



**Universidad de San Andrés**  
**Departamento de economía**  
**Licenciatura de economía**

*El minado del Bitcoin: un primer análisis sobre su  
evolución, impacto ambiental y alternativas.*

Autor: Ignacio Colombetti

Legajo: 29041

Mentor: Alan Acosta

# Índice

## **1. Introducción**

## **2. Principales Características del Bitcoin**

2.1 Descentralización

2.2 Anonimidad

2.3 Funcionamiento del protocolo *proof of work*

## **3. Evolución del minado**

3.1 De pasatiempo a industria

3.2 La minería centralizada del dinero descentralizado

## **4. El uso de recursos**

4.1 Efecto del precio del Bitcoin en el consumo energético

4.2 Impacto ambiental

4.3 *Proof of stake* y otras alternativas

4.4 Oro digital y oro físico

## **5. Limitaciones**

## **6. Conclusiones**

## **7. Lista de figuras**

## **8. Bibliografía**

## Resumen

La validación de las transacciones de Bitcoins es efectuada mediante el proceso de “minería” donde se resuelven problemas criptográficos utilizando poder computacional y energía. El objetivo de este trabajo será hacer un primer análisis de la evolución del minado del Bitcoin y comparar sus costos con los de otras alternativas. Los resultados indican que a pesar de que existieron mejoras de la eficiencia de las tecnologías de minado en términos de energía, cuando se lo compara con el minado del oro y las transacciones de Visa o Ethereum, el Bitcoin es menos eficiente que sus alternativas y genera un impacto ambiental mayor.



Universidad de  
**San Andrés**

## 1. Introducción

El fenómeno de la digitalización ha transformando no solo las formas de intercambiar bienes mediante el comercio electrónico, sino que también ha introducido novedosas herramientas financieras. Dentro de estos cambios, a partir de 2009, una serie de proyectos empezaron la digitalización del dinero descentralizada con la introducción de las criptomonedas.

El Bitcoin fue el pionero de estas nuevas tecnologías que permiten intercambiar valor entre personas de manera descentralizada. En este sentido, resulta pertinente explicar qué se entiende por descentralizado, ya que es la principal característica que la distingue. Según Dabdoub, esto implica que: “No existe una autoridad reguladora o gestora de la moneda, está diseñada de tal manera que ningún servidor o autoridad central controla la moneda ni su emisión” (Dabdoub, 2017). Este funcionamiento sin ningún intermediario se debe a que las transacciones del sistema del Bitcoin son verificadas por una red de “minadores”, individuos que compiten entre sí para resolver problemas criptográficos mediante el uso de fuerza computacional. Durante este proceso, su esfuerzo se ve recompensado con ciertas cantidades de Bitcoins garantizando la seguridad de la red, descartando aquellas transacciones que no se confirmaron previamente.

De todas maneras, el protocolo de esta criptomoneda promete un nivel de seguridad que, al estar fuera de la regulación del Gobierno o las entidades financieras, resulta muy atractivo para muchos inversores que perdieron confianza en el sistema bancario luego de la crisis financiera del 2008 o experimentaron pérdidas de capital a través del impuesto inflacionario de los bancos centrales. Estas características le han permitido al Bitcoin tener una adaptación enorme en muy poco tiempo, se trata del activo que en más rápido alcanzó una capitalización de mercado de mil millones de dólares<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Véase “Bitcoin hit \$1trn market cap faster than Apple, Amazon and Google”. 14 de abril del 2021. Disponible en: <https://finance.yahoo.com/news/bitcoin-price-1-trillion-market-cap-faster-apple-amazon-google-microsoft-tesla>.

Esta creciente popularidad no sucede únicamente por un aumento en la cantidad de inversores sino por la enorme adaptación de las criptomonedas al sistema financiero tradicional. Debido a los altos golpes disruptivos que tienen las criptomonedas en los mercados y los sistemas financieros, diversos investigadores han intentado explicar su comportamiento a partir de la teoría económica y financiera. Sin embargo, las investigaciones han puesto poco foco en cómo fue cambiando la industria de la minería y su uso de recursos energéticos.

El objetivo general, entonces, será hacer un primer análisis de la evolución del minado del Bitcoin y comparar sus costos con los de otras alternativas. El trabajo está organizado de la siguiente manera, en primer lugar, en la sección 2 se hace una descripción sobre las principales características del Bitcoin, enfocándose en el funcionamiento de la minería con el fin de entender de dónde surge su uso de recursos. En la sección 3 se exponen las razones por las que la minería pasó de ser un simple pasatiempo a una industria millonaria. Para esto, se analiza cómo se fueron creando las economías de escala de la misma. Se hace énfasis en la evolución de la tecnología de minado, explicando cómo fue mejorando la eficiencia en términos de tiempo y gasto energético. Además, se identifica como es el desplazamiento de la industria a países con energía más barata y condiciones geográficas más favorables en términos de temperatura. Luego, dado los cambios en la industria, resulta pertinente estudiar la distribución del poder de mercado. Por último, en la sección 4, poniendo foco en la cantidad de recursos utilizados para la minería, a partir de literatura relevante, se analiza el impacto ambiental teniendo en cuenta los efectos que tuvieron los cambios en el precio. A su vez, se analizan las propuestas dentro del ecosistema de las criptomonedas como soluciones que usan menos gasto energético como *el proof of stake*.

## **2. Principales características del Bitcoin**

En la siguiente sección, profundizaremos sobre las principales características del Bitcoin. En primer lugar, lo haremos respecto a su aspecto más importante, la descentralización. En segundo lugar, explicaremos su carácter anónimo, con el objetivo de esclarecer algunos mitos sobre sus usos ilegales. Finalmente, ahondaremos en el funcionamiento del protocolo. Una vez explicados estos rasgos, podremos entender cuál es el objetivo principal del Bitcoin, lo que nos permitirá tener las herramientas para explorar sobre su consumo de recursos energéticos.

### **2.1 Descentralización**

Desde sus primeras implementaciones, las transacciones en línea de bienes y servicios han dependido de instituciones financieras que procesen y validen esos pagos. Esta mediación por parte de un tercero genera costos de transacción para gestionar pagos frente a los posibles errores del sistema contable o los intentos de fraude (Nakamoto, 2008). En la actualidad, estos tipos de problemas son evitables usando dinero fiat, es decir, dinero que existe por decreto estatal y no tiene respaldo en ningún metal. El dinero fiat está definido por dos aspectos: su falta de valor intrínseco y su inconvertibilidad. El primero implica que el dinero fiat no genera utilidad como bien de consumo. Por otra parte, el segundo se refiere a que el tenedor de dinero no recibe otro bien ni otra cantidad nominal distinta en el futuro (Wallace, 1980). Sin embargo, este tipo de dinero genera riesgos para los tenedores, quienes pueden sufrir una pérdida del valor real de sus saldos monetarios como consecuencia de un shock en la oferta de dinero o en las expectativas de los demás agentes de la economía.

Ya sea a través de dinero fiat o de monedas en línea, en ambos casos se requiere un grado de confianza en las instituciones que las emiten y las gestionan. En consecuencia, los sistemas monetarios son vulnerables a crisis de credibilidad, que pueden comprometer su capacidad de pago y solvencia.

El creador del Bitcoin, Satoshi Nakamoto, identificó este requisito de credibilidad como la principal debilidad de los métodos contables modernos:

The root problem with conventional currency is all the trust that's required to make it work. The central bank must be trusted not to debase the currency, but the history of fiat currencies is full of breaches of that trust. Banks must be trusted to hold our money and transfer it electronically, but they lend it out in waves of credit bubbles with barely a fraction in reserve. We have to trust them with our privacy, trust them not to let identity thieves drain our accounts. Their massive overhead costs make micropayments impossible (Nakamoto, 2009<sup>2</sup>).

