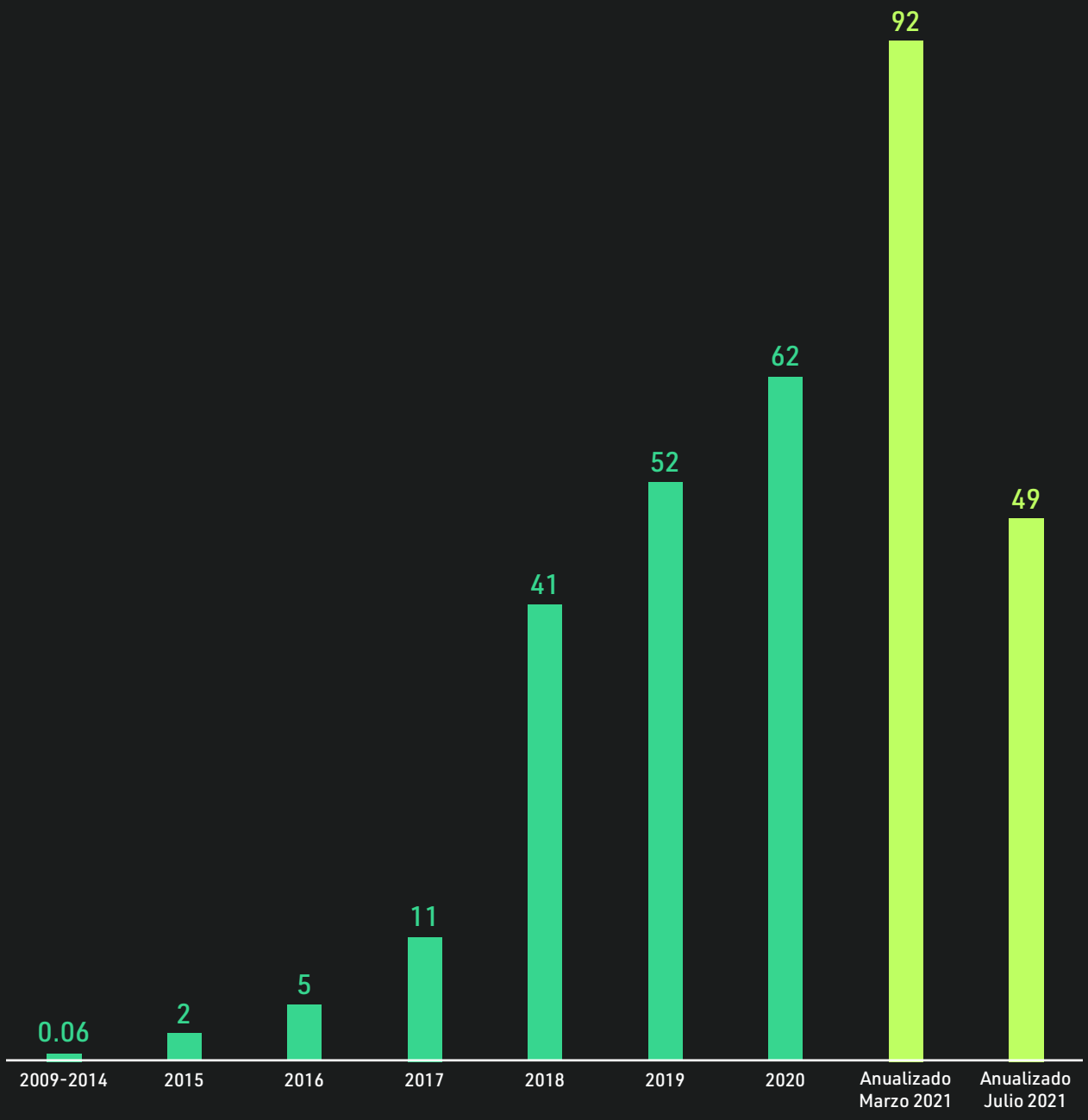


1. Anualizado a partir del primer semestre de 2021.

Fuentes: Cambridge Centre for Alternative Finance, Análisis de NYDIG

El consumo eléctrico de Bitcoin en 2021 ha sido altamente volátil. El aumento del precio a principios de 2021 elevó el consumo anualizado a un máximo de 92 TWh en marzo de 2021. Sin embargo, la represión china contra la minería en mayo y junio de 2021 obligó a muchos mineros a abandonar el sistema, reduciendo la tasa de hash global de la red (ver Recuadro 3). Como resultado, el consumo eléctrico anualizado de julio cayó a 49 TWh (ver Gráfico 11)

GRÁFICO 11:
Consumo eléctrico anual de la minería de Bitcoin
TWh, 2009 – 2021



Fuente: Análisis de NYDIG

Recuadro 2: Evolución de la minería de Bitcoin

La minería de Bitcoin ha evolucionado durante la última década de ser una actividad a pequeña escala posible en computadoras personales a "granjas de minería" a gran escala. Similares en apariencia a un centro de datos, una granja de minería consiste en estanterías de equipos informáticos especializados y de bajo consumo energético, que realizan cálculos para resolver los complejos problemas matemáticos.

A lo largo de la última década, estas máquinas han experimentado un rápido desarrollo tecnológico. Inicialmente, era posible para una unidad de procesamiento central (CPU) promedio o una tarjeta gráfica (GPU) minar Bitcoin debido a la baja cantidad de capacidad computacional en la red: había menos máquinas de minería que hoy en día, el equipo era relativamente poco avanzado y los problemas matemáticos planteados eran proporcionalmente menos complejos. En 2013, los mineros a gran escala comenzaron a usar circuitos integrados específicos para aplicaciones (ASIC) diseñados para la minería de Bitcoin. Estos chips ayudan a minar Bitcoin a una velocidad mayor y utilizando mucho menos electricidad que una unidad tradicional de CPU de PC. Desde su lanzamiento, el rendimiento de los chips ASIC ha seguido mejorando rápidamente, aumentando tanto su capacidad como su eficiencia energética.

Para maximizar sus ingresos, los mineros buscan operar sus máquinas las 24 horas del día, los 7 días de la semana. Esto generalmente requiere conexión a la red eléctrica, ya que proporciona un suministro constante de electricidad, mientras que las fuentes renovables independientes solo producen electricidad de manera intermitente. Para maximizar sus ganancias operativas, los mineros buscan operar las máquinas más eficientes posibles, ya que esto reduce su costo energético por cálculo.

Recuadro 3: Represión china a la minería

El Centro de Finanzas Alternativas de Cambridge estimó que en 2020, el 65 por ciento de la minería de Bitcoin se realizaba en China. En abril de 2021, reportó una proporción significativamente menor, del 45 por ciento, ya que Estados Unidos se convirtió en el principal comprador del hardware de minería más potente. Sin embargo, en mayo y junio de 2021, varios organismos respaldados por el gobierno chino, tanto a nivel provincial como nacional, anunciaron una serie de medidas para restringir las actividades relacionadas con Bitcoin.

A nivel nacional, tres grupos industriales chinos que supervisan el sector financiero advirtieron a sus miembros en todo el país que se alejaran de cualquier actividad de financiamiento, intercambio o comercio relacionada con criptomonedas.

A nivel provincial, varios estados chinos también anunciaron restricciones a las actividades relacionadas con las criptomonedas. Algunas de estas fueron anuncios preventivos: Pekín dijo que "restringiría la minería y el comercio de Bitcoin," y Mongolia Interior emitió una "guía preliminar" explicando cómo las autoridades locales podrían intensificar la represión a la minería de Bitcoin. Otros estados fueron más estrictos en la regulación de las actividades criptográficas: Sichuan ordenó la suspensión de las 26 mayores granjas de minería, exigiéndoles que abandonaran el país antes de septiembre de 2021, y Qinghai prohibió a los funcionarios locales la creación o aprobación de proyectos de minería de criptomonedas.

Estos anuncios precipitaron un éxodo de mineros de China. Como resultado, la tasa global de hash disminuyó más de la mitad, pasando de 190 exahash por segundo el 9 de mayo de 2021 a 90 exahash por segundo el 3 de julio de 2021. Esta disminución del 53 por ciento respalda la estimación inicial del Centro de Finanzas Alternativas de Cambridge, que indicaba que más de la mitad de la tasa de hash se encontraba previamente en China.

Aunque no se ha anunciado públicamente una justificación para la represión china, los gobiernos de todo el mundo están viendo cada vez más a Bitcoin como una amenaza para la soberanía monetaria estatal. Por ejemplo, Nigeria y Qatar también han tomado medidas para limitar el comercio de Bitcoin y las transacciones de Bitcoin. En el futuro, un entorno político favorable a Bitcoin será crucial para mantener operaciones de minería estables.

2.4 ¿Qué emisiones de carbono han resultado del consumo histórico de electricidad?

Las emisiones de carbono de Bitcoin dependen principalmente de la intensidad de carbono del mix eléctrico de los mineros y de su consumo de energía. Estimamos que la minería de Bitcoin generó 33 millones de toneladas de CO_2 ($MtCO_2$) en 2020, equivalente al 0.1 por ciento del total global. Alineado con el consumo eléctrico, las emisiones anualizadas alcanzaron un máximo de 49 $MtCO_2$ en marzo de 2021, pero cayeron a 27 $MtCO_2$ en julio de 2021.

Metodología

Estimar las emisiones de carbono de la minería de Bitcoin requiere conocer su ubicación y la intensidad de carbono del mercado eléctrico local. En 2020 y principios de 2021, la mayor parte de la minería de Bitcoin se realizaba en China; la represión gubernamental en mayo y junio de 2021 redujo significativamente la participación de China en la tasa de hash (ver Box 3). Las máquinas de minería más nuevas y económicamente viables en China probablemente serán exportadas a nuevas ubicaciones, mientras que las máquinas más antiguas y menos rentables probablemente serán retiradas. Esta sección evalúa las emisiones históricas de Bitcoin, tanto antes como inmediatamente después de la represión china. Posteriormente, la Sección 3.2 discute dónde se espera que se ubiquen los mineros de Bitcoin en el futuro.

En la mayoría de los casos, hemos supuesto que los mineros de Bitcoin operan sus equipos de minería utilizando electricidad de la red local. Aunque algunas empresas mineras han anunciado futuras asociaciones directas con estaciones eléctricas, encontramos evidencia limitada de mineros de Bitcoin operando sus operaciones con electricidad completamente fuera de la red, es decir, obteniendo toda su electricidad directamente de una estación eléctrica no conectada a la red. Por lo tanto, nuestra metodología se basa en las suposiciones de que todos los mineros de Bitcoin usan electricidad de sus redes locales, y que la intensidad de carbono de su electricidad refleja la mezcla de estas redes. Nuestra metodología no tiene en cuenta las medidas específicas de reducción de emisiones de los mineros, como las compensaciones de carbono y la adquisición directa de electricidad renovable (ver Sección 3.3). Por lo tanto, nuestra evaluación de carbono puede interpretarse como una estimación base para la industria antes de la acción.

Nuestro conjunto de datos principal, del Centro de Finanzas Alternativas de Cambridge, segmentó la tasa de hash a nivel nacional, excepto en China, donde los datos se recopilan a nivel provincial. Esto nos permitió capturar la migración anual de mineros hacia áreas ricas en energía hidroeléctrica durante la temporada de lluvias, una práctica común antes de la represión del gobierno (ver Box 4).

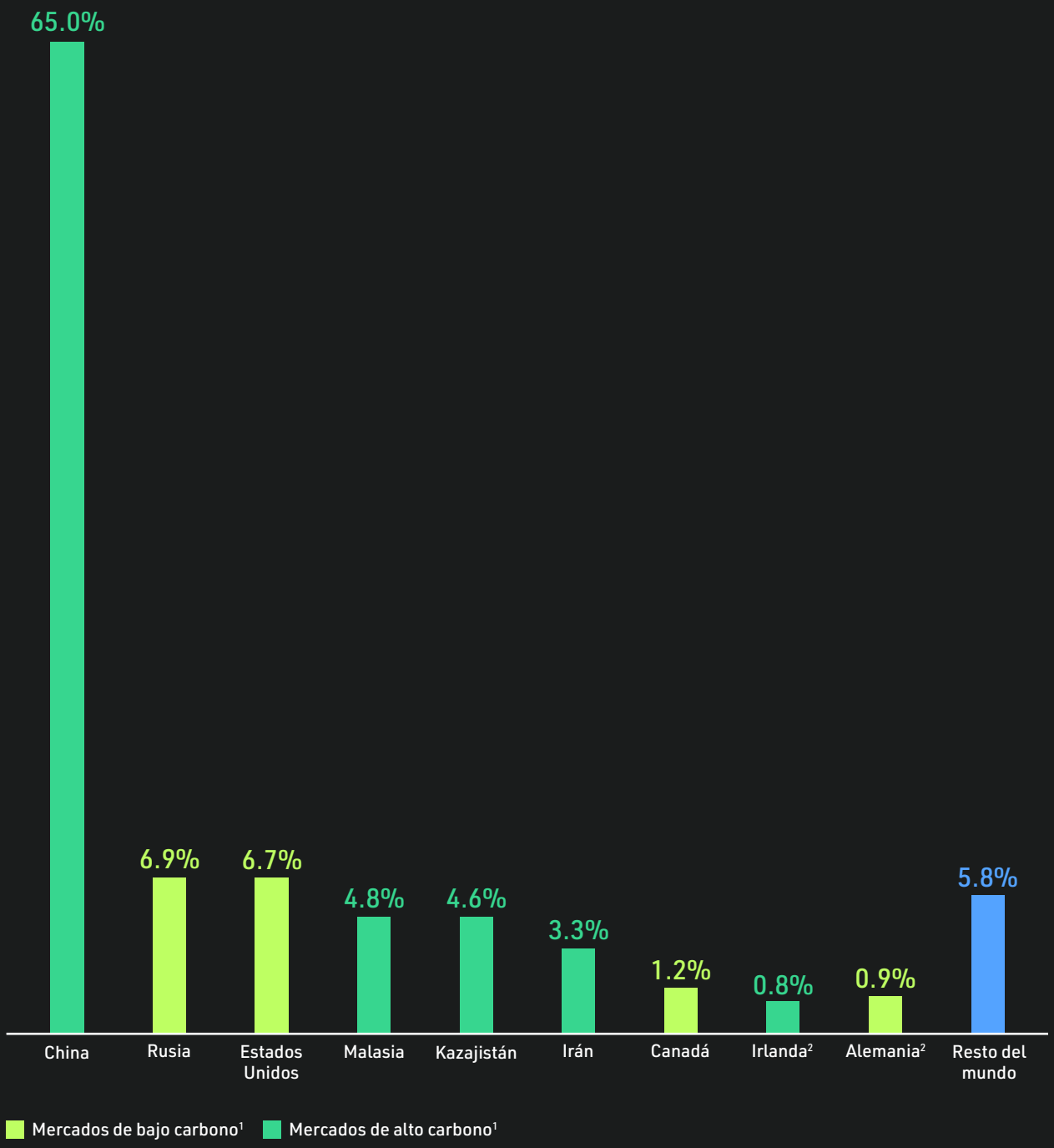
Según estos datos, hasta finales de 2020, hasta el 65 por ciento de la minería de Bitcoin ocurría en China, una cifra que ha sido corroborada por las consecuencias de la represión gubernamental (ver Box 3). Dentro de China, la mayor parte de la minería ocurría en Xinjiang y Sichuan. Los otros principales países para la minería de Bitcoin fueron Rusia (6.9 por ciento), Estados Unidos (6.7 por ciento), Malasia (4.8 por ciento), Kazajistán (4.6 por ciento) e Irán (3.3 por ciento) (ver Gráficos 12 y 13).

Para estimar la distribución geográfica de la tasa de hash en julio de 2021, inmediatamente después de la represión china, excluimos a China y utilizamos la misma distribución entre otros países publicada por el Centro de Finanzas Alternativas de Cambridge para el mes de abril de 2021. En abril de 2021, ya había habido una disminución significativa de la tasa de hash en China y un aumento proporcional en los Estados Unidos, que dominaron las compras de hardware de minería durante la primera mitad de 2021. Esto resultó en la siguiente distribución de la tasa de hash para las principales ubicaciones: Estados Unidos (31 por ciento), Rusia (13 por ciento), Kazajistán (15 por ciento), Malasia (6 por ciento) e Irán (9 por ciento).