El Bitcoin se creó en 2009, cuando las consecuencias de la crisis financiera había generado una alta incertidumbre económica, desconfianza en la manera en que las instituciones bancarias ejercen su modelo de negocio y en la capacidad del Gobierno para supervisarlas. En este contexto, esta criptomoneda introduce una mejora tecnológica con el diseño de una práctica descentralizada que permite superar la necesidad de instituciones financieras y sus costos asociados a la actividad de gestión y monitoreo de transacciones<sup>3</sup>.

Universidad de  
San Andrés

---

<sup>2</sup> Citado por la P2P Foundation, 2009.

Recuperado de: <https://p2pfoundation.ning.com/m/discussion?id=2003008%3ATopic%3A9402>  
(accedido el 5/31/2022)

<sup>3</sup> La teoría económica se ha ocupado de estudiar este tipo de modificaciones de los sistemas monetarios. Hicks (1967) argumentó que todas las evoluciones que ha tenido el dinero está ligada a la intención de reducir los costos de transacción en los métodos de intercambio.

## 2.2 Anonimidad

Debido a que el Bitcoin no depende de una entidad central, las transacciones entre individuos quedan registradas mediante recursos criptográficos que garantizan un cierto grado de anonimidad a todos los integrantes de la red. En vez de usar su identidad real para acceder a la red Bitcoin, el sistema ofrece una “clave pública” y una “clave privada”, estas actúan como una identificación virtual para que se realicen las transacciones. La clave pública es aquella que es compartida con otros usuarios para identificarse en la red y la clave privada funciona como contraseña, que al ser correctamente proporcionada, autoriza al usuario a transferir unidades de Bitcoins. Sin embargo, este diseño no quiere decir que el sistema Bitcoin sea completamente anónimo, sino que la identificación real es reemplazada por pseudónimos. Es decir, que si bien no se conoce la identidad de quien envía Bitcoins y la de quien los recibe, las transacciones son públicas para toda la red. En consecuencia, existe la posibilidad de vincular a una persona o entidad a una clave pública mediante el rastreo de transacciones<sup>4</sup>.

El uso de recursos criptográficos de manera descentralizada otorga un grado de seguridad sin precedentes, donde la falta de identificación real entre los usuarios no genera un riesgo de fraude ya que el el Bitcoin funciona como un instrumento monetario que soluciona el problema del "double spending". Este problema es el principal desafío al que se encuentra una moneda virtual descentralizada y puede definirse de la siguiente manera:

A potential flaw in a cryptocurrency or other digital cash scheme whereby the same single digital token can be spent more than once, and this is possible because a digital token consists of a digital file that can be duplicated or falsified. (Cahoan, 2021)

---

<sup>4</sup> Este tipo de rastreos fueron usados para encontrar las identidades de los responsables del ciberataque a la “Colonial Pipeline”, que puso en pausa el funcionamiento de la infraestructura petrolera de los Estados Unidos en mayo del 2021.



Esto implica que el sistema está diseñado para que sea imposible usar una misma suma de BTC en varios lugares a la vez, sin la necesidad de un tercero que verifique las transacciones o las identidades reales de los usuarios, generando una clara ventaja frente a los sistemas de pagos tradicionales que están expuestos al riesgo de fraude o un error de monitoreo.

### **2.3 Funcionamiento del protocolo *proof of work***

El protocolo del Bitcoin usa el tipo de red *peer to peer* (P2P), donde no existe un servidor fijo sino que todos los usuarios son nodos interconectados que actúan como clientes y servidores en simultáneo. Bajo este sistema, las transacciones de Bitcoins se registran en un sistema de contabilidad pública conocido como cadena de bloque o *blockchain*<sup>5</sup>. Las cadenas de bloques son actualizadas con las nuevas transacciones y enviadas a todos los nodos del sistema Bitcoin, y se asegura que todos tengan la misma información del registro de transacciones anteriores. La validación es efectuada mediante el proceso de “minería”, en donde cada bloque que contenga nuevas transacciones será aceptado por el resto de los miembros de la red si se crea un *hash* correcto, es decir, un algoritmo criptográfico que se vincule correctamente a los demás bloques. Conseguir el *hash* correcto requiere que se resuelvan problemas criptográficos mediante un alto uso de fuerza computacional. Este proceso es conocido como *proof of work* y genera un consenso entre los nodos de la red respecto a la validación de transacciones. Una vez que el bloque se valida correctamente y se agrega a la *blockchain*, los mineros son recompensados por este esfuerzo. De esta manera, los mineros tienen incentivos para aportar su esfuerzo computacional en la validación de las transacciones debido a que el sistema le otorga un cantidad de BTC, además de una tarifa de la transacción pagada por los usuarios. El monto de recompensa no es constante, debido a que el sistema actualiza la dificultad del problema criptográfico cada 2016 bloques para que el tiempo promedio de procesamiento de cada bloque sea de 10 minutos.

---

<sup>5</sup> <https://bitcoin.org/es/como-funciona> (accedido el 5/31/2022)

Como puede verse en el *gráfico 1*, la evolución de la dificultad del minado desde 2017 hasta 2022, es creciente. Esto se debe a que va aumentando a medida que se van sumando otros nodos a la red, en consecuencia, la cantidad de *hash* que se necesitan para encontrar la solución correcta al problema criptográfico asociado a un bloque de la cadena es mayor, es decir, se precisa más poder computacional necesitado para obtener la recompensa. De hecho, en la actualidad, la dificultad de estos problemas es tan alta que su resolución se hace de manera conjunta entre varios minadores, quienes reciben su cantidades de Bitcoin dependiendo del esfuerzo computacional que aportaron.



Gráfico 1. Dificultad del minado del Bitcoin desde 2017 hasta 2022. Elaboración propia.

La cantidad de Bitcoins otorgados como recompensa a los mineros no es infinita, ya que el ritmo de emisión está determinado por un algoritmo de conocimiento público entre los usuarios, es decir, que la criptomoneda cuenta con una oferta monetaria automática. El protocolo permite hasta la creación de 21 millones de Bitcoins y como puede observarse en *gráfico 2* hasta el momento se han minado 19 millones, en tanto que los otros 2 millones restante se estima que serán minados antes de 2035. Cuando no hayan mas Bitcoins por minar, los incentivos de los minadores estará dado únicamente por la tarifa de transacción pagada por los usuarios

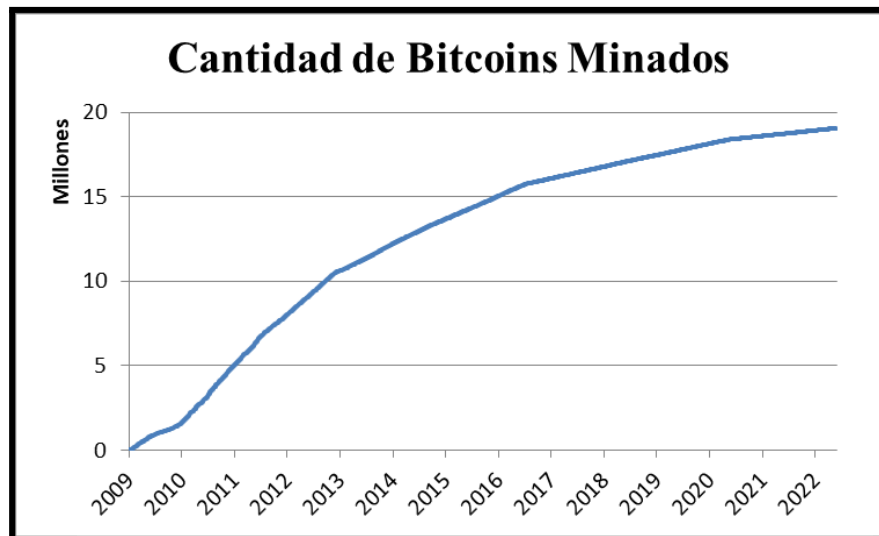


Gráfico 2. Cantidad de Bitcoins minados desde 2009 hasta 2022. Elaboración propia.

Este diseño y el uso de la minería como método de verificación de transacciones hace que sea imposible la manipulación del registro de transacciones del sistema Bitcoin, garantizando que ningún actor pueda modificar una *blockchain* con el objetivo de revertir alguna transacción o usar una misma unidad en dos lugares a la vez. Sin embargo, como estudiaremos en la sección 3, el diseño de recompensas del protocolo genera que la eficiencia del minado de Bitcoin aumente pero, en consecuencia, también lo haga su gasto de recursos total.

### 3. Evolución del minado del Bitcoin

La minería se convirtió en una industria creciente con altas barreras de entrada y un uso de capital intensivo, que usa principalmente unidades de procesamiento y electricidad.

A partir de la explicación del protocolo que se realizó en la sección anterior, resulta pertinente enfocarnos en el efecto que tiene la adicción de nuevos mineros:

#### **El sistema se hace más seguro.**

La minería es el proceso de verificación de transacciones que permite que no se use dos veces una misma unidad de Bitcoin, mientras más mineros se sumen a la red más costoso será “hackearla”, es decir, alterar la blockchain. En la actualidad la cantidad de mineros que forman parte del protocolo es tan alta que unirse a la red tiene una mejor relación costo/beneficio que hackearla<sup>6</sup>.

#### **Aumenta la dificultad de minado.**

El sistema está diseñado para que cada transacción tarde aproximadamente diez minutos en ser verificada, por lo que un aumento en la cantidad de minadores implica una mayor dificultad en los problemas criptográficos que enfrentan.

#### **Mayor gasto de recursos.**

El aumento de los problemas criptográficos, genera que los mineros requerirán un mayor poder computacional para encontrar el *hash* correcto de cada bloque, haciendo mayor el uso de fuerza computacional y electricidad.

---

<sup>6</sup> Esto se debe a que para hacerlo se necesitaría tener control sobre el 51% de los nodos minadores.

### 3.1 De pasatiempo a industria.

En los primeros años en los que circulaban los Bitcoins, como el acceso a la red no está restringido, la minería era realizada de manera doméstica, primero con unidades centrales de procesamiento (CPU) o procesadores gráficos (GPU), sin la intención de hacer una diferencia económica sino más bien como un pasatiempo. Pero con el aumento de la cantidad de nodos en la red, la competitividad de la industria fue creciendo, en simultáneo con la cantidad de recursos necesarios para generar ganancias con la minería. La consolidación del minado como una industria se da con la introducción al mercado de los Circuitos integrados para aplicaciones específicas (ASIC), un hardware que estaba específicamente diseñado para la minería de criptomonedas<sup>7</sup>. Como podemos observar en el *gráfico 3*, estos dispositivos estaban optimizados para brindar a los mineros una mayor posibilidad de encontrar el *hash* correcto de un bloque con un menor gasto de energía, mejorando la eficiencia del proceso y otorgando más ganancias que la minería con placas de video comerciales.



Gráfico 3. Comparación de la tasa de *hash* del minado con CPU, GPU, FPGA y ASIC de 2011 a 2018.

Fuente: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/bitcoin-price-and-hashrate-2010-2018>

<sup>7</sup> También se implementaron el dispositivos de matriz de puertas lógicas programable en campo (FPGA), pero su uso fue rápidamente desplazado por los ASIC.

Este tipo de dispositivos se han vuelto más eficientes en la cantidad de *hash* obtenido en términos de uso de energía y tiempo. Como podemos observar en el *gráfico 4*, de 2009 a 2014 se consolidó el período de mejoras en la tecnología del minado gracias a la introducción de los *ASIC* para la minería, lo cual significó un aumento en la eficiencia del minado de 290 *pentahash* por segundo. KnCMiner, Bitfury y Bitmain se introdujeron como los principales productores con sus modelos *A3218*, *BM1387* y *BF8162C1* y desarrollaron un aumento en la eficiencia de *pentahash* minado por segundo de hasta diez veces que las primeras generaciones de *ASIC*, usando hasta 5 veces menos joules para la misma cantidad de *hash* minado.

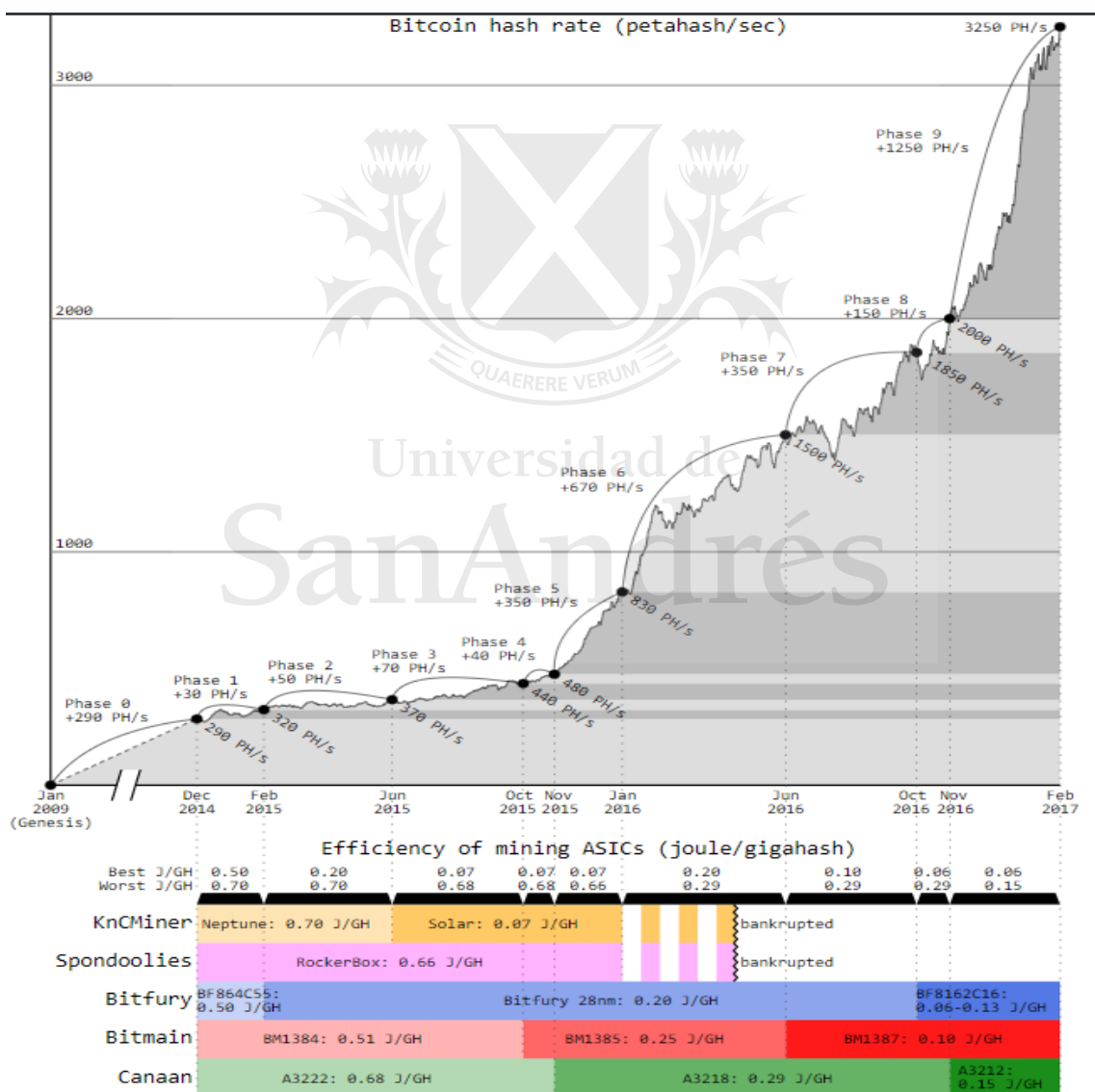


Gráfico 4. Eficiencia de los dispositivos ASIC en términos de Hash minado y uso energético.