GRÁFICO 12:

Distribución geográfica de la tasa de hash global de Bitcoin e intensidad de carbono de las regiones

%, 2020



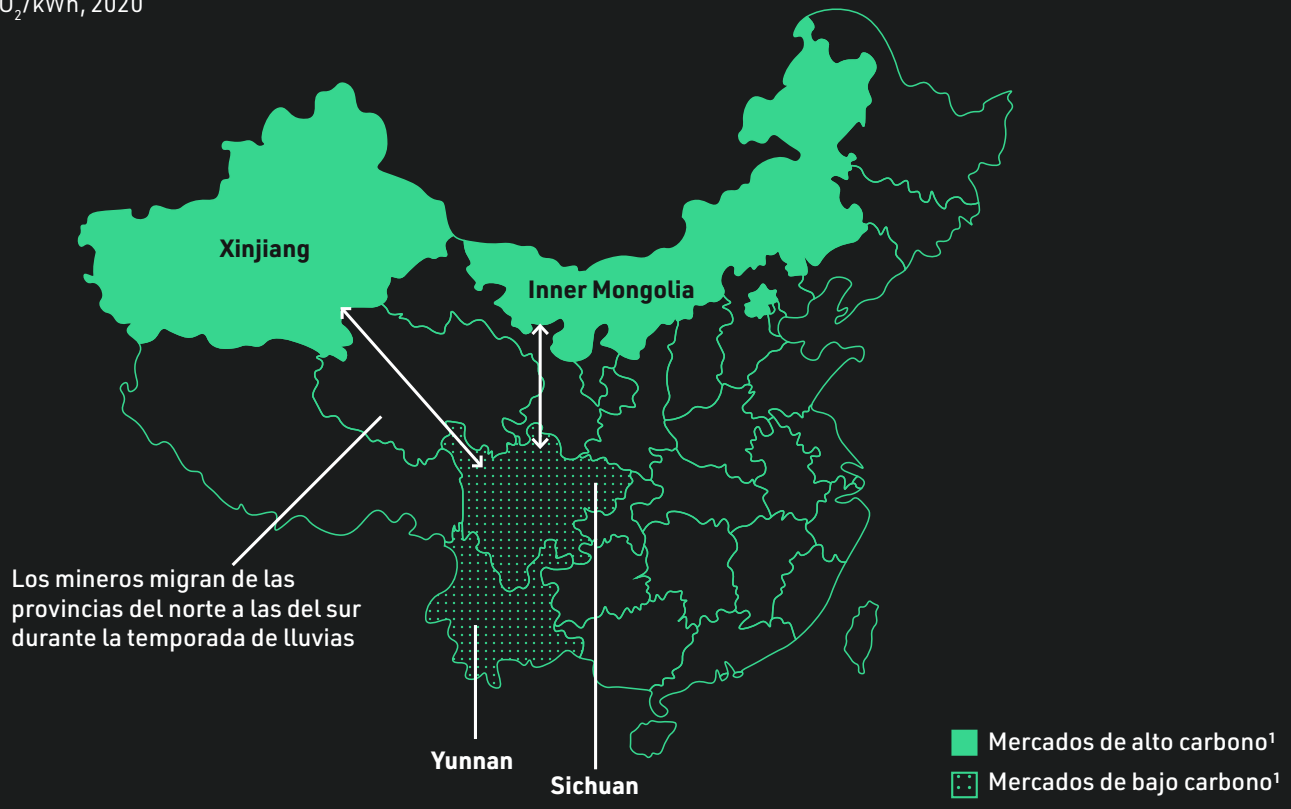
1. Los mercados de alto carbono se definen como aquellos con una intensidad de carbono promedio en la red superior a 500 gCO2/kWh, y los mercados de bajo carbono se definen como aquellos con una intensidad de carbono promedio en la red inferior a 500 gCO2/kWh.
2. No hay evidencia de operaciones de minería a gran escala que se encuentren físicamente en Irlanda y Alemania. La participación de la tasa de hash mostrada aquí puede atribuirse a mineros que redirigen su dirección IP a través de servidores en Irlanda y Alemania.

Fuentes: Cambridge Centre for Alternative Finance, Enplus Pellets, análisis de NYDIG

GRÁFICO 13A:

Intensidad promedio de carbono de las provincias chinas y patrón de migración

gCO_2/kWh, 2020



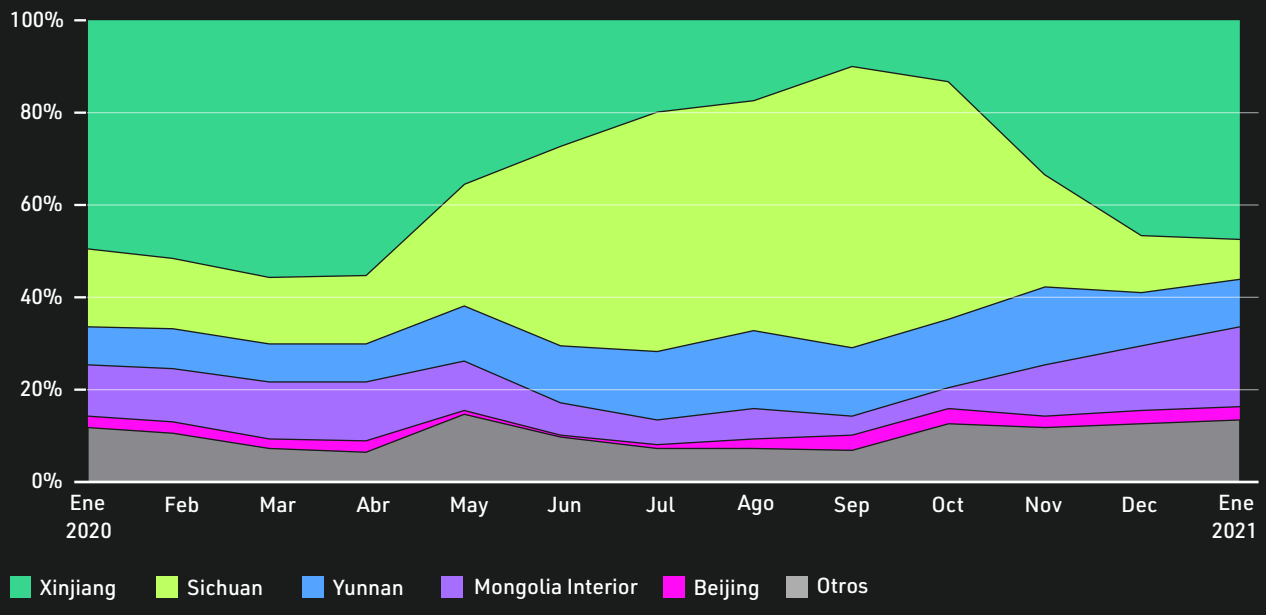
1. Los mercados de alto carbono se definen como aquellos con una intensidad de carbono promedio en la red superior a 500 gCO2/kWh, y los mercados de bajo carbono se definen como aquellos con una intensidad de carbono promedio en la red inferior a 500 gCO2/kWh.

Fuentes: Cambridge Centre for Alternative Finance, Enplus Pellets, análisis de NYDIG

GRÁFICO 13B:

Estacionalidad de la distribución de la tasa de hash de China

%, Enero de2020 – Enero de 2021



Fuente: Centro de Finanzas Alternativas de Cambridge

Recuadro 4: Migración estacional de los mineros en China antes de la represión gubernamental

Los mineros consideran varios factores al elegir ubicaciones, como precio de la electricidad, entorno regulatorio, disponibilidad de infraestructura, acceso a máquinas de minería y costos de capital. Antes de la represión gubernamental de mayo y junio de 2021, China era una ubicación minera común debido a su electricidad barata de origen hidroeléctrico y carbón, entorno regulatorio favorable, acceso económico a máquinas de minería (muchas fabricadas en China) y bajos costos operativos.

China tiene energía hidroeléctrica barata debido a la sobreconstrucción de represas en sus provincias sureñas, Sichuan y Yunnan. Durante la temporada de lluvias, estas generan más electricidad de la que se puede consumir localmente o exportar por limitaciones en las líneas de transmisión. Esto crea un excedente de energía hidroeléctrica económica. Los mineros de Bitcoin aprovecharon esto trasladándose a estas provincias durante la temporada de lluvias.

Sin embargo, la minería de Bitcoin requiere operar todo el año. En la temporada seca, los mineros se movían a provincias con electricidad relativamente barata, generalmente ricas en carbón, como Xinjiang. Esta migración estacional se evidencia en datos de 2020 del Centro de Finanzas Alternativas de Cambridge, que estima que Sichuan albergó hasta el 41% de la tasa de hash global en septiembre (temporada de lluvias), pero solo el 7% en diciembre (temporada seca).

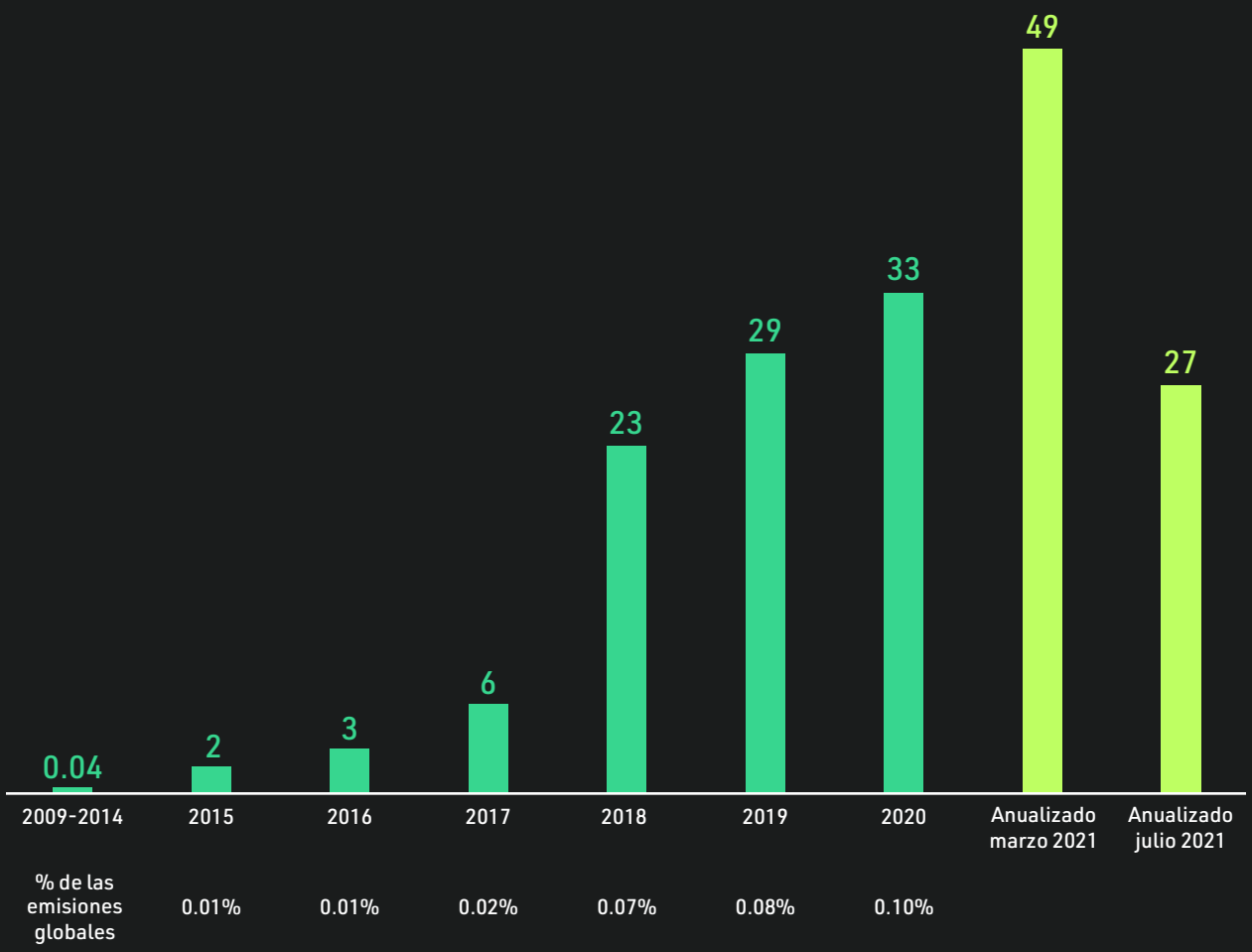
No existe un mercado alternativo para la energía hidroeléctrica consumida por los mineros. Si no se usa, las represas solo pueden liberar el agua. Por ello, la intensidad de carbono de la minería en estas provincias es efectivamente cero. No obstante, la migración estacional a provincias dependientes del carbón históricamente neutralizó los beneficios de la energía limpia. La intensidad de carbono promedio de la minería en China, considerando esta migración, se estima en 508 gCO_2/kWh, solo un 12% menor que el promedio de la red china (581 gCO_2/kWh).

Resultados

Estimamos que el consumo eléctrico de Bitcoin de 62 TWh en 2020 generó 33 millones de toneladas de CO_2 ($MtCO_2$), equivalente al 0.1 por ciento del total global. Durante la existencia de Bitcoin (2009-2020), calculamos que la minería ha causado 96 $MtCO_2$ en emisiones acumuladas. Las emisiones entre 2009 y 2014 fueron notablemente bajas, debido al entorno de precios reducidos y una tasa de hash correspondientemente baja, lo que requería menos cálculos y energía para añadir bloques a la cadena.

Al igual que el consumo eléctrico, las emisiones de carbono de Bitcoin en 2021 han sido altamente volátiles. Alcanzaron un pico anualizado de 49 $MtCO_2$ en marzo de 2021, pero cayeron a 27 $MtCO_2$ en julio tras la represión china contra la minería. Esta reducción se debe principalmente a la disminución de la tasa de hash global. Si la tasa de hash se mantiene en estos niveles durante el resto de 2021, las emisiones anuales de la minería de Bitcoin en 2021 serán inferiores a las de 2020 (ver Gráfico 14).

GRÁFICO 14:
Emisiones de carbono de la electricidad consumida en la minería de Bitcoin
$MtCO_2$, 2009 – 2021



Fuente: Análisis de NYDIG

Al modelar el consumo eléctrico y las emisiones de carbono de Bitcoin en 2020, realizamos varios supuestos base. Estos se enumeran en la Tabla 2, junto con un límite inferior y un límite superior para cada supuesto, y su implicación en los resultados. Nuestro modelo es más sensible a la eficiencia energética promedio de las máquinas de minería, que derivamos de la distribución de la tasa de hash entre las máquinas. Sin embargo, esto tiene como máximo un impacto de entre -23% y +10% en nuestra estimación de las emisiones de carbono de 2020.

TABLA 2:
Sensibilidad del modelo histórico a supuestos clave

VARIABLE		JUSTIFICACIÓN DEL RANGO	IMPACTO EN LAS EMISIONES DE CARBONO DE 2020
Eficiencia energética promedio de las máquinas de minería	42 J/Th 55 J/TH 60 J/TH	• Límite inferior: Asume que toda la minería se realiza con las máquinas más eficientes (menos de 50 J/TH). • Límite superior: Asume que la minería se distribuye equitativamente entre todas las máquinas rentables.	-23% a +10%
Eficacia en el uso de energía (PUE)	1 1.075 1.2	• Límite inferior: Asume un PUE óptimo • Límite superior: Igual al utilizado por el Centro de Finanzas Alternativas de Cambridge	-7% a +12%
Precio de la electricidad	0.04 $/kWh 0.05 $/kWh 0.06 $/kWh	• Rango validado con discusiones con mineros y análisis de mineros públicos	+9% a -7%
Proporción de minería con fuentes de energía fuera de la red y libres de carbono	10% 0% N/A	• Evidencia limitada de uso significativo de energía fuera de la red. Se usa 10%–0% como límite inferior conservador	-10%
Geografía de los mineros (% de tasa de hash en China)	55% 65% 75%	• Rango refleja los porcentajes mínimo y máximo registrados en China durante 2019 y 2020	+1% a -1%

Sensibilidad decreciente

Límite inferior Línea base Límite superior

Fuente: Análisis NYDIG

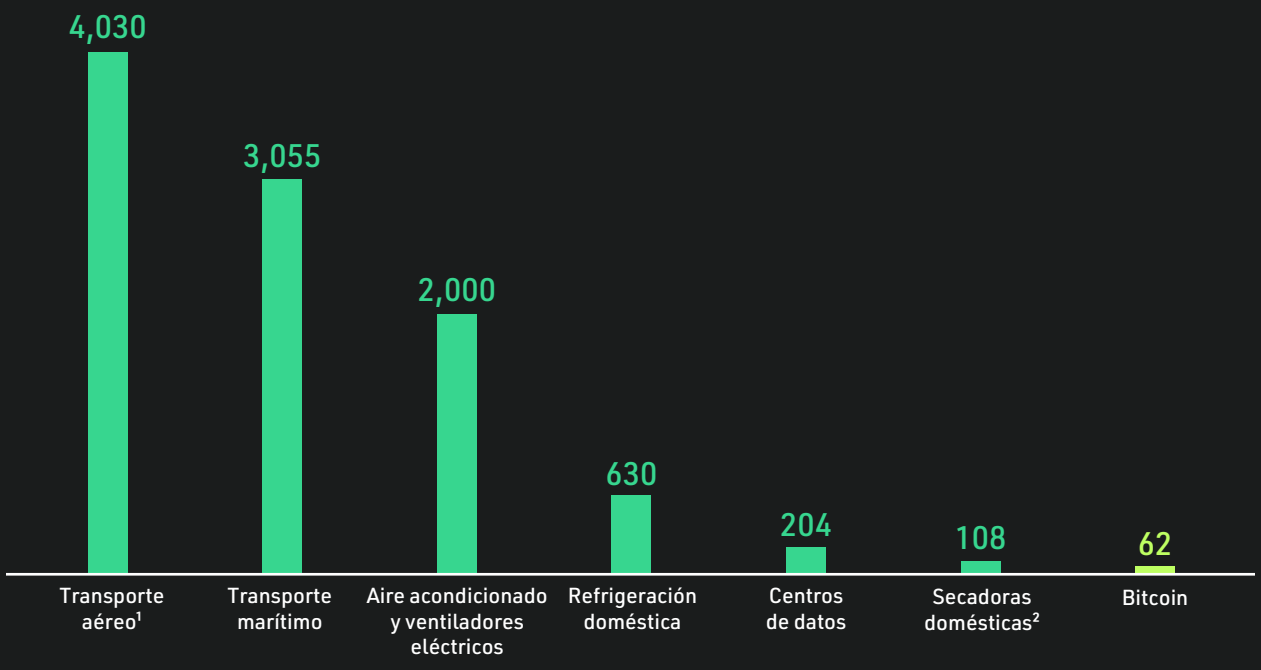
2.5 ¿Cómo se compara Bitcoin con otras innovaciones y productos básicos?

Las emisiones de carbono de Bitcoin son bajas en comparación con otras innovaciones intensivas en energía, como el transporte aéreo y marítimo o el aire acondicionado, y con productos básicos extraídos a gran escala.