Fuente: <http://blog.zorinaq.com/assets/bitcoin-hash-rate-asics-efficiency.svg>

El crecimiento de la industria no sólo genera mejoras en la eficiencia de los procesadores sino también en el uso de la energía. En particular, debido a que enfriar los miles de procesadores tiene un alto costo, los líderes de la industria han relocalizado la minería a países donde las condiciones naturales permiten ahorrar el gasto de enfriamiento o donde la electricidad es más barata. Por ejemplo, Bitfury mudo sus instalaciones a Noruega<sup>8</sup>.

Si bien la actividad se hace en 139 países, la distribución del *hash rate* y el poder computacional está concentrado en países que tienen ventajas en términos de producción de energía. La *figura 1* muestra la distribución de la fuerza computacional de 7205 centros eléctricos en todo el mundo con seis clasificaciones según cuanto porcentaje del *hash rate* tenga. En particular, el 61.8% del poder computacional total del sistema está distribuido en 18 centros de red eléctrica, la mayoría ubicados en China. (Sun et al, 2022).



Figura . Porcentaje del *hash rate* por centro electrico.

Fuente: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-14987-0#article-info>

<sup>8</sup> Véase “Norway Government Welcomes Bitfury to Open \$35 Million Bitcoin Mining Datacenter”. 20 de marzo del 2020. Disponible en: <https://www.ccn.com/norway-government-welcomes-bitfury-to-open-35-million-bitcoin-mining-datacenter/>.

La prohibición de la minería en China genera una búsqueda de alternativas por parte de los mineros. La literatura indica que los mineros están más inclinados a elegir países en Asia Central donde tiene accesos a energía más barata (Sang et al, 2022). Sin embargo, hay poca evidencia de que esta migración está sucediendo, dado que la minería de criptomonedas tiene el diseño para continuar independientemente de las consideraciones sobre su legalidad.

De todas maneras, la creciente y repentina capitalización del mercado del Bitcoin y las rápidas mejoras en la eficiencia de la minería han aumentado enormemente el crecimiento de la industria. Como podemos observar en el *gráfico 5*, el valor total de las recompensas en dólares<sup>9</sup> que reciben los mineros es creciente, alcanzando un máximo de setenta millones de dólares en mayo de 2021 y promediando casi unos veinte millones de dólares en los últimos 5 años.



Gráfico 5. Recompensa total del minado desde 2010 hasta 2022. Elaboración propia a partir de datos de *blockchain.com*.

<sup>9</sup> Suponiendo que las recompensas en BTC son vendidas en el mismo momento en el que son obtenidos



### 3.2 La minería centralizada del dinero descentralizado

Como adelantamos en la sección 2.3 los mineros compiten para añadir un nuevo bloque y recibir una recompensa. Esta competencia está sujeta a la probabilidad de encontrar el *hash* correcto que a su vez depende de la potencia computacional del minero y la total de la red. Como la potencia total no es fija, ya que los mineros entran y salen constantemente del mercado, la probabilidad de obtener la recompensa cambia. Esto implica que cualquier minero está expuesto al riesgo de una “mala racha”, pagando los costos de la fuerza computacional sin obtener la recompensa. En consecuencia, se ha minimizado este riesgo formando *pools de minería* donde varios mineros se agrupan y funcionan como una sola entidad, distribuyendo en partes proporcionales las recompensas relativas al poder computacional aportado. Si bien Satoshi Nakamoto diseñó el protocolo del Bitcoin con la idea que se utilizarían únicamente procesadores comerciales con la evolución de la industria y la creación de ventajas comparativas, ha surgido una gran concentración del poder de mercado de la minería en tan solo algunos pocos grupos (Llases, 2021).

La *figura 2* identifica cómo está distribuida la minería en los distintos *pools*. Lo primero que se expone aquí es la competitividad de la industria, muchos de los *pools* que dominaron el mercado disminuyeron mucho su poder del mercado e incluso algunas desaparecieron. Por ejemplo, BTC Guild que llegó a obtener hasta más del 35% del *hashrate* total del protocolo Bitcoin en 2013 desapareció por completo en 2015. Esta línea argumentativa puede ser contradecida cuando miramos el caso de Slush, un pool de minería que desde 2013 a la actualidad ha estado en funcionamiento, ocupando hasta el 15% de tasa de *hash* total desde 2018 hasta 2019 (en 2022 esa cifra disminuyó al 5%). Otro aspecto que pareciera indicar una integración vertical de esta industria es que Bitfury, uno de los principales productores de dispositivos *ASIC*, fue responsable del 15% de los BTC minados de 2015 a 2017, teniendo poder sobre los dos aspectos más importantes de la industria de la minería, la manufacturación de los dispositivos y los centros de minado.

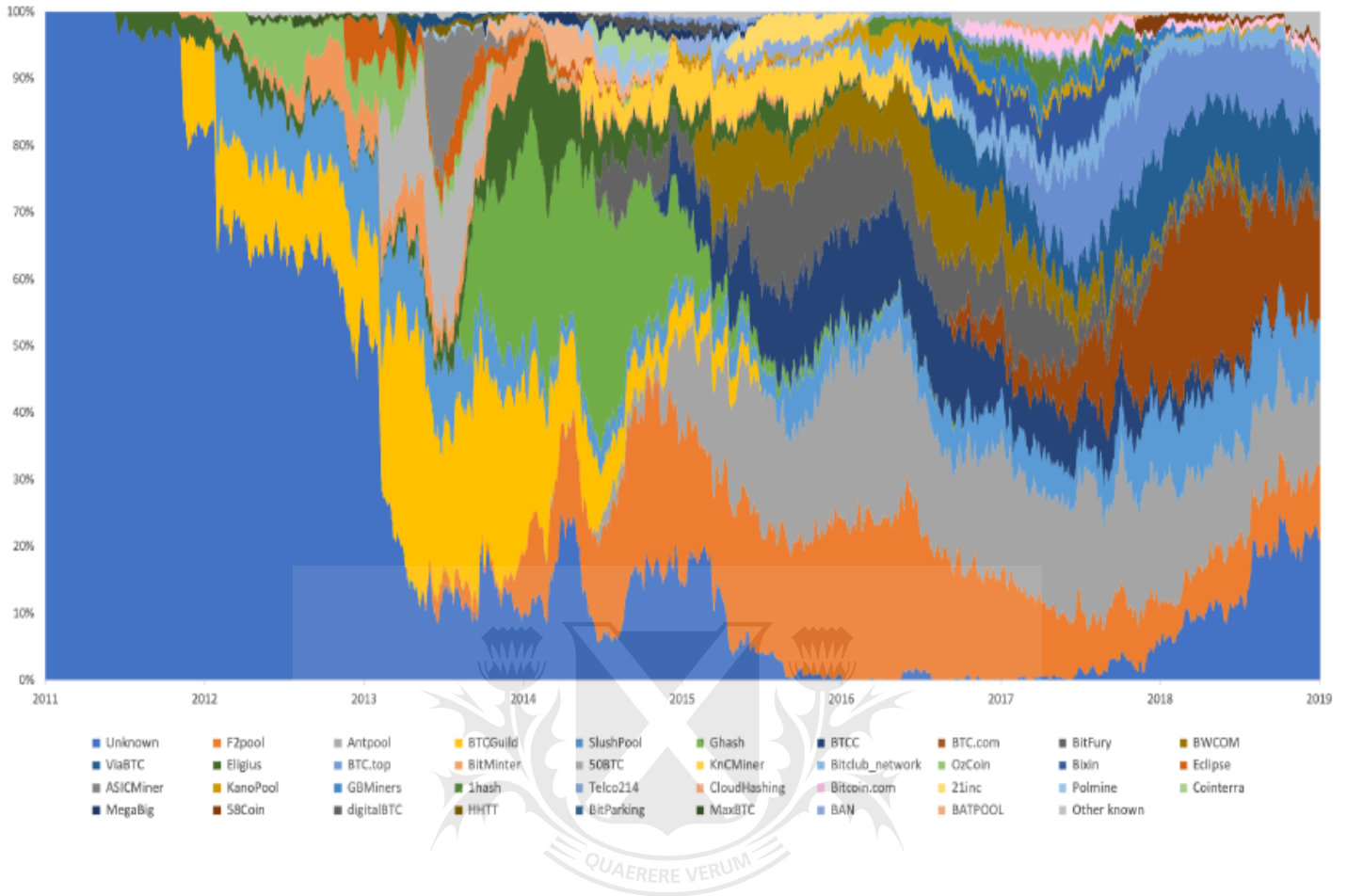


Figura 2. Distribución del minado de los pools 2011-2019

Fuente: <https://coinmetrics.io/mining-pool-mapping/>

La figura 3 representa la distribución de la tasa de *hash* total en la actualidad, en esta podemos identificar la integración de Binance, la plataforma de intercambio de criptomonedas con mayor volumen de comercio mundial, a la industria de la minería. A su vez se nota la continuidad de pools como F2Pool, AntPool, Slush Pool y BTC.com que desde 2017 mantienen un importante porcentaje del poder de minado. Por último, cabe destacar a Foundry USA que este último año superó a Ant Pool y se convirtió en el pool de minería más grande del mundo.

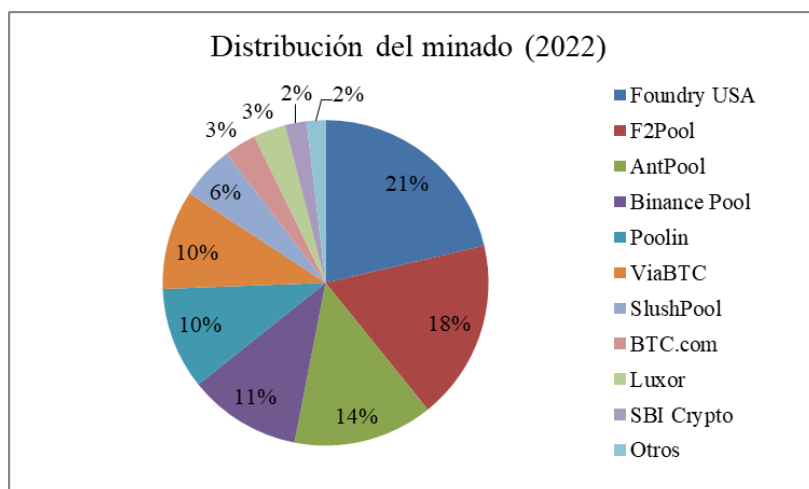


Figura 3. Distribución del minado (2022). Elaboración propia a partir de datos de *explorer.btc.com*

La filosofía detrás del Bitcoin tiene un elemento antisistémico con un sistema que permite transacciones sin la posibilidad de la intervención del Gobierno, que puede convertirse en el mecanismo perfecto para el funcionamiento de los libres mercados y los ideales del *Laissez faire*. Sin embargo, en su intento de desafiar la dinámica de los sistemas financieros pareciera reproducir en la industria del minado el patrón de centralización al que se opone.

Alineado con esta línea argumentativa, vale la pena citar extensamente a Magnani y Rabosto:

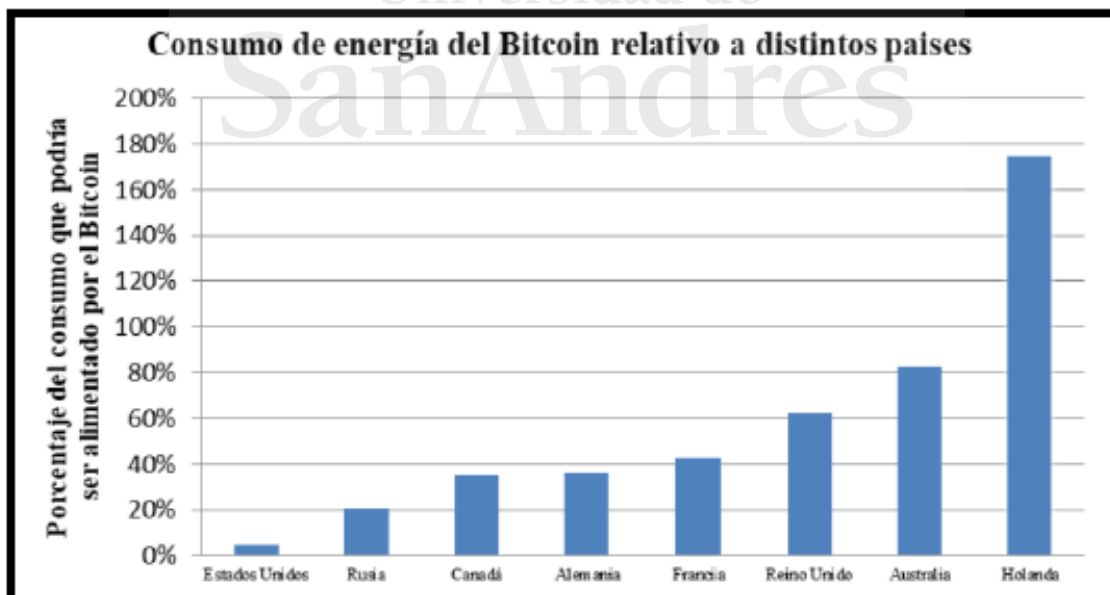
Pese haber sido cuidadosamente diseñada para prescindir de actores centralizados que la gobiernen, la red bitcoin transita un camino que tiende a poner sus mecanismos de control y decisión en manos de unas pocas empresas. Por otro lado, la paradoja: el dinero como información digital quedó preso de condicionamientos industriales, como el costo y la abundancia de la energía eléctrica, y preindustriales, como el clima y el precio de la tierra.

(Magnani, Rabosto. 2018). Recuperado de: <https://www.revistaanfibia.com/cuevas-virtuales/>

Esto no implica que el Bitcoin haya fallado en su objetivo de descentralizar las finanzas, sino que no ha podido evitar otras de las consecuencias que tiene su diseño de minería. En particular, la centralización del poder de mercado de la industria y como analizaremos en la sección 4, su daño ambiental.

#### 4. El uso de recursos y su impacto ambiental.

En la actualidad, el uso de electricidad del Bitcoin es más alto que el de la Argentina en su totalidad, la red utiliza 121,36 teravatios por hora (TWh) mientras que el consumo de la Argentina es de 121 TWh. El propio sistema induce a esta conducta en su intensivo uso de recursos y fue la principal razón por la que la minería fue prohibida en China. Como podemos observar en el *gráfico 6*, el consumo de energía del Bitcoin representa un enorme porcentaje del total de algunos de los países que más energía consumen en todo el mundo. En particular, representa el 35% de Canadá, el 42% de Francia y el 62% del Reino Unido que tienen el 6to, 7mo y 8vo puesto en el ranking total de países con mayor consumo de energía. Además, ya representa el 5% del consumo de los Estados Unidos, el país que más energía consume en todo el mundo. A su vez, el *gráfico 7* muestra el aumento del promedio del gasto anual total de energía del Bitcoin, en este se identifican dos grandes saltos. El primero de 2017 a 2018 triplicando el consumo y luego duplicando de vuelta de 2020 a 2021, ambos movimientos coinciden con aumentos en el precio del BTC, esta relación la analizaremos más adelante.



*Gráfico 6.* Consumo de energía del Bitcoin relativo a distintos países. Elaboración propia.