El consumo absoluto de electricidad y las emisiones de carbono de Bitcoin son mucho menores que los de otras innovaciones que, aunque consumen mucha energía, son percibidas como usos válidos debido a su utilidad social. El consumo energético del transporte marítimo y aéreo es significativo, superando el de la minería de Bitcoin por factores de 49 y 65, respectivamente (ver Gráfico 15).

Las emisiones de Bitcoin en 2020 (33 $MtCO_2$) también fueron notablemente inferiores a las de la extracción y producción de zinc, cobre, aluminio y acero. Las emisiones de la producción de oro se estimaron en 101 $MtCO_2e$[53], más del triple que las de Bitcoin (ver Gráfico 16).

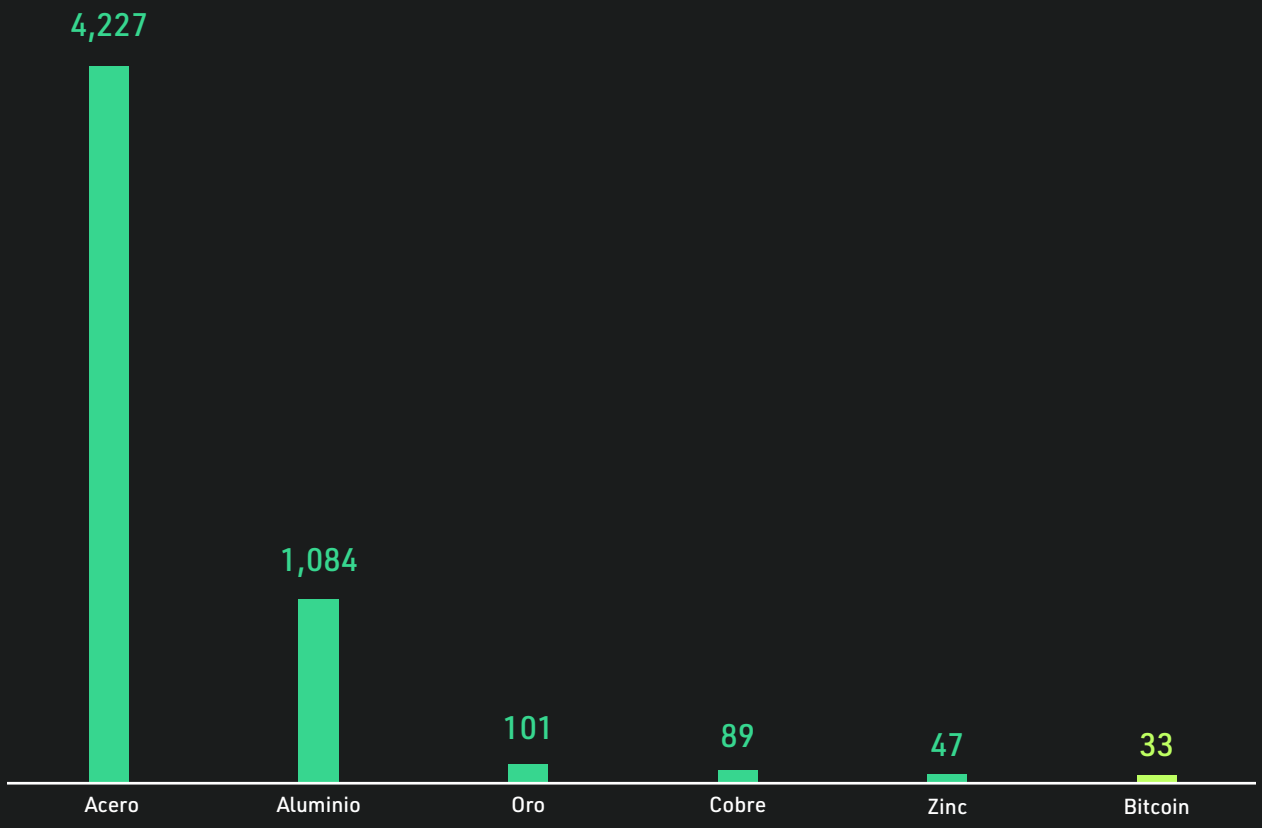
GRÁFICO 15:
Consumo energético de la minería de Bitcoin frente a otras innovaciones
TWh, 2020



1. Conversión del número de barriles de petróleo consumidos anualmente en transporte aéreo y marítimo a TWh.
2. Incluye consumo para OCDE, China e India, con un promedio de 375 kWh/año por unidad.

Fuentes: AIE Futuro del Enfriamiento (IE A Future of Cooling), Global Lighting Challenge, BP Perspectiva Energética Global 2020 (BP Global Energy Outlook 2020), Barthel (2012), Clean Energy Resource Streams, Análisis de NYDIG.

GRÁFICO 16:
Emisiones de carbono de la minería de Bitcoin en comparación con los principales productos extraídos y la producción de acero
$MtCO_2e$, 2020



Fuentes: London Metal Exchange, Coindesk, Fitch, análisis de NYDIG

Section 3

Emisiones futuras de carbono de Bitcoin

1. ¿Cómo evolucionará el consumo eléctrico de Bitcoin bajo diferentes escenarios?
2. ¿Cómo evolucionarán las emisiones de carbono de Bitcoin bajo estos escenarios?
3. ¿Qué mecanismos de descarbonización podrían reducir las emisiones?

Esta sección explora las perspectivas del consumo eléctrico y las emisiones de carbono de Bitcoin, contextualizándolas a nivel global. Abordamos las siguientes preguntas:

- ¿Cómo evolucionará el consumo eléctrico de Bitcoin bajo distintos escenarios?
- ¿Cómo evolucionarán las emisiones de carbono de Bitcoin en estos escenarios?
- ¿Qué mecanismos de descarbonización podrían reducir las emisiones?

Resumen

- El consumo eléctrico de Bitcoin está impulsado principalmente por el total de ingresos disponibles para los mineros y por el costo de la electricidad. Bajo una amplia variedad de escenarios de precios, el consumo eléctrico de Bitcoin aumenta y alcanza su punto máximo dentro de la próxima década, para luego disminuir con cada reducción a la mitad del subsidio por bloque.
- El consumo eléctrico de Bitcoin aumentará significativamente en la próxima década si el precio de Bitcoin continúa subiendo. Sin embargo, incluso en nuestro escenario de precio alto, donde el consumo eléctrico de Bitcoin alcanza un nivel 11 veces mayor al de 2020, solo representaría el 0.4 % del consumo mundial de energía primaria y el 2 % de la generación global de electricidad.
- Las futuras emisiones de carbono de Bitcoin se han estimado utilizando proyecciones sobre la intensidad de carbono de las redes eléctricas y una distribución geográfica base del poder de cómputo (hashrate). En todos los escenarios de precio, las emisiones de carbono de Bitcoin aumentan y alcanzan su punto máximo en la próxima década, antes de disminuir notablemente gracias a la descarbonización de las redes eléctricas. Las emisiones de Bitcoin siempre representarán una pequeña proporción del total global. Incluso en el punto más alto del escenario de precio elevado, las emisiones de Bitcoin solo representarían el 0.9 % de las emisiones globales de carbono.
- Los mineros de Bitcoin pueden reducir sus emisiones a corto y mediano plazo comprando créditos de carbono, adquiriendo energía renovable, eligiendo ubicaciones con fuentes de energía limpia, y utilizando energía desperdiciada. Algunas empresas ya están aprovechando estas estrategias. A largo plazo, los mineros de Bitcoin podrían beneficiarse de la descarbonización de las redes eléctricas, así como de los avances tecnológicos en almacenamiento de energía y la consiguiente reducción de costos.

3.1 ¿Cómo evolucionará el consumo eléctrico de Bitcoin bajo diferentes escenarios?

El consumo eléctrico de Bitcoin está determinado principalmente por el total de ingresos disponibles para los mineros y por sus costos de electricidad. Bajo una amplia variedad de escenarios de precios, el consumo eléctrico de Bitcoin aumenta y alcanza su punto máximo dentro de la próxima década, para luego disminuir con cada reducción a la mitad del subsidio por bloque. El consumo eléctrico de Bitcoin aumentará significativamente en la próxima década si el precio del Bitcoin continúa subiendo. Sin embargo, incluso en nuestro escenario de precio alto, donde el consumo eléctrico de Bitcoin alcanza un nivel 11 veces mayor al de 2020, solo representará el 0.4 % del consumo global de energía primaria y el 2 % de la generación eléctrica mundial.

Metodología

Dos variables principales determinarán el consumo eléctrico futuro de Bitcoin: el total de ingresos disponibles para los mineros y el costo absoluto de la electricidad. Un mayor ingreso disponible incentivará a más personas a participar en la minería, lo que incrementará el poder de cómputo (hashrate) y, por lo tanto, la cantidad de electricidad necesaria para minar un bloque. Tras analizar la estructura de costos de los mineros, estimamos que aproximadamente el 50 % del ingreso total se destina al pago de electricidad, como promedio a largo plazo (ver Recuadro 5). Basándonos en estudios de Digiconomist y el Cambridge Centre for Alternative Finance, asumimos que el costo promedio de la electricidad para los mineros en 2020 fue de $0.05 por kWh, y que este costo aumentará un 1 % anual en términos nominales. Este gasto en electricidad se convierte posteriormente en el total de consumo eléctrico.

Recuadro 5: Estructura de costos de los mineros de Bitcoin

Los principales costos de los mineros de Bitcoin provienen de sus equipos y de la electricidad necesaria para operarlos. El gasto en electricidad varía como proporción de sus ingresos, dependiendo de la eficiencia creciente de las máquinas y de la volatilidad del precio del Bitcoin.

Estimamos que, en promedio, los costos de electricidad representan aproximadamente el 50 % de los ingresos de los mineros. Esta estimación se basa en promedios a largo plazo tanto a nivel de red como por tipo de máquina. Para la red, analizamos la proporción de ingresos de los mineros que se destinan a electricidad en diferentes periodos y bajo distintos criterios. También calculamos la proporción de ingresos destinada a electricidad para clases específicas de máquinas, como los Antminer S9 y S19, y tomamos el promedio a lo largo de la vida útil de cada clase.

Luego validamos nuestros resultados a través de entrevistas con mineros y los comparamos con informes externos de Digiconomist y del Cambridge Centre for Alternative Finance. A modo de comparación, Digiconomist estima que los costos eléctricos representan el 70 % del ingreso total de los mineros, pero creemos que esta cifra está sobreestimada, ya que subestima el gasto en equipos. Cambridge, por su parte, estima que los costos eléctricos representan el 43 % de los ingresos, una cifra más cercana a nuestra estimación.

En julio de 2021, los costos de electricidad de los mineros de Bitcoin eran muy bajos en comparación con el promedio histórico del 50 %: solo gastaban alrededor del 20 % de sus ingresos en electricidad. El aumento del precio del Bitcoin, que se triplicó desde 2020, incrementó rápidamente los ingresos por minería, pero la cadena de suministro tarda más tiempo en responder con nuevas máquinas y ubicaciones. Además, la represión en China redujo el número de mineros y, con ello, el poder de cómputo (hashrate). Esta menor competencia, a través del protocolo de dificultad, resultó en una reducción del número de terahashes necesarios para crear un nuevo bloque y, por ende, una gran disminución en la demanda de electricidad.

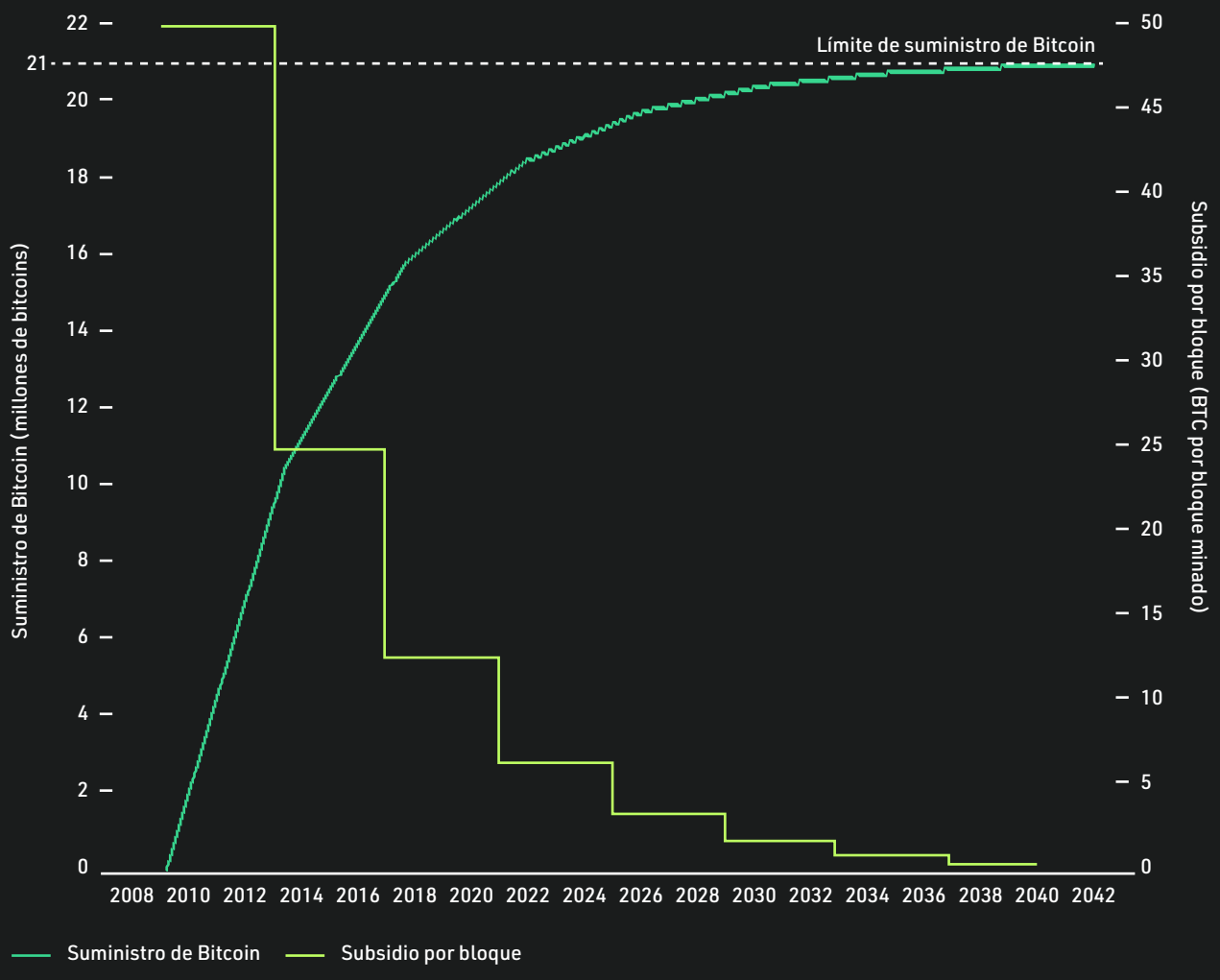
Tomará tiempo para que el mercado alcance un nuevo nivel de equilibrio en el hashrate y para que los mineros aumenten su consumo eléctrico hasta que el costo represente nuevamente el 50 % de sus ingresos. Actualmente hay una escasez global de chips, y existen tiempos de espera significativos para establecer nuevas operaciones de minería debido a necesidades como aprobaciones de conexión a la red eléctrica y compra de transformadores.

Estos factores logísticos retrasarán la recuperación del hashrate, beneficiando temporalmente a los mineros no chinos existentes al aumentar sus ganancias. Esta desaceleración podría continuar hasta el próximo halving a principios de 2024, cuando la reducción del subsidio por bloque disminuirá automáticamente la rentabilidad de la minería y, con ello, el hashrate. Para simplificar, hemos modelado un retorno lineal al promedio a largo plazo del 50 % de gasto en electricidad para 2024, a medida que el mercado se recupera del impacto del éxodo minero en China y del aumento de precio desde 2020.

El total de ingresos disponibles para los mineros proviene de dos fuentes: el subsidio por bloque, que consiste en bitcoins recién emitidos; y las comisiones por transacción que pagan las personas que realizan operaciones en Bitcoin como incentivo para que los mineros incluyan sus transacciones en el siguiente bloque. De estos dos elementos, el subsidio por bloque es el más estable y fácil de predecir. Por diseño, la recompensa se reduce a la mitad cada cuatro años y continuará haciéndolo hasta que se hayan minado los 21 millones de bitcoins, lo cual se estima ocurrirá alrededor del año 2140 (ver Apéndice 1 y Gráfico 17).

Históricamente, las comisiones por transacción han representado una proporción mucho menor de los ingresos de los mineros en comparación con el subsidio por bloque –en promedio, aproximadamente un 5 %, o unas 60 bitcoins por día. Sin embargo, durante el primer trimestre de 2021, el promedio de comisiones por transacción aumentó a alrededor de 150 bitcoins por día, y en ocasiones anteriores han superado las 800 bitcoins diarias (ver Gráfico 18). Es incierto cómo evolucionarán estas comisiones, ya que dependen del volumen de transacciones y de la disposición de los usuarios a pagar. Para este análisis, hemos proyectado el consumo eléctrico basándonos en una estimación de 150 bitcoins diarios en comisiones.

GRÁFICO 17:
Suministro total de Bitcoin minado y subsidio por bloque por año
Millones de bitcoins, BTC/subsidio por bloque, 2009 – 2040



Fuente: Coindesk

Dado que tanto las comisiones por transacción como los subsidios por bloque están denominados en bitcoin, su valor para los mineros está intrínsecamente vinculado al precio del Bitcoin. Este es el factor más volátil en el valor del conjunto de ingresos y, por lo tanto, en el consumo eléctrico de Bitcoin.