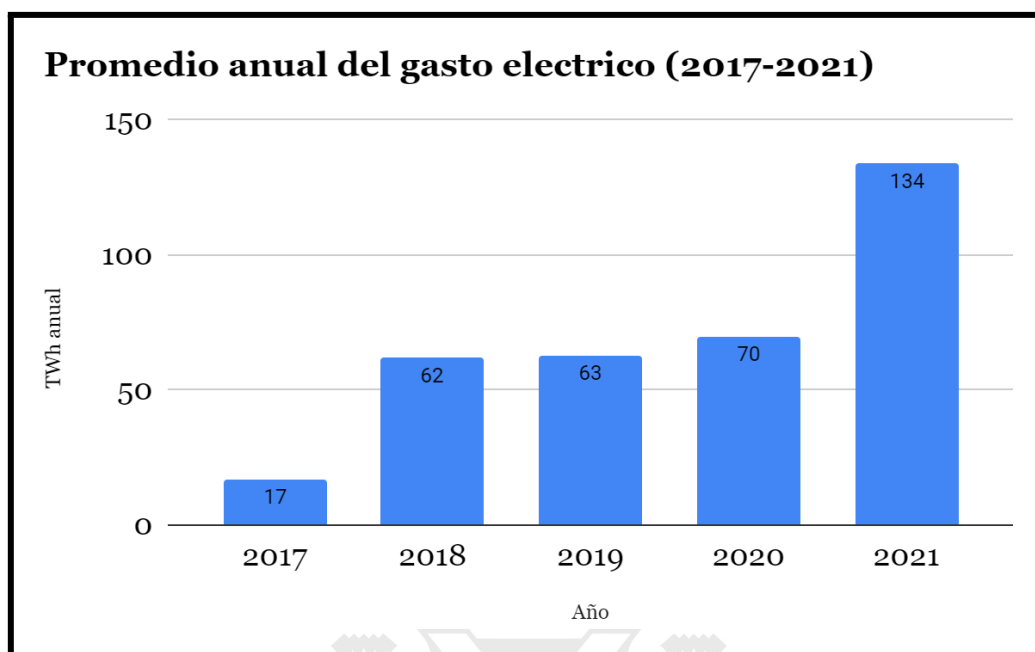
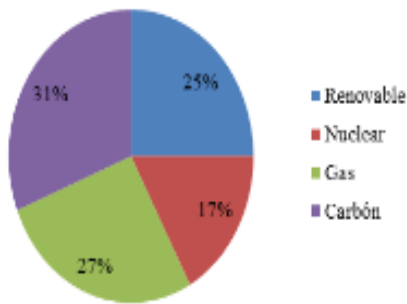


Gráfico 7. Promedio anual del gasto eléctrico del sistema Bitcoin  
Elaboración propia a partir de datos de digiconomist.net<sup>10</sup>

Este creciente aumento en el consumo eléctrico tiene consecuencias ambientales que deben ser tenidas en cuenta por quienes proponen el sistema Bitcoin como un reemplazo integral de los sistemas financieros tradicionales. El impacto ambiental no surge principalmente por la cantidad de consumo eléctrico sino más bien porque la minería es una actividad difícil de regular y se ubica en los lugares donde las fuentes de electricidad son más dañinas al ambiente. En consecuencia, como podemos observar en la *figura 4* y la *figura 5*, en los últimos años el uso de energía renovable para el minado ha disminuido, en 2020 representaba el 41% del tipo de fuente de energía, pero un año después disminuyó al 25%. Este cambio podría ser explicado por la migración de la actividad de la minería por fuera de China, un país que tenía mucho acceso a energía renovable hidroeléctrica en las provincias de Sichuan y Yunnan. Por otra parte, el aumento del uso de gas natural del 15% al 30% en un año tendría que ver por la migración de la minería a países como Estados Unidos y Kazakhanstan. (A. De Vaire et al, 2022)

<sup>10</sup> En la sección 6 se comenta sobre las limitaciones y diferencias entre los modelos que se proponen estimar el consumo eléctrico del Bitcoin

Fuentes del consumo energético anual del Bitcoin (2021)



Fuentes del consumo energético anual del Bitcoin (2020)

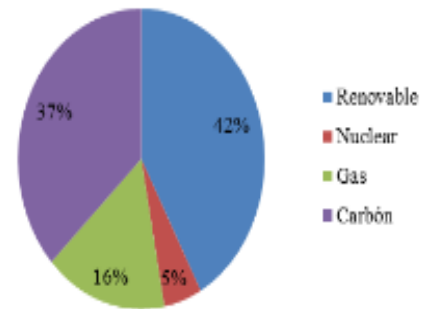


Figura 4. Promedio anual de las fuentes del consumo energético del Bitcoin en 2020 y 2021

Elaboración propia a partir de datos de A. de Vaires et al 2022

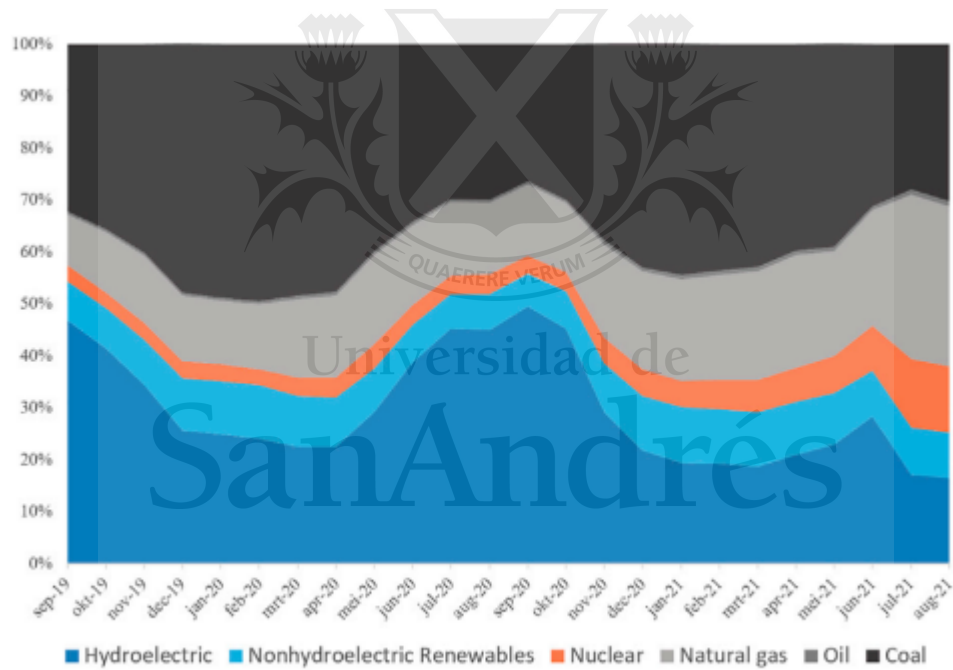


Figura 5. Distribución de las fuentes energéticas de la red Bitcoin desde septiembre de 2019 hasta agosto de 2021

Fuente: A. de Vaires et al 2022

Como es de esperar la disminución del uso de energía renovable que mencionamos, genera efectos ambientales negativos: El promedio de la emisión de carbono (CO<sub>2</sub>) anual del sistema Bitcoin en 2020 era de 478 gCO<sub>2</sub>/kWh y aumentó a 557 CO<sub>2</sub>/kWh en tan solo un año. Dada su demanda de energía total esto implicaría 65.4 megatoneladas de CO<sub>2</sub> anuales, es decir, el 0.2% de las emisiones globales.

## 4.1 *Proof of stake* y otras alternativas

A pesar de las consideraciones sobre su legalidad, las prohibiciones no van a quitar al Bitcoin del mapa, de hecho, su capacidad de poder operar por fuera de cualquier institución reguladora es lo que lo hace tan atractivo. Pero lo cierto es que el sistema tiene un diseño que hace aumentar su uso de recursos energéticos y que estos son en su mayoría obtenidos por fuentes que generan un alto daño ambiental. En consecuencia, otras criptomonedas han intentado reemplazar el sistema de *proof of work* por otros que demanden menos energía. Por ejemplo, Ethereum, la segunda criptomoneda más importante después de Bitcoin, tiene intenciones de pasar a un sistema de validación de transacciones de *proof of stake* en el corto plazo.

En este sistema en vez de minadores se tienen validadores que aportan al sistema una suma de criptomoneda como colateral, esto les otorga una mayor probabilidad de verificar una transacción. Esta probabilidad aleatoria depende principalmente del tiempo que hayan pasado en la red y la cantidad aportada, si los verificadores son elegidos, podrán verificar una transacción. A diferencia de *proof of work*, en este proceso no existe el uso de recursos que surge por la resolución de los problemas criptográficos que genera la posibilidad de verificar el bloque.