El precio del Bitcoin depende exclusivamente de la demanda social, ya que su oferta está determinada por el protocolo. No es objetivo de este informe predecir el precio futuro del Bitcoin, por lo que en su lugar proyectamos el consumo eléctrico hasta 2040 bajo cuatro escenarios de precios (ver Gráfico 19). El rango de estos escenarios es amplio, dado lo incipiente del Bitcoin y su alta volatilidad de precio hasta la fecha.

- Escenario de precio alto: supone que el Bitcoin igualará el valor promedio histórico del oro como reserva global de valor. El valor de mercado del Bitcoin alcanzaría un valor nominal de 10 billones de dólares en 2030, lo que implicaría un precio aproximado de $490,000 por bitcoin. Entre 2030 y 2040, el precio del Bitcoin continuaría creciendo a un ritmo más lento del 2 % anual, llegando a $595,000 en 2040 (ver Recuadro 6).

- Escenario de precio medio: supone que el Bitcoin igualará la mitad del valor promedio histórico del oro como reserva global de valor. El valor de mercado del Bitcoin alcanzaría un valor nominal de 5 billones de dólares en 2030, con un precio estimado de $245,000 por bitcoin. Entre 2030 y 2040, el precio del Bitcoin seguiría creciendo a un ritmo del 2 % anual, llegando a $300,000 en 2040 (ver Recuadro 6).

- Escenario de precio base: asume que el precio crecerá a una tasa del 2 % anual a partir del promedio de febrero de 2021, que era de aproximadamente $50,000, subiendo a unos $60,000 en 2030 y a $75,000 en 2040.

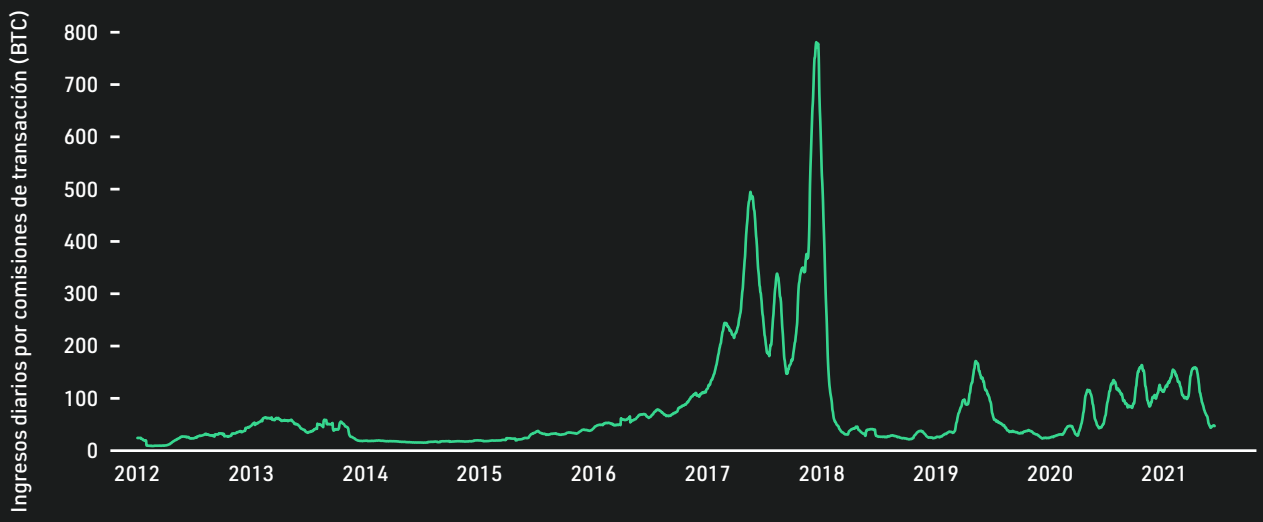
- Escenario de precio bajo: asume que el precio del Bitcoin caerá a $10,000 en 2030, en línea con el promedio de 2020. Entre 2030 y 2040, el precio del Bitcoin crecería a una tasa del 2 % anual, llegando a $12,000 en 2040.

Después de 2030, en todos los escenarios de precio, se asume que el Bitcoin madurará y su precio se estabilizará —es decir, el crecimiento será más lento y la volatilidad disminuirá.

GRÁFICO 18

Ingresos diarios por minería únicamente por comisiones de transacción

BTC, 2012 – 2021, promedio móvil de 30 días

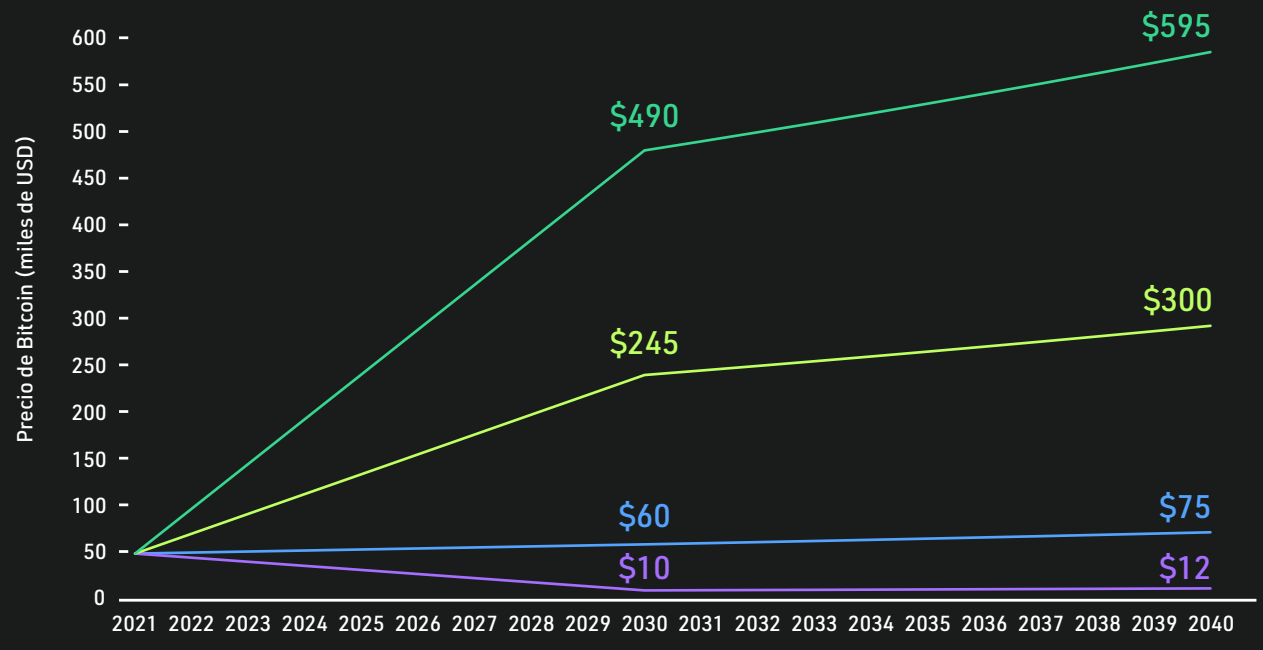


Fuente: Coindesk

GRÁFICO 19:

Escenarios del precio de Bitcoin

Miles de USD, 2021 – 2040



Fuente: Análisis de NYDIG: NYDIG analysis

Recuadro 6: Comparación de Bitcoin con el oro - ¿Qué tan valioso podría llegar a ser Bitcoin?

El dinero ha adoptado diversas formas a lo largo de la historia – desde conchas marinas hasta oro y monedas fiduciarias – y cumple tres funciones principales: ser una reserva de valor, un medio de intercambio y una unidad de cuenta.

Una reserva de valor se refiere a la capacidad del dinero para mantener su valor con el tiempo. Para que el dinero actúe como una buena reserva de valor, debe haber una oferta limitada y algún mecanismo que restrinja la producción de nuevas unidades, con el fin de asegurar que se mantenga el valor de las unidades existentes. La oferta de Bitcoin y la producción de nuevas unidades están programadas en su protocolo. Su suministro aumentará hasta un límite predeterminado de 21 millones de bitcoins, y los bitcoins se agregan al suministro a una tasa fija de un bloque cada 10 minutos – con la cantidad de bitcoins liberados en cada bloque reduciéndose a la mitad aproximadamente cada cuatro años (ver Apéndice 1).

Dado que uno de los principales usos de Bitcoin es como reserva de valor, y el oro es una reserva de valor sólida, hemos basado nuestros escenarios de precio medio y alto en estimaciones sobre el valor futuro del oro. Desde 1910, el valor del oro en el mundo ha representado en promedio alrededor del 8 % del PIB global anual. Es probable que el PIB global alcance los 135 billones de dólares en términos nominales para 2030, lo que implica un valor nominal del oro de aproximadamente 10 billones de dólares. Nuestro escenario de precio alto para Bitcoin asume que igualaría el valor del oro como reserva de riqueza global y alcanzaría un valor total de mercado de 10 billones de dólares en 2030. El escenario de precio medio asume que Bitcoin igualaría la mitad del valor del oro como reserva de riqueza global, alcanzando un valor total de 5 billones de dólares en 2030. Aunque hemos utilizado el valor del oro para definir nuestros escenarios, no hay ninguna razón por la cual Bitcoin no pueda llegar a ser más valioso que el oro en el futuro.

Resultados

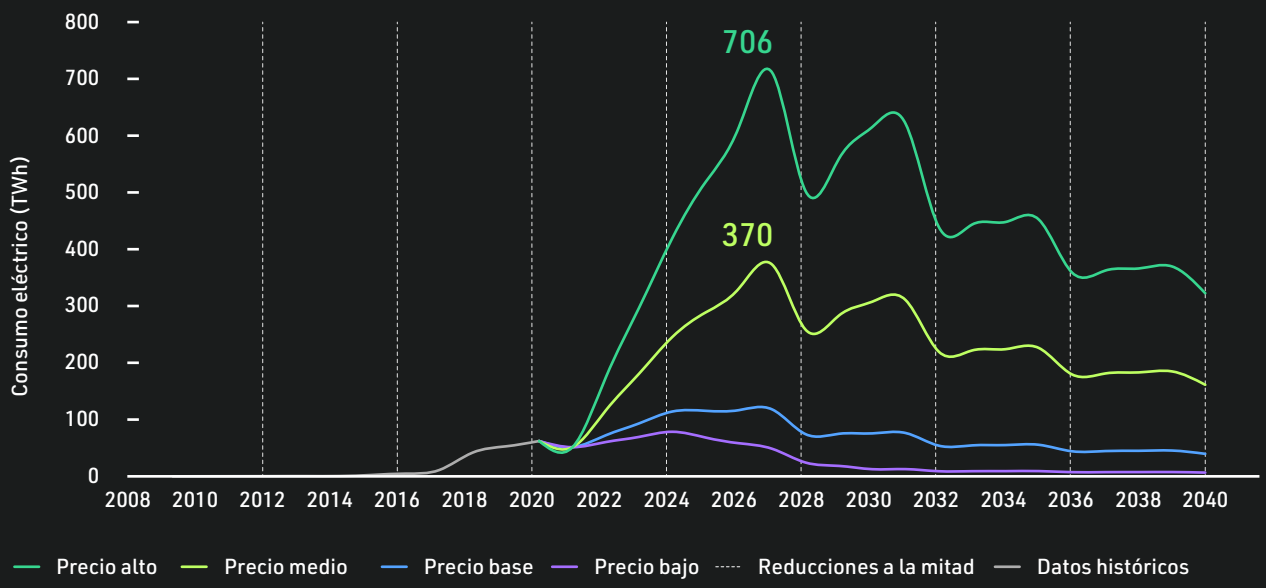
El Gráfico 20 muestra proyecciones del consumo eléctrico de Bitcoin para cada escenario de precio. En todos los escenarios, el consumo eléctrico de Bitcoin aumenta y alcanza un pico dentro de la próxima década, para luego disminuir con cada reducción a la mitad del subsidio por bloque. Esta reducción provoca caídas importantes en nuestras proyecciones cada cuatro años, ya que disminuye el ingreso disponible para los mineros de Bitcoin, una caída que no se compensa completamente ni con las comisiones por transacción ni con el aumento del precio de Bitcoin.

En el escenario de precio bajo, el consumo eléctrico alcanza su punto máximo en 2024, cuando los mineros se reubican y reinician sus operaciones tras el éxodo desde China. Después de este pico, el consumo eléctrico disminuye rápidamente, cayendo por debajo de los niveles de 2020 para el año 2026. En los escenarios de precio base, medio y alto, el consumo eléctrico aumenta hasta un pico en 2027, tras lo cual disminuye rápidamente. El consumo eléctrico de Bitcoin aumentará considerablemente en la próxima década si su precio continúa subiendo: un aumento de precio incentivaría a más mineros a competir para resolver los problemas matemáticos, lo que resultaría en un aumento del hashrate y, por ende, del consumo eléctrico. Esto se observa en los escenarios de precio medio y alto, donde el consumo eléctrico alcanza picos de seis y once veces el nivel de 2020, respectivamente.

Aunque se proyecta que el consumo eléctrico de Bitcoin aumente en la próxima década en todos los escenarios de precio, seguirá representando una pequeña proporción del consumo mundial de energía primaria y de la generación eléctrica (ver Gráfico 21). Incluso en el escenario de precio alto, donde el consumo eléctrico de Bitcoin alcanza su pico con 706 TWh, esto representaría solo el 0.4 % del consumo mundial de energía primaria y el 2 % de la generación eléctrica. Para 2040, esta proporción bajará al 0.2 % del consumo mundial de energía primaria y al 0.8 % de la generación eléctrica (ver Gráfico 21).

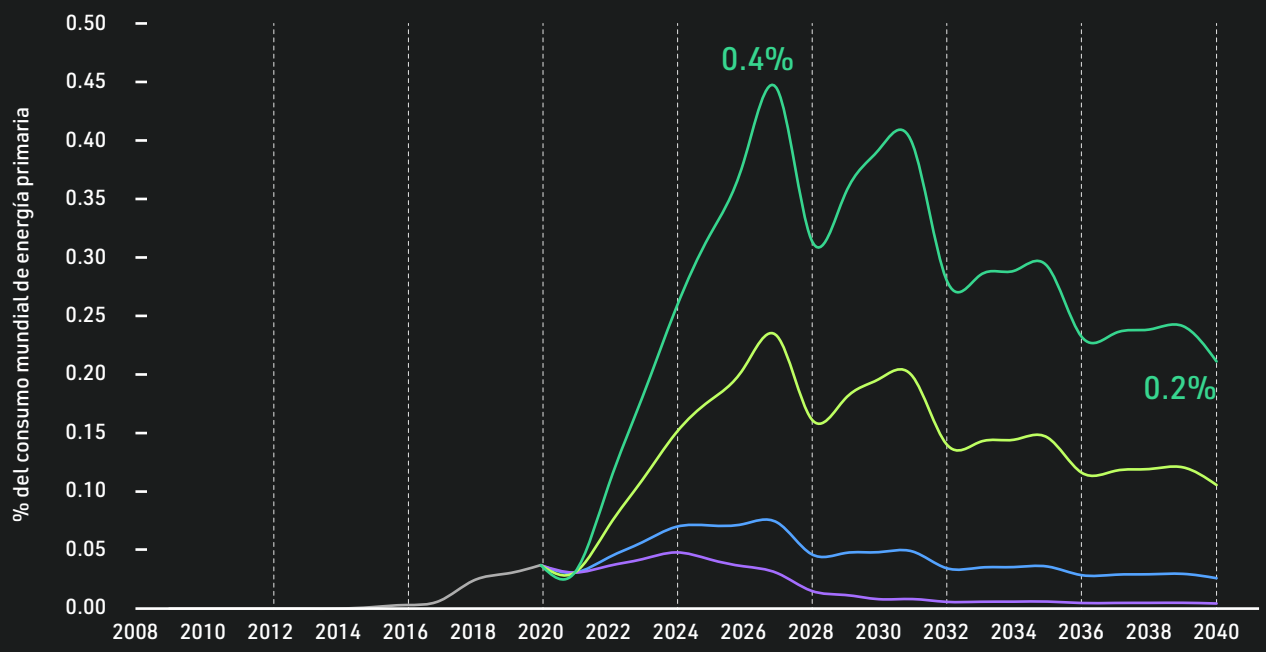
Traducido por
21 MILLONES
BTC.COM

GRÁFICO 20:
Consumo eléctrico histórico y proyectado[1] de Bitcoin bajo cuatro escenarios de precio
TWh, %, 2009 – 2040



1. Basado en el Escenario de Desarrollo Sostenible de la AIE 2020; el valor de consumo eléctrico de 2021 se basa en datos anualizados de julio de 2021.
Fuente: Análisis de NYDIG

GRÁFICO 21:
Consumo eléctrico de Bitcoin como porcentaje del consumo mundial de energía primaria, histórico y proyectado
%, 2009 – 2040



1. Basado en el Escenario de Desarrollo Sostenible de la AIE 2020; el valor de consumo eléctrico de 2021 se basa en datos anualizados de julio de 2021.
Fuente: Análisis de NYDIG

3.2 ¿Cómo evolucionarán las emisiones de carbono de Bitcoin bajo estos escenarios?

Se han estimado las futuras emisiones de carbono de Bitcoin utilizando valores para la intensidad de carbono futura de las redes eléctricas y una distribución geográfica base del hashrate. En todos los escenarios de precio, las emisiones de carbono de Bitcoin aumentan y alcanzan su pico dentro de la próxima década, para luego disminuir considerablemente debido a la descarbonización de las redes eléctricas. Las emisiones de carbono de Bitcoin siempre serán una pequeña proporción de las emisiones globales: incluso en el pico del escenario de precio alto, las emisiones de Bitcoin solo representarán el 0.9 % del total global. Sin embargo, existe la oportunidad de que los mineros de Bitcoin establezcan sus emisiones de carbono en un camino hacia el cero neto.

Metodología

La prohibición de la minería en China ha complicado aún más la evaluación de las futuras emisiones de carbono de Bitcoin. A corto plazo, el éxodo desde China ha reducido aproximadamente a la mitad tanto el consumo eléctrico como las emisiones anuales de carbono, que cayeron de 49 $MtCO_2$ en marzo de 2021 a 27 $MtCO_2$ en julio. Durante al menos 12 meses, y probablemente más, no será claro qué países reemplazarán a China como ubicaciones futuras para la minería. Sin embargo, comprender las ubicaciones será necesario para evaluar la intensidad de carbono de la futura minería de Bitcoin.

Se espera que los mineros apunten a aquellos mercados donde la electricidad es de bajo costo, se pueden conectar nuevas máquinas de minería relativamente rápido, y donde el clima político es favorable a Bitcoin. Los países atractivos para la minería de Bitcoin se ilustran en el Gráfico 22, e incluyen tanto redes eléctricas de baja como alta intensidad de carbono. Los mercados de alta intensidad de carbono se definen como aquellos con una intensidad de carbono en la red superior a 500 gCO_2/kWh, mientras que los mercados de baja intensidad de carbono se definen como aquellos con una intensidad de carbono en la red inferior a 500 gCO_2/kWh. Los mercados por encima de este umbral dependen en gran medida del carbón, ya que el gas natural, el siguiente combustible más intensivo en carbono, tiene una intensidad promedio de solo alrededor de 400 gCO_2/kWh.

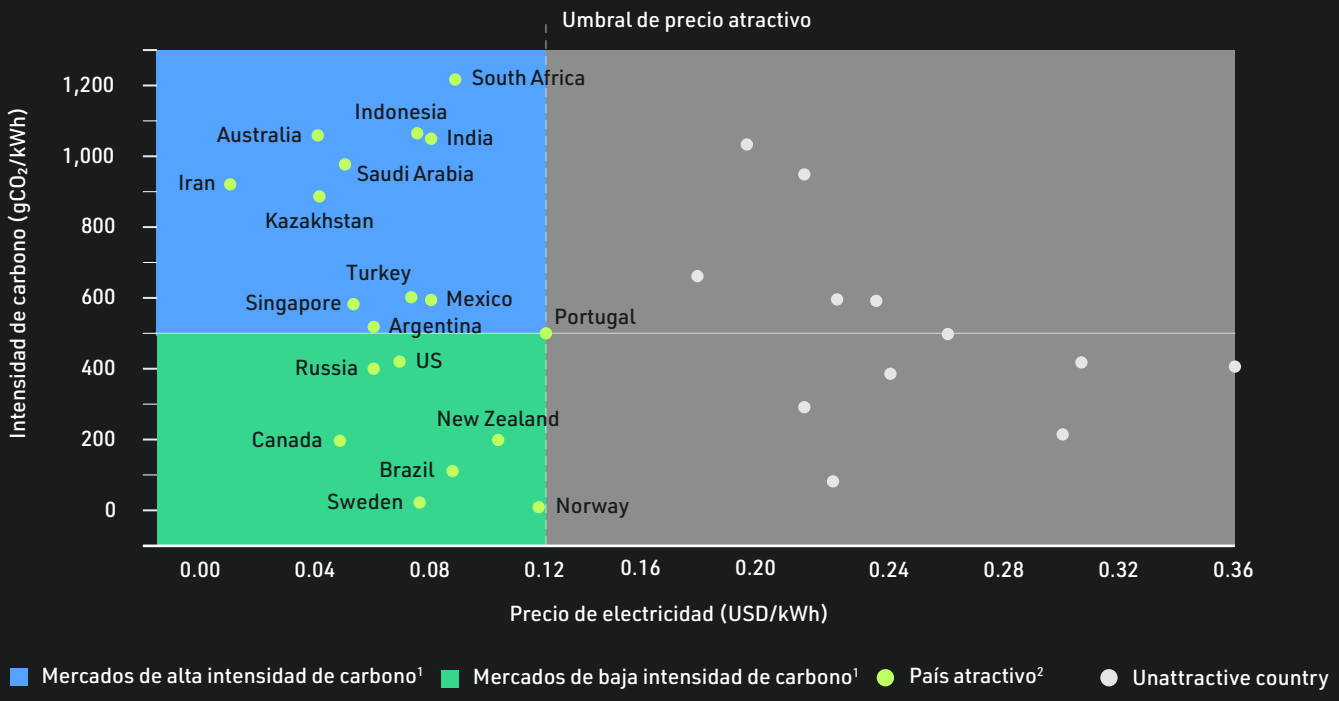
Clasificamos estos países atractivos como mercados de baja o alta intensidad de carbono, según la intensidad promedio de carbono de sus redes. Luego, estimamos la probable distribución del hashrate de la minería entre los mercados de baja y alta intensidad de carbono utilizando tres suposiciones:

- Distribución histórica: Supusimos que el hashrate histórico en China se redistribuye entre los otros países donde los mineros ya estaban ubicados.
- Generación de electricidad: Supusimos que el hashrate se distribuye entre los países atractivos, ponderado por la generación total de electricidad de cada país, es decir, la misma proporción de la producción eléctrica de un país va a Bitcoin en cada país.
- Precio de electricidad: Supusimos que el hashrate se distribuye primero al país más barato hasta que se alcanza un límite, reflejando el hecho de que los mercados no tienen un suministro ilimitado de electricidad barata que pueda ser añadida. Este límite se establece como una proporción de la generación total de cada país (0.6 %, 1 % y 3.5 %), con el máximo basado en la mayor penetración de mineros vista hasta la fecha, que es en Kazajistán.

Los resultados de estas diferentes suposiciones se muestran en el Gráfico 23. A partir de esto, estimamos una distribución base de emisiones de 60:40 entre mercados de baja y alta intensidad de carbono, con un límite superior de sensibilidad de 40:60 y un límite inferior de sensibilidad de 80:20.

Para proyectar la intensidad de carbono promedio de la red de cada mercado, utilizamos el Escenario de Desarrollo Sostenible de la AIE 2020, que proporciona valores de intensidad de carbono en la red a nivel regional hasta 2040 (ver Gráfico 6). El Gráfico 24 muestra las proyecciones agregadas de la AIE para los mercados de baja y alta intensidad de carbono que hemos definido. Con el tiempo, la intensidad de carbono en los mercados de alta intensidad disminuye más rápidamente que en los mercados de baja intensidad, ya que la energía solar y eólica de bajo costo desplaza al carbón. Supusimos que nuestra distribución base con una división 60:40 entre mercados de baja y alta intensidad de carbono se mantiene constante a lo largo de nuestras proyecciones. Los desarrollos regulatorios o de precios pueden cambiar las distribuciones futuras, pero no hemos reflejado estas posibilidades en nuestras proyecciones.

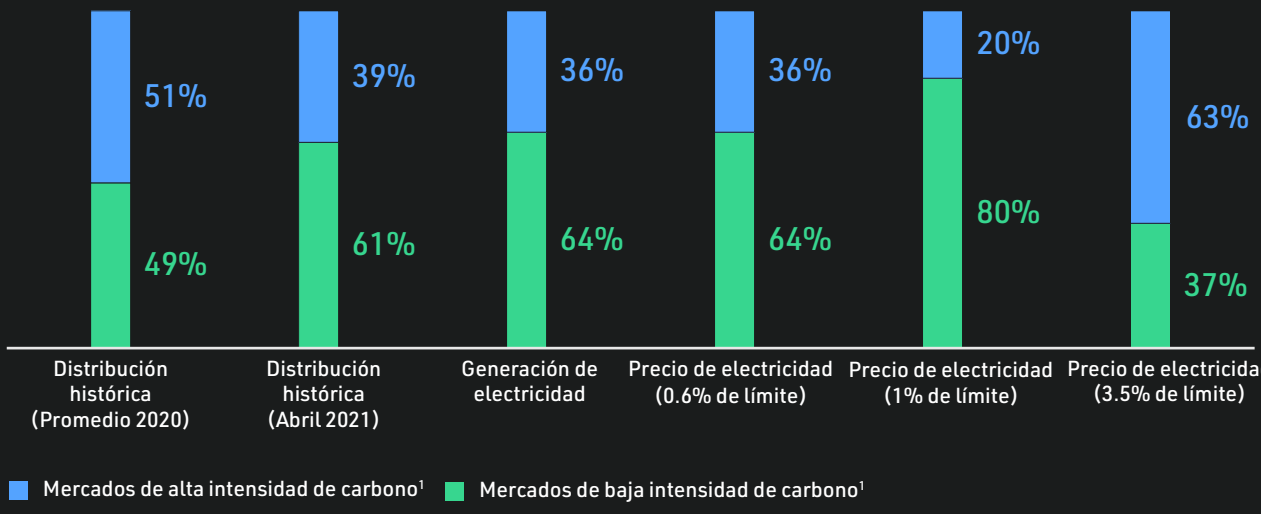
GRÁFICO 22:
Precio promedio de electricidad e intensidad de carbono para regiones seleccionadas
gCO_2/kWh, USD/kWh, 2020



1. Los mercados de alta intensidad de carbono se definen como aquellos que tienen una intensidad de carbono promedio en la red superior a 500 gCO_2/kWh, mientras que los mercados de baja intensidad de carbono se definen como aquellos con una intensidad de carbono promedio en la red inferior a 500 gCO_2/kWh.
2. A pesar de ser ubicaciones atractivas en términos de precio, China, Nigeria y Catar han sido excluidos como lugares atractivos debido a que el entorno político no es favorable hacia Bitcoin. China ha experimentado una represión significativa hacia las criptomonedas, y ha habido prohibiciones de menor escala sobre el comportamiento de comercio de Bitcoin en Nigeria y Catar.

Fuente: Fitch, Enplus Pellets, Análisis de NYDIG

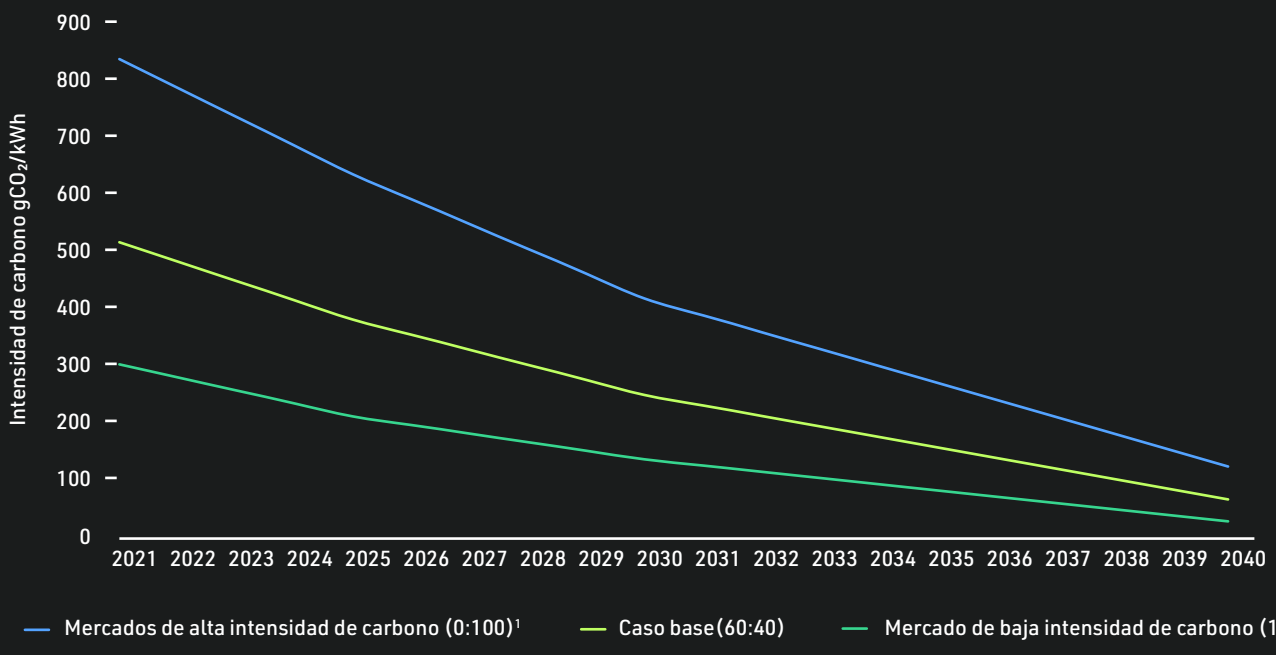
GRÁFICO 23:
Distribución proyectada del hashrate entre mercados de alta y baja intensidad de carbono, basada en diferentes suposiciones
%, 2021 – 2040



1. Los mercados de alta intensidad de carbono se definen como aquellos con una intensidad de carbono promedio en la red superior a 500 gCO_2/kWh, y los mercados de baja intensidad de carbono se definen como aquellos con una intensidad de carbono promedio en la red inferior a 500 gCO_2/kWh.

Fuentes: Cambridge Centre for Alternative Finance, ENPlus Pellets, BP Statistical Review World Energy, Fitch Solutions, Análisis de NYDIG

GRÁFICO 24:
Intensidad de carbono proyectada de la minería de Bitcoin
gCO_2/kWh, 2021 – 2040



1. Los mercados de alta intensidad de carbono se definen como aquellos con una intensidad de carbono promedio en la red superior a 500 gCO_2/kWh, y los mercados de baja intensidad de carbono se definen como aquellos con una intensidad de carbono promedio en la red inferior a 500 gCO_2/kWh.

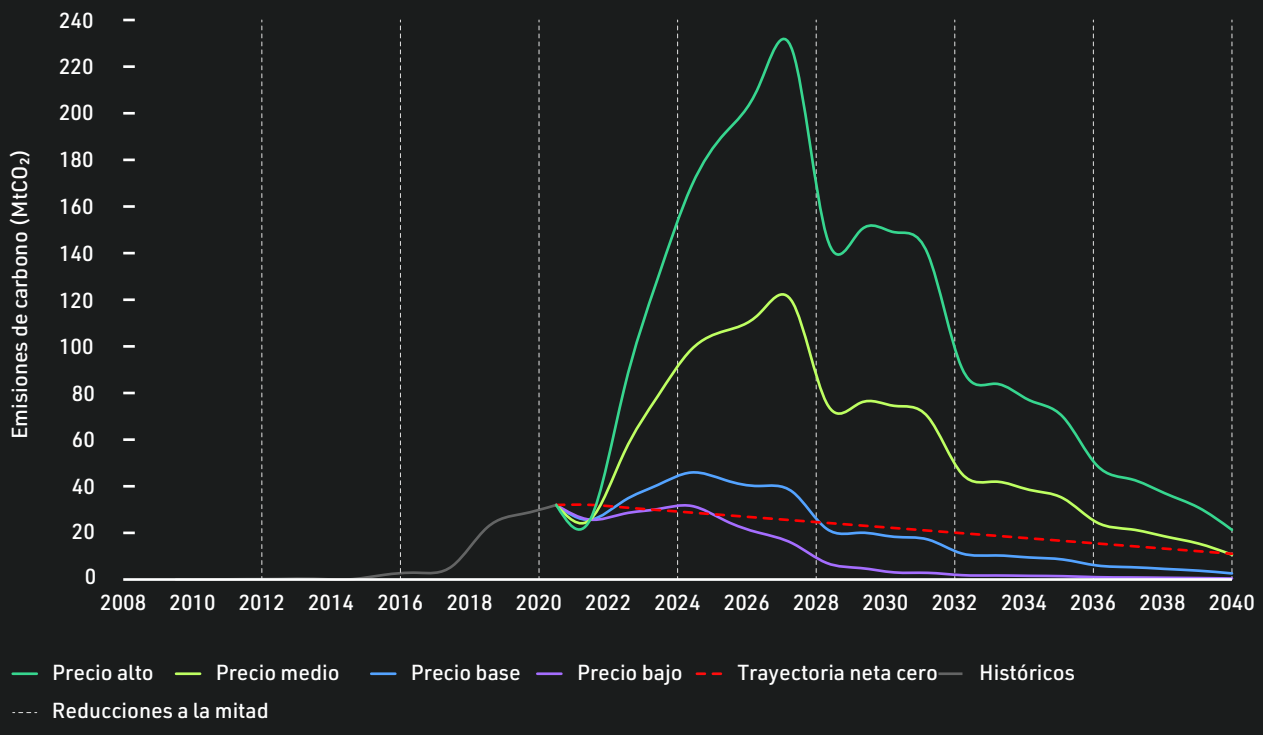
Fuente: IEA World Energy Outlook 2020, ENplus Pellets, Análisis de NYDIG

Al igual que con el consumo eléctrico, las emisiones de carbono de Bitcoin aumentan y alcanzan su pico dentro de la próxima década en todos los escenarios de precio, para luego disminuir considerablemente (ver Gráfico 25). Debido a la descarbonización de las redes eléctricas, la disminución de las emisiones después del pico es más pronunciada que la disminución en el consumo de electricidad mostrado en la Sección 3.1.

En los escenarios de precio bajo y base, las emisiones de carbono aumentan a 33 y 47 $MtCO_2$ en 2024, ya que el consumo eléctrico aumenta junto con la recuperación del mercado tras el éxodo desde China. Después de la reducción a la mitad del subsidio por bloque en 2028, las emisiones de carbono caen rápidamente por debajo de la trayectoria neta cero, lo que representa una reducción lineal de las emisiones de carbono desde los niveles de 2020 hasta cero para 2050. En los escenarios de precio medio y alto, las emisiones de carbono aumentan hasta alcanzar un pico en 2027, y luego disminuyen considerablemente debido a la descarbonización de la red y la reducción a la mitad. En estos escenarios, las emisiones de carbono de Bitcoin aumentan significativamente antes de sus picos. En el escenario de precio medio, las emisiones alcanzan un pico de 123 $MtCO_2$, cuatro veces el nivel de 2020. En el escenario de precio alto, las emisiones alcanzan su pico en 234 $MtCO_2$, siete veces el nivel de 2020.