Su creador, Sunny King, identificó el posible daño de la dependencia energética que genera el *proof of work* una vez que la cantidad de Bitcoins (o cualquier criptomoneda que use este sistema) minados es grande:

Proof-of-work helped to give birth to Nakamoto's major breakthrough, however the nature of proof-of-work means that the crypto-currency is dependent on energy consumption, thus introducing significant cost overhead in the operation of such networks, which is borne by the users via a combination of inflation and transaction fees. As the mint rate slows in Bitcoin network, eventually it could put pressure on raising transaction fees to sustain a preferred level of security. One naturally asks whether we must maintain energy consumption in order to have a decentralized crypto-currency? Thus it is an important milestone both theoretically and technologically, to demonstrate that the security of peer-to-peer crypto-currencies does not have to depend on energy consumption. (B.King, 2012)

Por un lado, en un sistema de *Proof of Work* (PoW) la actividad de minado aumenta cuando el precio aumenta, esta relación surge porque la recompensa es una cantidad de la criptomonedas, si el precio aumenta de peso hay más incentivos para minar y aumentando el uso de recursos. Por otra parte, en uno con *Proof of Work* (PoS) un aumento del precio no afecta el consumo de electricidad sino que mejora la seguridad del sistema ya que el valor de la criptomoneda almacenada vale más. Por esto, si Ethereum pasa de PoW a PoS, se reduciría el uso energético en un 99.5% porque PoW es aproximadamente 2000 veces más eficiente que PoS en esta criptomoneda (C. Beekhuizen, 2021).

En la actualidad, la criptomoneda Ethereum, consume anualmente 77.53 TWh, un consumo similar al de Chile y genera 43.24 Mt CO<sub>2</sub> (el mismo impacto ambiental que la ciudad de Hong Kong). A su vez, una única transferencia de Ethereum a 246413 transacciones de Visa por lo que un cambio del sistema PoW al de PoS resulta muy atractivo.

A pesar de estas ventajas, la decisión no es tan obvia. Un sistema PoS sacrifica descentralización con el objetivo de disminuir la dependencia energética, quienes aporten mayores cantidades tienen mayor poder de decisión sobre lo que sucede en la *blockchain*. Sin embargo, estos argumentos ignoran el grado de centralización que tiene el Bitcoin en la distribución y ubicación del *hash rate* ya estudiados. Por eso la comunidad Bitcoin suele argumentar en contra de este cambio a PoS, haciendo surgir movimientos alternativos como *Crypto Climate Accord* con el objetivo de reducir completamente el uso de carbón en la industria del minado. El problema de esto es que los mineros no tienen incentivos para cambiar el uso de recursos no renovables. La decisión no es tan obvia, ambos sistemas tienen sus ventajas y desventajas dado el *tradeoff* entre dependencia energética y descentralización. Pero de todas maneras, los sistemas PoW pueden ser sustentables si las fuentes de electricidad que usa son renovables, para esto es necesario que surjan políticas públicas que alineen los incentivos de los mineros a usar este tipo de recursos. Por ejemplo, un impuesto al uso



de gas natural que genere incentivos a migrar a otras fuentes de energías o proyectos como *Impact Scope* que ofrecen alternativas a distintos *pools* para compensar su impacto ambiental.

El daño ambiental del ecosistema de las criptomonedas está compartido principalmente entre Ethereum y Bitcoin, aunque la última tiene la mayoría del impacto. Si bien ambos sistemas de minado corresponden a uno de proof of work existen diferencias en su diseño. Por ejemplo, utilizan distintos dispositivos, debido a que la diferencia en sus algoritmos; Bitcoin utiliza el de SHA-256 mientras que Ethereum usa Ethhash. Esto genera que la eficiencia del minado del Ethereum ( $2.28E+05$  Hash/s) sea mejor que la de Bitcoin ( $2.53E+10$  Hash/s).

Ambas criptomonedas tienen distintos consumos energéticos. El gasto anual del Bitcoin es de 126.78 TWh mientras que el de Ethereum es de 77.53 TWh. Por lo tanto, ambas tienen una diferente huella ambiental, en un mismo año el Bitcoin genera 70.72 Mt CO<sub>2</sub> mientras que Ethereum 43.24 Mt CO<sub>2</sub>. Tanto el consumo energético como el impacto ambiental del Bitcoin es mayor que el de Ethereum.

Según Stoll et. al. (2020), Bitcoin consumió el 68% del gasto energético total de las criptomonedas. Por otra parte, Ethereum consumió el 11% mientras que el 21% restante fue usado por otras criptomonedas con un valor de capitalización de mercado menor; Litecoin consumió 2.4% del total, Monero el 3.5% y Bitcoin Cash el 2.4%, Bitcoin SV el 1.9% y el resto fue distribuido en otras criptomonedas que usaban menos del 1% del total.

## 4.2 Oro digital y oro físico

En la actualidad, el sistema Bitcoin es menos eficiente que los sistemas contables modernos, la criptomoneda no puede procesar más de siete transacciones por segundo mientras que proveedores como VISA pueden manejar hasta sesenta mil. También, en términos de energía, una sola transacción de Bitcoin requiere 2,188 kwh mientras que 100,000 transacciones con tarjeta VISA solo necesitan 148,63 kwh. Frente a estas enormes desventajas, la comunidad Bitcoin ha preferido definirlo como una alternativa al oro, es decir, centrarse en su uso como un activo de reserva, que conserve su valor frente a fluctuaciones macroeconómicas. Ambos activos tienen la similitud de que a medida que pasa el tiempo se van haciendo más difícil de minar debido a que la cantidad de unidades disponibles es fija, Bitcoin tiene una oferta monetaria automática donde no existirán más de 21 millones de Bitcoins y el oro es un recurso natural finito.

De todas maneras, estas comparaciones no se sostienen cuando estudiamos al Bitcoin y al oro respecto del gasto energético. Por un lado, la minería física del oro tiene un gasto energético anual de 132 teravatios-hora por año (Mudd, 2007). Por el otro, la minería virtual del Bitcoin, tiene un gasto de 145 teravatios-hora por año. Además, esta diferencia de eficiencias de ambos activos se hace mayor cuando hacemos la misma comparación relativa al valor generado, si bien es cierto que los ingresos anuales de la minería del oro (\$203,208,177,843) son mucho más grande que la minería de Bitcoin (\$7,758,043,541), el requerimiento de energía por igual cantidad de valor producido presenta grandes diferencias; minar una unidad de Bitcoin se requiere 426,469 kWh mientras que minar ese mismo valor pero en oro se necesitan 13,910 kWh<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> <https://digieconomist.net/bitcoin-versus-gold> (accedido el 20/08/2022)

Estos datos implican que la minería de Bitcoin es menos eficiente en su consumo de energía que la minería de oro, por lo que no sorprende que el impacto ambiental generado por el Bitcoin sea también mayor. La criptomoneda genera una emisión de 238 toneladas de CO<sub>2</sub> para minar una unidad de Bitcoin mientras que el mismo valor en oro genera 9 toneladas<sup>12</sup>. Sin embargo, si observamos el impacto ambiental total de la minería de ambos activos, el oro es altamente superior con una emisión total de 54 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> contra 0.6 millones de toneladas que genera la minería del BTC.

Además del impacto ambiental, podríamos incluir las muertes para tener una representación más amplia del costo social total. La minería del oro tiene atribuidas unas 50.000 muertes en toda su historia y, en promedio, 100 por año, mientras que el BTC registra cero fallecimientos, principalmente porque el trabajo lo hacen las computadoras. También, el oro tiene registradas 21 billones de pérdidas en fraudes institucionales mientras que el Bitcoin no supera los 0.5 billones de dólares. Si bien este tipo de análisis pueden ayudar a esclarecer algunas cuestiones en la comparación entre ambos activos, lo cierto es que se encuentra limitado por la enorme diferencia de las capitalizaciones de mercado del Oro (11.5 Trillones de dólares) con la del Bitcoin (1 Trillón de dólares).