Incluso en el pico del escenario de precio alto, las emisiones de Bitcoin representarán solo el 0.9 % de las emisiones globales de carbono en 2027. Para 2040, las emisiones de carbono en el escenario de precio alto ya habrán regresado a los niveles anteriores a 2020, con 22 $MtCO_2$, solo el 0.1 % de las emisiones globales (ver Gráfico 26).)

GRÁFICO 25:
Emisiones de carbono históricas y proyectadas[1] de Bitcoin bajo cuatro escenarios de precio, comparadas con la trayectoria neta cero[2]
$MtCO_2$, %, 2009 – 2040



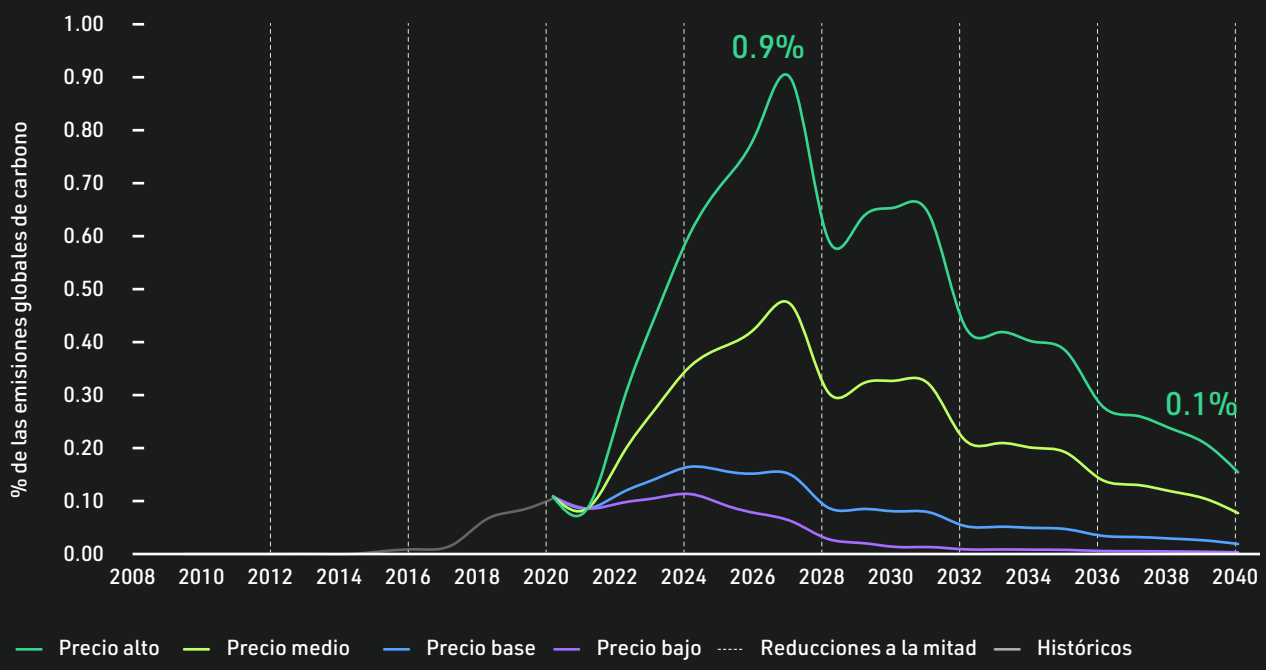
1. Basado en el Escenario de Desarrollo Sostenible de la AIE 2020; el valor de emisiones de 2021 se basa en datos anualizados de julio de 2021.
2. La trayectoria neta cero representa una reducción lineal de las emisiones de CO_2 desde los niveles de 2020 hasta cero en 2050.

Fuente: Análisis de NYDIG

GRÁFICO 26:

Emisiones de carbono históricas y proyectadas[1] de Bitcoin como porcentaje de las emisiones globales de carbono

%, 2009 – 2040



1. Basado en el Escenario de Desarrollo Sostenible de la AIE 2020; el valor de emisiones de 2021 se basa en datos anualizados de julio de 2021.

Fuente: Análisis de NYDIG

Si el nivel de adopción y el precio de Bitcoin son bajos, sus emisiones serán bajas. Si la adopción y el precio de Bitcoin son altos, debido a que aporta valor social como una forma de dinero sólido, sus emisiones serán más altas, pero aún así pequeñas a nivel global.

El precio futuro de Bitcoin es el parámetro más sensible para las proyecciones futuras de sus emisiones de carbono asociadas, razón por la cual hemos presentado resultados para cuatro escenarios de precio. Para otros parámetros, hemos probado la sensibilidad de nuestros resultados a nuestras suposiciones. La Tabla 3 resume nuestras estimaciones de los rangos de entrada y el impacto de estos en nuestro cálculo de emisiones de carbono para 2030. Estos rangos, con una variación de menos de +/- 30%, son todos modestos en comparación con la incertidumbre del precio.

TABLA 3:
Sensibilidad del modelo futuro a las suposiciones clave

VARIABLE		JUSTIFICACIÓN DEL RANGO	IMPACTO EN LAS EMISIONES DE CARBONO DE 2020
Parte de los ingresos de los mineros gastados en electricidad	40 % 50 % 65 %	• Rango basado en los promedios de 2018 y 2020, respectivamente	-20% a +30%
Precio de electricidad (2021)	0.04 $/kWh 0.05 $/kWh 0.06 $/kWh	• Rango validado a partir de discusiones con mineros y análisis de mineros públicos	+25% a -17%
Geografía de los mineros (participación en mercados de baja intensidad de carbono)	40 % 60 % 80 %	• El rango supone que los mineros se ubicarán primero en los países más baratos, según la metodología de la Sección 3.2.	+22% a -22%
Ingresos diarios por comisiones de transacción	60 BTC 150 BTC 300 BTC	• El límite inferior es el promedio histórico observado desde 2009. • El límite superior es el valor máximo observado en los últimos 3 años.	-7% a +12%
Tasa de inflación del precio de la electricidad	0% 1% 2%	• El límite inferior asume que la disminución proyectada de los precios reales de la energía está alineada con la inflación del dólar. • El límite superior es la tasa proyectada de inflación del dólar	+9% a -8%

Decreasing sensitivity

Límite inferior Base Límite superior

Fuente: Análisis de NYDIG

3.3 ¿Qué palancas de descarbonización podrían reducir las emisiones?

Los mineros de Bitcoin pueden reducir las emisiones a corto y medio plazo mediante la compra de compensaciones de carbono, la adquisición de energía renovable, favoreciendo ubicaciones con energía renovable y utilizando energía desperdiciada. Algunas empresas ya están aprovechando estas opciones. A largo plazo, los mineros de Bitcoin pueden beneficiarse de la descarbonización de la red eléctrica y de los avances probables en la tecnología de almacenamiento de baterías, así como de la consiguiente reducción de los costos de almacenamiento.

Existen varias palancas de descarbonización disponibles para los mineros de Bitcoin. Para reducir las emisiones a corto plazo, pueden comprar compensaciones de carbono y adquirir energía renovable de fuentes existentes a través de la red eléctrica. A medio plazo, pueden favorecer ubicaciones con energía renovable y usar energía desperdiciada, como la energía hidroeléctrica restringida o el gas quemado. A largo plazo, pueden beneficiarse de la descarbonización de la red eléctrica, así como de los avances probables en la tecnología de almacenamiento de baterías y la reducción de los costos de almacenamiento, lo que podría resolver el problema de la intermitencia de las energías renovables fuera de la red (ver Gráfico 27).

GRÁFICO 27:
Palancas de descarbonización para los mineros de Bitcoin

Los mineros de Bitcoin ya están comenzando a reducir las emisiones utilizando estas palancas, y algunas empresas se han vuelto recientemente neutrales en carbono. Esto se ha logrado principalmente ubicándose en regiones con baja intensidad de carbono y comprando compensaciones de carbono. A medida que persisten las preocupaciones medioambientales sobre las emisiones de carbono, es probable que más mineros tomen tales acciones.

Comprar compensaciones de carbono

Los mineros de Bitcoin pueden comprar compensaciones de carbono para neutralizar sus emisiones. Una compensación de carbono para una operación financia una actividad que resulta en una reducción de dióxido de carbono en otro lugar, como la plantación de árboles o la captura de carbono. Dado que la calidad de las compensaciones de carbono varía, las mejores prácticas aseguran que las compensaciones cumplan con ciertas condiciones:

- Adicionales: Reducen las emisiones de carbono o eliminan carbono que no se reduciría a través de otros incentivos.
- Permanentes: Reducen las emisiones o eliminan carbono de manera permanente.
- Sin fugas: Las ganancias de un proyecto determinado no resultan en un aumento de las emisiones en otro lugar.
- Verificadas independientemente: Una tercera parte audita las compensaciones para confirmar que las reducciones de carbono son reales y creíbles.

Recuadro 7: Climate Vault

Varias empresas ofrecen compensaciones de carbono, incluida Climate Vault, una organización sin fines de lucro fundada en la Universidad de Chicago que tiene una solución relativamente nueva e innovadora. En lugar de intentar estimar las reducciones de carbono de la plantación de árboles, Climate Vault mide la cantidad exacta de emisiones de carbono que una compensación previene. Climate Vault logra esto comprando permisos de emisiones de carbono en los mercados de cumplimiento de cap-and-trade y almacenándolos para que los emisores no puedan usarlos.

En un sistema de cap-and-trade, un gobierno establece un límite sobre las emisiones totales de carbono para una industria determinada o para toda la economía. Dentro de ese límite, las entidades reguladas compran o reciben permisos de emisiones, los cuales pueden intercambiar según sea necesario. Cada año, las entidades reguladas deben entregar suficientes permisos para cubrir sus emisiones de carbono; de lo contrario, se les penaliza por violar el sistema. El mercado de cumplimiento se refiere al mercado a través del cual estas entidades reguladas compran y venden permisos de emisiones de carbono.

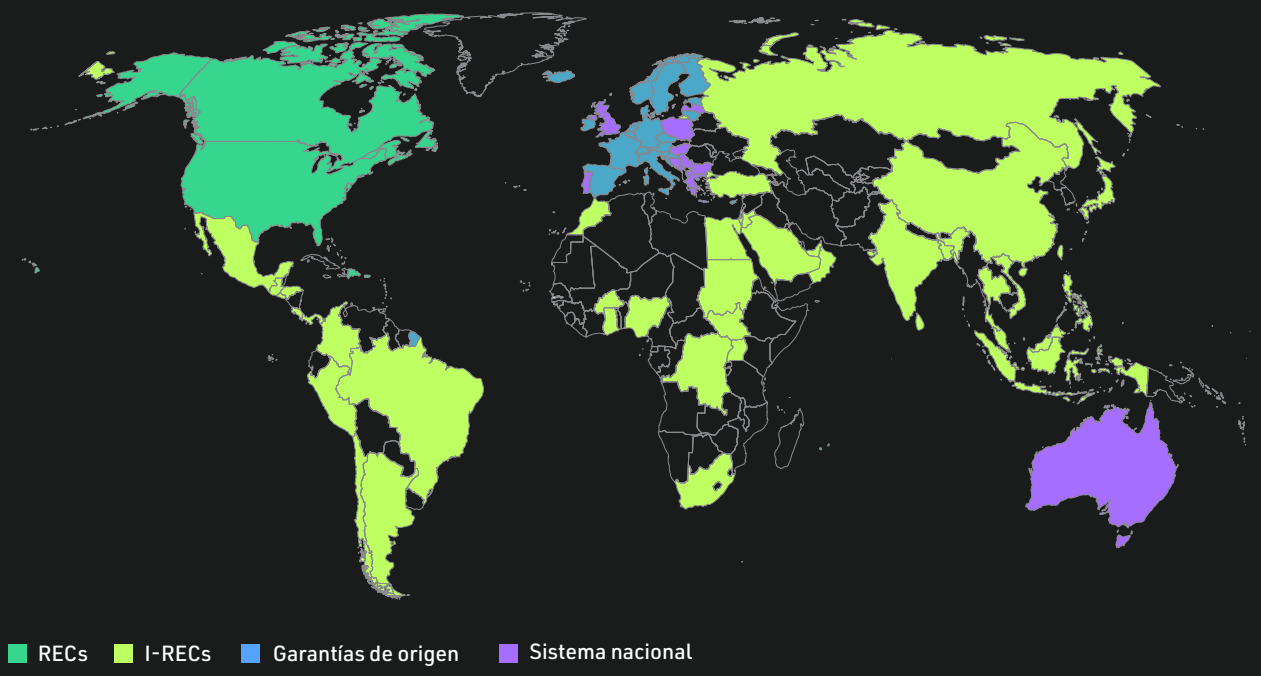
Al comprar permisos de emisiones del mercado de cumplimiento y no venderlos de nuevo, es decir, "almacenándolos", Climate Vault disminuye las emisiones totales posibles de las entidades reguladas por el sistema cap-and-trade.

Adquirir energía renovable

Actividades con un alto consumo de electricidad, como ciertos centros de datos, pueden adquirir electricidad generada al 100 % a partir de fuentes renovables. Esto generalmente no es alcanzable al depender de la mezcla de la red eléctrica local. Los mineros de Bitcoin también pueden comprar dicha electricidad de tres maneras que son simples, efectivas y globalmente reconocidas.

Una forma es comprar certificados de energía renovable, los cuales demuestran que un minero ha comprado energía generada a partir de fuentes renovables (ver Sección 2.1). Estos certificados son relativamente baratos, con un costo promedio de alrededor de $1 por megavatio hora, lo que representa solo el 2 % del costo promedio de electricidad de los mineros, que es de $50 por megavatio hora, y están disponibles en la mayoría de los países (ver Gráfico 28). Si todos los mineros de Bitcoin adquirieran certificados de energía renovable para cubrir su demanda total, el costo total sería de aproximadamente $60 millones, es decir, alrededor del 1 % de los ingresos de la minería en 2020. Las principales empresas a nivel mundial están utilizando los certificados de energía renovable como un primer paso para lograr su objetivo de obtener el 100 % de su electricidad de fuentes renovables. RE-100, por ejemplo, agrupa a las principales corporaciones que se comprometen al 100 % de energía renovable, y acepta los certificados como una palanca clave.

GRÁFICO 28:
Cobertura geográfica de certificados de energía renovable



Fuentes: El Estándar Internacional de REC, Asociación de Cuerpos Emisores, ELOCH

Una segunda opción para un minero de Bitcoin es entrar en un contrato con un proveedor local de electricidad que adquiera energía renovable en su nombre. Estos contratos generalmente toman la forma de programas de "tarifa verde", en los cuales el proveedor de electricidad adquiere energía renovable con una pequeña prima sobre sus contratos regulares. Sin embargo, este tipo de contrato no está disponible en todos los países.

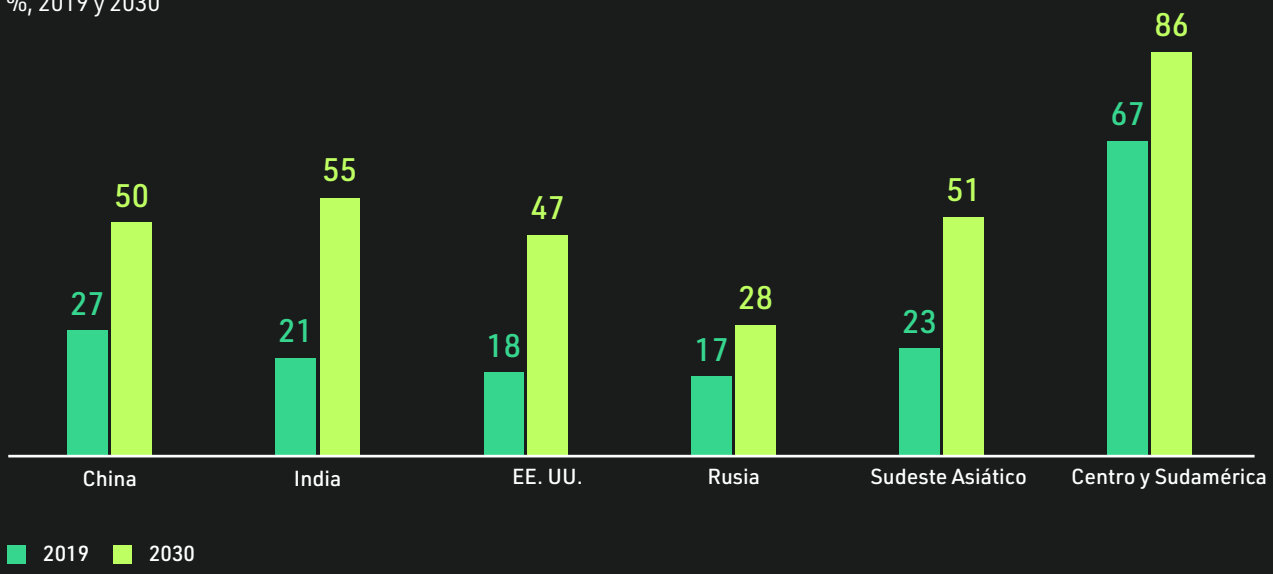
En tercer lugar, los mineros de Bitcoin pueden entrar en acuerdos de compra de energía (PPA) a corto plazo (menos de cinco años) con generadores de energía renovable. Un PPA detalla condiciones como la cantidad de electricidad que un generador suministrará, así como el precio y la duración del contrato. Estos acuerdos suelen implicar la compra tanto de electricidad física como de certificados de energía renovable.

Favorecer ubicaciones con energía renovable

Bitcoin se puede minar en cualquier parte del mundo, siempre que haya acceso a un suministro confiable y de bajo costo de electricidad y una conexión básica a Internet. Esto da a los mineros de Bitcoin, a diferencia de los actores de muchas otras industrias, la opción de favorecer ubicaciones que tengan una alta proporción de electricidad renovable en su mezcla de red.

Los cinco principales factores citados por los mineros para elegir una ubicación de minería son el precio de la electricidad, el entorno regulatorio, la disponibilidad de infraestructura, el acceso a las máquinas de minería y los costos de capital. Los mineros pueden agregar un sexto factor: el acceso a energía renovable, por ejemplo, a través de una alta proporción de energías renovables en la mezcla de la red eléctrica. El éxodo de minería desde China ofrece a la industria una oportunidad para lograr un cambio significativo en las emisiones si esos mineros se re ubican en regiones de baja intensidad de carbono (ver Gráfico 29).

GRÁFICO 29:
Participación histórica y proyectada de la energía renovable en la mezcla promedio de la red de regiones seleccionadas
%, 2019 y 2030



Fuentes: IEA World Energy Outlook 2020

Usar energía desperdiciada

El uso de energía que de otro modo se desperdiciaría representa otra oportunidad para reducir las emisiones. Esta energía desperdiciada puede provenir de diversas formas, como la energía hidroeléctrica restringida o el gas quemado.

Energía hidroeléctrica restringida

Una opción es trasladarse a ubicaciones con exceso de energía hidroeléctrica. China tiene una cantidad significativa, estimada en alrededor de 30 TWh en 2020. Aunque los mineros previamente se ubicaban en China para aprovechar esta energía durante la temporada de lluvias, China no es una opción viable para el futuro debido a la represión de la minería. Además, los mineros ubicados en China recurrían al uso de electricidad generada a partir de carbón durante la temporada seca (ver los Recuadros 3 y 4).

Los mineros de Bitcoin también han comenzado a utilizar la energía hidroeléctrica restringida de Rusia. Una empresa, que opera centros de datos que ofrecen servicios de co-ubicación para la minería de criptomonedas, utiliza energía hidroeléctrica excedente de la región de Bratsk. Sin embargo, la oportunidad es pequeña. Incluso la planta hidroeléctrica más grande de Rusia, Sayano-Shushenskaya, solo restringe hasta 2 TWh de su electricidad en un año con precipitaciones superiores al promedio. Eso equivale solo al 3 % del consumo eléctrico de Bitcoin en 2020. Además, la evidencia de energía hidroeléctrica restringida en otros mercados también es limitada, por lo que esta oportunidad es pequeña en escala.

El cambio a ubicaciones con energía renovable restringida solo es efectivo para la energía hidroeléctrica: la restricción de la energía solar y eólica tiende a ocurrir solo por períodos cortos de tiempo, como algunas horas soleadas a media jornada o períodos de viento fuerte.

Gas quemado

Otra posibilidad es utilizar el gas que de otro modo sería quemado. La quema controlada de gas, conocida como flaring, es el proceso de quemar gas, principalmente metano, que se libera como subproducto de la producción de petróleo. El gas se quema cuando no hay uso para él, como el uso en el sitio o la venta externa. La quema generalmente se lleva a cabo en campos petroleros ubicados en lugares remotos, donde las tuberías de exportación son limitadas, y cuando no es económico reinyectar el gas en el reservorio de petróleo para aumentar la producción de petróleo.

La quema desperdicia energía y emite dióxido de carbono. Sin embargo, el gas puede ser convertido en electricidad mediante turbinas pequeñas y relativamente baratas en el sitio, lo que evita la necesidad de costosas tuberías de exportación o una conexión a la red eléctrica. La minería de Bitcoin es un uso ideal para esta electricidad debido a su flexibilidad de ubicación. Es probable que el gas esté disponible a bajo costo para los mineros de Bitcoin, ya que de otro modo se desperdiciaría. Los proyectos de este tipo tienen períodos de recuperación cortos y, por lo tanto, se alinean con los horizontes de inversión de la minería de Bitcoin, que son de tres a cinco años. Además, quemar gas en una turbina es mucho más eficiente que quemarlo a través de una antorcha, por lo que se quema más metano y se emite menos a la atmósfera. (El metano es un gas de efecto invernadero mucho más potente que el dióxido de carbono, con 84 veces el efecto de calentamiento en un período de 20 años). Una empresa que está aprovechando esta oportunidad es Crusoe Energy, que tiene como objetivo, para finales de 2021, utilizar hasta 0.3 millones de metros cúbicos de gas quemado al día para la minería de Bitcoin (ver Recuadro 8).

Dado que este gas de otro modo habría sido quemado, utilizarlo para generar electricidad y minar Bitcoin representa un uso productivo de un recurso energético que de otro modo se desperdiciaría. No resulta en un aumento incremental de las emisiones de gases de efecto invernadero, y posiblemente en una disminución debido a la reducción del metano escapado. En 2020, se quemaron alrededor de 142 bcm (mil millones de metros cúbicos) de gas a nivel mundial, suficiente para producir alrededor de 430 TWh de electricidad. Si excluimos los mercados offshore y más desafiantes, como Irak, queda una oportunidad de alrededor de 140 TWh.

Debido a la independencia geográfica de la minería de Bitcoin y a las abundantes cantidades de recursos energéticos desperdiciados, restringidos o utilizados de manera ineficiente en todo el mundo, los mineros están seleccionando cada vez más una amplia variedad de tecnologías para adquirir energía económica, mientras también están descarbonizando.

Algunos mineros han adoptado una estrategia de combinar fuentes de energía altamente renovables con la adquisición de compensaciones de carbono. Por ejemplo, uno convirtió una planta de carbón en una planta de gas natural con menor intensidad de carbono y también se comprometió a compensar todas sus emisiones residuales. Un importante proveedor de servicios de alojamiento en EE. UU. divulgó su mezcla energética y se comprometió a operar con un 100 % de neutralidad de carbono neta a través de compensaciones.

Otros mineros seleccionan sus ubicaciones para adquirir energía renovable. Algunos grandes en Ontario y Columbia Británica utilizan casi el 100 % de energía hidroeléctrica. Finalmente, varias empresas mineras ya están aprovechando la electricidad generada a partir de gas desperdiciado. Esperamos que estas diversas estrategias de mitigación de carbono, y otras, se utilicen cada vez más en los próximos años

Recuadro 8: Modelo de negocio de gas quemado de Crusoe Energy

Crusoe Energy opera 40 centros de datos alimentados por gas en los Estados Unidos y ofrece servicios de alojamiento a industrias que consumen mucha energía. La minería de Bitcoin representa hasta el 80 % de la capacidad de computación de Crusoe.

Crusoe Energy adquiere gas de bajo costo que de otro modo habría sido quemado de productores de petróleo y gas, e instala un sistema de tuberías para transportarlo a generadores eléctricos modulares de 2 MW. La electricidad se consume luego en las máquinas de minería de Bitcoin. Crusoe Energy despliega sus sistemas directamente en los sitios de quema, lo que reduce el costo del transporte de gas y la transmisión de electricidad. La empresa cobra a los mineros de Bitcoin por su consumo eléctrico y también mina Bitcoin con sus propias máquinas. La empresa afirma que, en comparación con la quema de gas sin mitigación, el uso de gas desperdiciado para energía reduce las emisiones equivalentes de carbono hasta en un 63 %, ya que la quema del gas en los generadores es más eficiente y se emite menos metano a la atmósfera.

Conclusión

En este documento, hemos estimado el consumo energético actual e histórico de la minería de Bitcoin y las emisiones de carbono resultantes. También hemos sugerido posibles trayectorias futuras de emisiones.

El consumo energético actual de los mineros de Bitcoin se puede inferir relativamente fácil, pero proyectar la intensidad de emisiones futura de Bitcoin requiere varias suposiciones. Estas se refieren a la trayectoria del precio de Bitcoin, las mezclas de energía y geografía de los mineros, la economía de los mineros, la participación de la minería fuera de la red, el precio promedio de la electricidad disponible para los mineros y el volumen de comisiones de transacción.

Sin embargo, incluso en nuestro escenario más agresivo, de precio alto, en el que Bitcoin alcanza los $10 billones para 2030, sus emisiones representan solo el 0.9 % del total mundial, y su consumo energético es solo el 0.4 % del total global. Estas cifras se calcularon sin considerar la aceleración observable en el uso de compensaciones, energía renovable, certificados de energía renovable y energía desperdiciada.

La minería de Bitcoin también puede tener beneficios auxiliares materiales. Debido a que la minería de Bitcoin representa una carga altamente interrumpible, los mineros pueden apagar sus máquinas en poco tiempo durante los picos de demanda, generando así un excedente que otros consumidores de la red pueden aprovechar. A medida que las redes incorporan más energía solar y eólica, los mineros de Bitcoin pueden ayudar a suavizar el suministro errático de energía solar y eólica. De hecho, los mineros en ciertas redes han comenzado a optar por programas de respuesta a la demanda.

Además, dado que la minería de Bitcoin es altamente portátil y modularizable y funciona en cualquier parte del mundo debido a la ubicuidad de Internet satelital, puede ayudar a monetizar nuevos activos energéticos incluso antes de que estos se integren completamente a la red. Como "compradores de primera instancia", los mineros de Bitcoin tienen el potencial de mejorar la economía de nuevos proyectos de energías renovables al proporcionar una toma flexible e inmediata.

En general, las perspectivas para la descarbonización de la minería de Bitcoin en las próximas décadas son bastante prometedoras. Mientras tanto, en un contexto de creciente vigilancia financiera e inestabilidad monetaria global, el caso de Bitcoin como refugio monetario y red de liquidación neutral se fortalece cada vez más.

Apéndice 1: Bitcoin 101

¿Qué es Bitcoin?

Bitcoin es una criptomoneda, una forma de dinero digital que existe solo en formato electrónico. Cada bitcoin es esencialmente un archivo informático almacenado en una billetera digital en una computadora o teléfono inteligente.

El concepto de Bitcoin fue introducido en 2008 en un documento titulado "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System" (Bitcoin: Un sistema de efectivo electrónico entre iguales) y publicado bajo el seudónimo de Satoshi Nakamoto. La identidad de Nakamoto, y si Nakamoto es una persona o un grupo de personas, sigue siendo desconocida. El documento detallaba cómo funcionaría Bitcoin (el "protocolo de Bitcoin"), y el primer Bitcoin fue acuñado el 3 de enero de 2009. Desde su creación, el precio de Bitcoin ha crecido sustancialmente. Cruzó el umbral de $1 en febrero de 2011, luego alcanzó los $1,000 en noviembre de 2013 y los $10,000 en noviembre de 2017. Subió rápidamente a un pico de $63,500 en abril de 2021, antes de caer a alrededor de $35,000 después de la represión de la minería en China (ver Recuadro 4).

Bitcoin fue diseñado para tener finalmente una oferta finita de 21 millones de bitcoins, por lo que nunca podrán haber más de 21 millones de bitcoins en circulación. Esto hace que Bitcoin sea un recurso escaso, ya que tiene un suministro limitado. Se espera que el último bitcoin sea minado en 2140.

¿Cómo funciona Bitcoin?

Dado que Bitcoin es una forma de dinero, comparte varias características con las monedas tradicionales fiduciarias, como el dólar y el euro. Por ejemplo, es un medio para intercambiar dinero entre dos partes y para almacenar valor. Sin embargo, Bitcoin y las monedas fiduciarias tienen diferencias significativas. Las monedas fiduciarias son centralizadas. Son emitidas por los gobiernos nacionales y dependen de intermediarios – especialmente bancos y procesadores de pagos como Paypal y Visa – para registrar y verificar las transacciones entre dos partes.

En cambio, Bitcoin es una moneda descentralizada. Los bitcoins no son emitidos por una sola entidad, y Bitcoin no depende de intermediarios para registrar y verificar las transacciones. En lugar de eso, el mecanismo de emisión está incorporado en el protocolo de Bitcoin, y las transacciones de Bitcoin se registran y verifican en un libro mayor público y distribuido conocido como blockchain. La blockchain está instalada en miles de computadoras de participantes individuales en todo el mundo, conocidos como 'nodos', lo que asegura que ningún individuo o empresa pueda controlarla. La blockchain está compuesta por una cadena de bloques, donde un bloque se refiere a un conjunto de transacciones de Bitcoin de un periodo determinado.

La red de Bitcoin no tiene una autoridad central, como un banco, para agregar nuevos bloques a la blockchain y verificar las transacciones para asegurar que no haya 'doble gasto' – es decir, para asegurarse de que un titular de bitcoins no los use para pagar más de una transacción. En su lugar, todas las transacciones son registradas y verificadas a través del mecanismo de 'prueba de trabajo'. Esto otorga a los participantes que resuelven complejos problemas matemáticos el derecho de agregar el siguiente bloque de transacciones a la blockchain. Resolver los problemas generalmente requiere una gran inversión de recursos computacionales – y, por lo tanto, electricidad Estos participantes competidores se llaman 'mineros' o 'nodos de minería', porque el proceso de agregar nuevos bloques a la blockchain se conoce como minería de Bitcoin. La mayoría usa computadoras especializadas y de alto rendimiento.

Mientras que los nodos de minería exitosos agregan bloques a la blockchain, otros nodos no mineros verifican que los bloques añadidos sean válidos y estén alineados con el protocolo de Bitcoin. Estos nodos no mineros requieren muchos menos recursos.

Los complejos problemas matemáticos solo se pueden resolver mediante prueba y error. El número que los mineros están resolviendo se llama 'nonce', y cada intento de adivinar el número se conoce como un 'hash'. Cada hash tiene la misma probabilidad de entregar la solución correcta – similar a una lotería. El minero más rápido en resolver el problema agrega un nuevo bloque de transacciones verificadas a la blockchain. Las transacciones no confirmadas esperan en la 'memoria pool' de Bitcoin, o 'mempool' para abreviar, que es esencialmente una sala de espera. Después de la confirmación, las transacciones forman parte de un bloque.

El protocolo de Bitcoin está configurado con un objetivo de minar un nuevo bloque cada 10 minutos, en promedio. Si el número de mineros que compiten para resolver los problemas matemáticos aumenta, entonces el 'hashrate' (el número total de cálculos por unidad de tiempo) aumenta, y el tiempo para minar bloques disminuirá. De manera similar, si el número de mineros disminuye, el hashrate disminuye, y el problema matemático tomará más tiempo para resolverse. Por lo tanto, para mantener un tiempo de bloque objetivo de 10 minutos, el protocolo de Bitcoin está programado para ajustar automáticamente el nivel de dificultad de los problemas matemáticos aproximadamente cada dos semanas. Esto se conoce como el 'ajuste de dificultad'. Este es un factor crítico que impulsa el consumo de electricidad, ya que cuanto más difícil sea el protocolo de dificultad, más electricidad se requiere para apoyar la red de Bitcoin.

Los mineros de Bitcoin son recompensados con bitcoins por su trabajo en la creación de un nuevo bloque de transacciones verificadas. Esta recompensa del bloque viene en dos formas: primero, a través de un 'subsidio de bloque', que consiste en nuevos bitcoins emitidos; y segundo, a través de 'comisiones de transacción', que son pagadas por las partes que realizan transacciones de Bitcoin para incentivar a los mineros a incluir su transacción en el siguiente bloque. El subsidio de bloque está predeterminado por el protocolo de Bitcoin. Comenzó con 50 bitcoins (BTC) y se reduce a la mitad cada 210,000 bloques (aproximadamente cada cuatro años), un proceso que continuará hasta que todos los 21 millones de bitcoins hayan sido minados. Este proceso se conoce como 'halving'. El subsidio de bloque de Bitcoin se ha reducido a la mitad tres veces desde la creación de Bitcoin: a 25 BTC en 2012, 12.5 BTC en 2016, y 6.25 BTC en 2020. El próximo halving ocurrirá en 2024. Las comisiones de transacción varían y dependen del tamaño de la transacción y de cuán congestionada esté la red con transacciones: las comisiones aumentan durante los períodos de alto volumen. Las transacciones con una comisión más alta tienen más probabilidades de ser incluidas en el siguiente bloque.

El modelo de prueba de trabajo agrega un costo real a las nuevas entradas en el libro mayor. Estas se supone que consisten en una única historia lineal de transacciones verificadas en la blockchain que los usuarios pueden confiar en que no será revertida. Esto se conoce como la historia de transacciones 'canónica'. Si un minero actúa de manera incorrecta – ya sea produciendo bloques no válidos o creando cadenas alternativas ramificadas que no construyen sobre la historia canónica – ese minero es castigado con la pérdida de la recompensa del bloque. Pero los mineros trabajan arduamente para ganar esta recompensa. Usan computadoras especializadas y de alto rendimiento, cuyo valor proviene de las recompensas de bloque ganadas durante su vida útil. Por lo tanto, los mineros tienen un motivo económico extremadamente fuerte para ser honestos y construir una única historia lineal de transacciones verificadas en la blockchain que los usuarios puedan confiar en que no será revertida. Así, el costo económico asociado a los bloques (expresado en forma de electricidad y recursos computacionales gastados) mantiene a los mineros en cheque.

Como tal, el mecanismo de prueba de trabajo incorporado en el proceso de minería actúa para verificar las transacciones de Bitcoin y emitir nuevos bitcoins. Ninguna entidad única coordina a estos mineros. En cambio, el protocolo de Bitcoin – en particular los incentivos económicos establecidos por la prueba de trabajo – mantiene el sistema en funcionamiento. Da a los usuarios confianza en que sus transacciones serán añadidas a la blockchain y que la blockchain finalmente convergerá en una única y final historia lineal de transacciones.

Apéndice 2:

Índice de Adopción de Criptomonedas y otros indicadores socioeconómicos clave

2021

PAÍS	ÍNDICE DE ADOPCIÓN DE CRIPTOMONEDAS NETO*	POBLACIÓN	PIB PPP/ PER CÁPITA (USD)	TASA DE INFLACIÓN	ÍÍNDICE DE DEMOCRACIA (1-10)**	INTEGRIDAD DEL GOBIERNO (0-100)	DERECHOS DE PROPIEDAD (0-100)	LIBERTAD FINANCIERA (0-100)	LIBERTAD MONETARIA (0-100)	LIBERTAD DE INVERSIÓN (0-100)
Vietnam	1.000	97,338,579	$7,969	3%	2.94	33.8	52.6	50	68.2	40
India	0.370	1,380,004,385	$6,634	5%	6.61	47.2	63	40	73	40
Pakistán	0.360	220,892,340	$4,599	10%	4.31	29.7	48.3	40	72.5	55
Ucrania	0.290	43,733,762	$12,311	10%	5.81	37.9	47.5	30	63	35
Kenia	0.280	53,771,296	$4,233	6%	5.05	28.2	63.2	50	75	55
Nigeria	0,26	206,139,589	$5,007	18%	4.10	22.3	38.1	40	61.7	45
Venezuela	0.250	28,435,940	$9,462	2831%	2.76	14.6	10.1	10	0	0
Estados Unidos	0.220	331,002,651	$62,008	5%	7.92	77.2	81.8	80	75.5	85
Togo	0.190	8,278,724	$1,559	3%	2.80	31.2	41.6	30	79.5	65
Argentina	0.190	45,195,774	$21,938	48%	6.95	49.7	50.5	60	53.7	55
Colombia	0.190	50,882,891	$14,565	3%	7.04	46.1	61.1	70	77.5	80
Tailandia	0.160	69,799,978	$18,414	2%	6.04	43.4	59.5	60	74	55
China	0.160	1,439,323,776	$15,651	1%	2.27	46	60.9	20	71.1	20
Brasil	0.160	212,559,417	$14,548	8%	6.92	45.6	57.3	50	77.2	60
Filipinas	0.160	109,581,078	$8,789	4%	6.56	38.7	54.6	60	66.9	60
Sudáfrica	0.140	59,308,690	$12,324	5%	7.05	46.6	58.4	50	75.9	45
Ghana	0.140	31,072,940	$5,299	8%	6.50	32.2	52.5	60	68.9	70
Rusia	0.130	145,934,462	$27,192	6%	3.31	41.3	56.8	30	68.2	30
Tanzania	0.130	59,734,218	$2,508	3%	5.10	32.5	41.9	50	72.2	55
Afganistán	0.130	38,928,346	$2,018	0%	2.85	24.8	48.3	10	81	10
Promedio de los 10 principales			**$13,572**		**4.93**	**37.18**	**49.67**	**43.00**	**62.21**	**47.50**
Promedio de los 20 principales			**$12,851**		**5.14**	**38.45**	**52.40**	**44.50**	**67.75**	**48.00**
Promedio global			**$18,381**		**5.37**	**43.76**	**56.64**	**48.95**	**74.65**	**57.20**

* Índice de Adopción Global de Criptomonedas 2021 de Chainalysis

** Todos los datos relacionados con el índice de gobernanza son cortesía del Índice de Libertad Económica de Heritage.org (2020)

Notas al pie

1 http://www.ipsnews.net/2002/06/argentina-small-savers-are-the-big-losers/

2 According to the Argentine economist Bernando Kliksberg – see https://core.ac.uk/download/pdf/73534.pdf

3 In the 2020 Statista index of per capita cryptocurrency adoption, Argentina places ninth, with 14.4 percent of respondents indicating owning cryptocurrency: https://www.statista.com/statistics/1202468/global-cryptocurrency-ownership/

4 https://www.coindesk.com/argentinas-ripio-acquires-second-largest-crypto-exchange-in-brazil

5 https://www.nytimes.com/2018/05/23/world/asia/turkey-lira-erdogan.html

6 https://www.theguardian.com/world/2018/aug/13/how-serious-is-turkeys-lira-crisis-and-what-are-the-implications

7 https://www.dailysabah.com/business/finance/collapses-of-exchanges-vs-turkish-crypto-boom

8 https://www.theguardian.com/world/2021/mar/21/turkish-lira-could-plunge-15-as-erdogan-faces-market-wrath-for-sacking-bank-chief

9 Some data points here: https://www.economist.com/middle-east-and-africa/2019/10/05/a-long-feared-currency-crisis-has-begun-to-bite-in-lebanon

10 https://www.ft.com/content/df234c78-a945-4199-befe-0272259dc755

11 https://www.npr.org/2021/07/12/1015337240/the-economic-crisis-in-lebanon-may-be-one-of-the-worst-in-the-world-since-the-18

12 https://www.nbcnews.com/news/world/there-no-future-here-lebanese-struggle-through-economic-collapse-n1273741

13 https://www.worldbank.org/en/country/lebanon/publication/lebanon-economic-monitor-spring-2021-lebanon-sinking-to-the-top-3

14 https://www.nbcnews.com/news/world/there-no-future-here-lebanese-struggle-through-economic-collapse-n1273741

15 https://www.coindesk.com/how-bitcoin-fits-into-lebanons-banking-crisis

16 https://blogs.lse.ac.uk/latamcaribbean/2021/02/10/day-zero-how-and-why-cuba-unified-its-dual-currency-system/

17 https://www.reuters.com/world/americas/explainer-how-cubas-monetary-reform-will-take-place-impact-economy-2020-12-11/

18 https://www.reuters.com/article/us-cuba-economy-analysis/analysis-cubas-looming-monetary-reform-sparks-confusion-inflation-fears-idUSKBN29418I

19 https://www.reuters.com/world/americas/roaring-inflation-compounds-cubans-economic-woes-2021-06-16/

20 https://www.reuters.com/world/africa/nigerias-annual-inflation-hit-more-than-4-year-high-march-2021-04-15/

21 https://www.statista.com/statistics/383132/inflation-rate-in-nigeria/

22 https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-05-25/nigeria-devalues-naira-on-migration-to-single-exchange-rate

23 https://dlocal.com/blog/markets-consumers/central-bank-of-nigeria-introduces-currency-controls-and-spending-limits/

24 https://www.statista.com/chart/18345/crypto-currency-adoption/

25 https://www.coindesk.com/crypto-booming-in-nigeria-despite-banking-ban

26 https://www.theguardian.com/technology/2021/jul/31/out-of-control-and-rising-why-bitcoin-has-nigerias-government-in-a-panic

27 Hanke and Krus table

28 https://qz.com/1096237/deutsche-bank-analysis-on-the-frequency-of-financial-crises/

29 https://www.frbsf.org/economic-research/files/wp11-22bk.pdf

30 Reuters 27/06/2017 https://www.reuters.com/article/us-usa-fed-yellen-idUSKBN19I2I5

31 https://www.ft.com/content/664c575b-0f54-44e5-ab78-2fd30ef213cb

32 https://www.bloomberg.com/news/newsletters/2021-07-09/what-s-happening-in-the-world-economy-the-central-bankers-of-everything

33 https://www.spglobal.com/ratings/en/research/articles/210412-default-transition-and-recovery-2020-annual-sovereign-default-and-rating-transition-study-11888070#:~:text=From percent202010 percent20to percent202020 percent2C percent20sovereign,per percent20year percent20in percent201999 percent2D2009

34 HRF

35 This is equivalent to 16 percent of all the gold held for investment purposes, assuming 74,000 metric tons of gold held in bullion, by central banks, or used to back exchange-traded products, or six times all the silver held by investors

36 CM data

37 https://www.jbs.cam.ac.uk/faculty-research/centres/alternative-finance/publications/3rd-global-cryptoasset-benchmarking-study/

38 https://www.coinbase.com/about

39 https://www.newsweek.com/46-million-americans-now-own-bitcoin-crypto-goes-mainstream-1590639

40 https://assets.ctfassets.net/hfgyig42jimx/5u8QqK4lqjEgL506mOx4m3/d44d8e204aecfc75a839e2a9d505f5d1/Crypto.com_Data_Report_-_On-chain_Market_Sizing.pdf

41 Source: Chainalysis Global Crypto Adoption Index

42 See Hasu and Su Zhu (https://medium.com/@hasufly/bitcoin-and-the-promise-of-independent-property-rights-8f10e5c7efa8) and Ark Invest (https://ark-invest.com/white-papers/bitcoin-part-one/)

43 For a formal version of the argument see Yermack, Raskin, and Saleh https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3437529

44 https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS

45 https://www.iea.org/news/air-conditioning-use-emerges-as-one-of-the-key-drivers-of-global-electricity-demand-growth

46 Source: IEA World Energy Outlook 2020

47 Source: World Bank

48 Source: IEA 2018 Energy Balances for World

49 Source: IEA World Energy Outlook 2020

50 Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI) Mining Equipment List

51 Certain machine classes (namely Antminer S7s and S9s) leave a signature within the nonce data of every block they mine. By analysing the nonce data of every mined block, it is possible to estimate the proportion of blocks mined by these machine classes, and by extension their share of hashrate

52 Source: survey of mining location conducted by the Cambridge Centre for Alternative Finance. This dataset aggregates data from mining pools representing 32-37 percent of Bitcoin's total hashrate for the period January to December 2020

53 This includes mining, milling, smelting, and refining gold and includes indirect electricity emissions

54 Caps tested were 0.6 percent (lower bound ensuring spread across all attractive countries), 1 percent (average proportion currently observed from Cambridge Centre for Alternative Finance data) and 3.5 percent (max proportion currently observed from Cambridge data, which is in Kazakhstan)

55 Source: National Energy Administration of China

56 Source: BitRiver

57 Source: Hydropower of Russia Association

58 Source: IPCC Assessment Report 5, Working Group 1, Chapter 8: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing

Traducido por
21 MILLONES
BTC.COM

DIVULGACIONES

Este informe ha sido preparado únicamente con fines informativos y no representa asesoramiento de inversión ni proporciona una opinión sobre la equidad de cualquier transacción para ninguna de las partes, ni constituye una oferta, solicitud o recomendación para comprar o vender cualquier valor o instrumento en particular, ni adoptar ninguna estrategia de inversión. Los gráficos y las tablas proporcionadas en este informe son solo para fines ilustrativos. Este informe no representa juicios de valoración con respecto a ningún instrumento financiero, emisor, valor o sector que pueda ser descrito o referenciado aquí, y no representa una vista formal u oficial de New York Digital Investment Group o sus afiliados ("NYDIG").

No debe asumirse que NYDIG realizará recomendaciones de inversión en el futuro que sean consistentes con las opiniones expresadas en este informe, ni que utilizará alguna o todas las técnicas o métodos de análisis descritos en el mismo para gestionar las cuentas de los clientes. NYDIG puede tener posiciones (largas o cortas) o participar en transacciones de valores que no sean consistentes con la información y las opiniones expresadas en este informe.

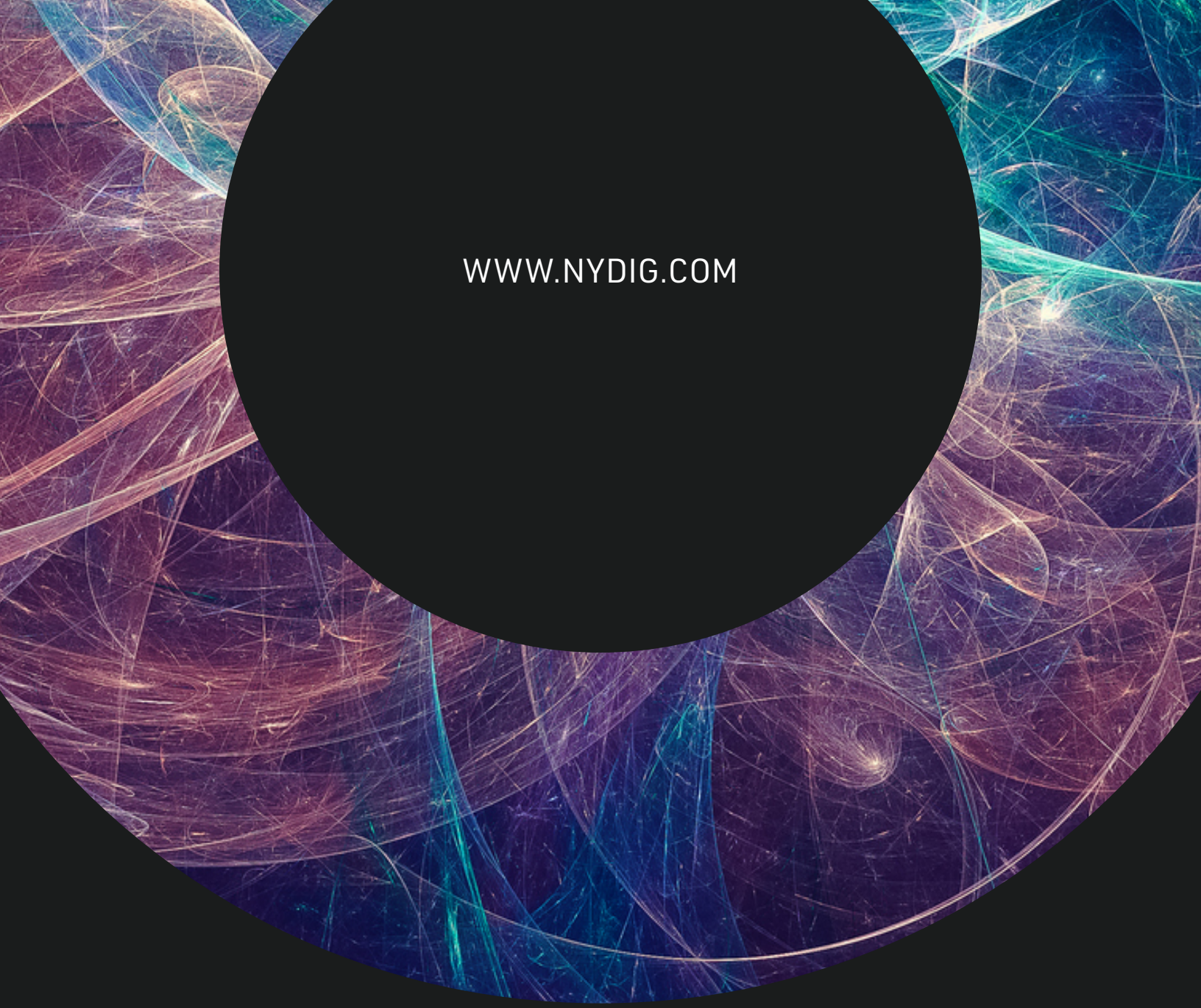
No se puede garantizar que cualquier estrategia o técnica de inversión sea exitosa. Las tendencias históricas del mercado no son indicadores confiables del comportamiento real futuro del mercado ni del rendimiento futuro de ninguna inversión en particular, que puede diferir materialmente, y no deben ser confiadas como tales. Las asignaciones recomendadas o previstas contenidas en este informe están sujetas a cambios. No hay garantía de que tales asignaciones produzcan los resultados deseados. Las estrategias, técnicas o filosofías de inversión discutidas aquí pueden no ser adecuadas para los inversionistas, dependiendo de sus objetivos de inversión específicos y su situación financiera.

La información proporcionada aquí es válida únicamente para el propósito indicado en el presente y a partir de la fecha del presente (o de otra fecha que se pueda indicar en el informe) y no se ha asumido ningún compromiso de actualizar la información, que puede ser reemplazada por eventos de mercado posteriores o por otras razones. La información en este informe puede contener declaraciones prospectivas sobre eventos futuros, objetivos o expectativas con respecto a las estrategias, técnicas o filosofías de inversión descritas aquí. NYDIG no asume ninguna obligación de actualizar ninguna declaración prospectiva. No se garantiza que los eventos o objetivos prospectivos se logren, y los resultados reales pueden ser significativamente diferentes de los mostrados en este informe. La información en este informe, incluidas las declaraciones sobre las tendencias del mercado financiero, se basa en las condiciones actuales del mercado, las cuales fluctuarán y pueden ser reemplazadas por eventos de mercado posteriores o por otras razones.

La información proporcionada por otros, sobre la cual se basa todo o parte de este informe, proviene de fuentes que se consideran confiables. Sin embargo, NYDIG no hace ninguna declaración sobre la exactitud, adecuación o integridad de dicha información y ha aceptado la información sin más verificación. No se da garantía sobre la exactitud, adecuación o integridad de dicha información. No se asume ninguna responsabilidad por los cambios en las condiciones del mercado, las leyes o regulaciones, y no se asume ninguna obligación de revisar este informe para reflejar los cambios, eventos o condiciones que ocurran después de la fecha del presente.

Nada de lo contenido aquí constituye asesoramiento de inversión, legal, fiscal o de otro tipo, ni debe ser confiado para tomar decisiones de inversión o de otro tipo. El asesoramiento legal solo puede ser proporcionado por un abogado. Antes de decidir proceder con cualquier inversión, los inversionistas deben revisar todas las consideraciones relevantes de inversión y consultar con sus propios asesores. Cualquier decisión de invertir debe ser tomada únicamente con base en los documentos definitivos de oferta para la inversión. NYDIG no tendrá ninguna responsabilidad frente a ningún tercero en relación con este informe o las acciones tomadas o decisiones hechas como consecuencia de la información aquí contenida. Al aceptar este informe en su totalidad, el receptor reconoce su comprensión y aceptación de los términos anteriores.

Traducido por
21 MILLONES
BTC.COM



WWW.NYDIG.COM

NYDIG