---

<sup>12</sup> <https://digieconomist.net/bitcoin-versus-gold> (accedido el 20/08/2022)

## 5. Limitaciones

La modelación de la eficiencia del minado sufre de varias limitaciones que afectan los resultados posibles sobre el consumo energético del BTC. Estas surgen principalmente por la falta de transparencia de variables importantes para modelar correctamente la demanda energética que tiene el protocolo Bitcoin. En particular, si bien hay poca transparencia de los productores de ASIC sobre la eficiencia real de sus dispositivos, existe mucha menos información sobre la cantidad comprada por las grandes operaciones de minería. Además, no es del todo transparente la información sobre su ubicación y sobre la cantidad de dispositivos de minería que estos usan.

Como bien explica de Vries:

“While it is possible to observe the total network hash rate, the devices generating this at each node are implausible to identify without firsthand knowledge of the node, and as mining is a highly competitive and secretive business there is little information regarding which devices are being deployed by these nodes or miners.’ Thus while hash rate and the current most efficient devices can produce a best case scenario for network energy consumption, how the total network hash rate is broken down between devices is a challenge in its self.”

Alex De Vries. 2018. Bitcoin's Growing Energy Problem.

Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435118301776>

En consecuencia, existen considerables diferencias en los principales modelos de estimación del gasto energético total del sistema Bitcoin. Esto lo podemos observar en el *gráfico 6* al comparar el *Bitcoin Energy Consumption Index* (BECI) de Digiconomist (2019) y aquellos trabajos que toman al Bitmain Antminer S9 como punto de referencia por ser el dispositivo de minería más usado. El BECI asume que los mineros gastan (en promedio) el 60% de sus ingresos en electricidad a una tasa de 0,05 USD/kWh. Este supuesto es clave para el análisis y ha sido punto de referencia para acusarlo de formar una sobreestimación, por eso es que resulta en una estimación significativamente mayor que aquellos que usan el Antminer S9 como referencia para su índice.

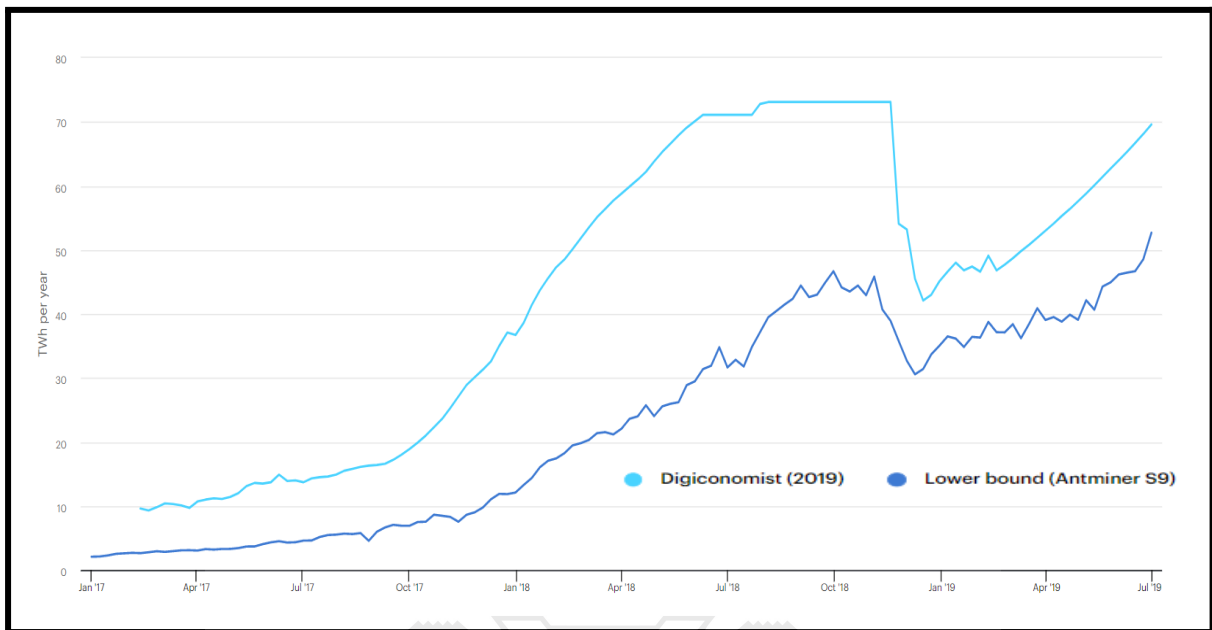


Gráfico 7. Estimaciones del gasto energético del Bitcoin

Fuente: <https://www.iea.org/commentaries/bitcoin-energy-use-mined-the-gap>

En particular, este tipo de análisis supone que el gasto energético de los mineros es el 42% de sus ingresos, este cambio surge a partir de diferenciar el precio de la electricidad según la ubicación de la minería. (Kamiya, 2019). A pesar de estas diferencias, que no deben ser obviadas, ambos tipos de análisis parecieran indicar la misma relación entre precio y uso de energía, además de la tendencia creciente del gasto energético. Por último, es importante destacar que la modelación del gasto energético del sistema Bitcoin está limitada por la dificultad que existe para modelar las propias variaciones en los precios de energía privada en las distintas regiones. Esta limitación por lo tanto, compromete cualquier intento de modelar el efecto ambiental que tiene ese uso energético. (A. de vaire, 2018)

## 6. Conclusiones

A partir del análisis, se ha intentado explicar la evolución del minado del Bitcoin, haciendo énfasis en su impacto ambiental y comparándolo con otras alternativas dentro y fuera del mundo de las criptomonedas.

Observando las principales características del Bitcoin y cómo fue evolucionando la minería, podemos concluir que existe una tendencia a mejorar las tecnologías de ésta en términos de eficiencia de tiempo y gasto energético. Sin embargo, debido al diseño del protocolo, existen incentivos para que los minadores usen energía a partir del carbón, generando un alto impacto ambiental en comparación a otras alternativas. En particular, cuando se lo compara con el minado del oro y las transacciones de Visa o Ethereum los resultados indican que el Bitcoin necesita más recursos energéticos para el mismo funcionamiento.

De todas maneras, dentro del ecosistema de las criptomonedas existen avances en los diseños de los protocolos de minería, en particular, la literatura indica que un cambio en el diseño de la minería de un sistema de Proof of Work a Proof of Stake podría reducir enormemente el consumo de energía en estas criptomonedas. Por eso, es importante entender mejor los impactos ambientales de una industria cada vez más importante, podría ayudar a quienes crean política públicas a tener un mejor entendimiento de las consecuencias que tiene la introducción de las criptomonedas a los sistemas financieros en la actualidad.

Para concluir, si bien en el trabajo se abordan las comparaciones del Bitcoin con sus principales alternativas, considero que en el futuro se deben realizar otras investigaciones que hagan esta comparación con las otras criptomonedas que vayan aumentando su uso de recursos.

## 7. Lista de figuras

- Gráfico 1. Dificultad de minado del Bitcoin desde 2017 hasta 2022.
- Gráfico 2. Cantidad de Bitcoins minados desde 2009 hasta 2022.
- Gráfico 3. Comparación de la tasa de hash del minado con CPU, GPU, FPGA y ASIC de 2011 a 2018.
- Gráfico 4. Eficiencia de los dispositivos ASIC en términos de Hash minado y uso energético.
- Gráfico 5. Recompensa total del minado desde 2010 hasta 2022.
- Gráfico 6. Consumo de energía del Bitcoin relativo a distintos países
- Gráfico 7. Promedio anual del gasto eléctrico del sistema Bitcoin
- Figura 1. Porcentaje del hashrate por centro eléctrico.
- Figura 2. Distribución del minado de los pools 2011-2019
- Figura 3. Distribución del minado (2022).
- Figura 4. Promedio anual de las fuentes del consumo energético del Bitcoin en 2020 y 2021
- Figura 5. Distribución de las fuentes energéticas de la red Bitcoin desde septiembre de 2019 hasta agosto de 2021

## 8. Bibliografía

Chohan, Usman W. (2021). *The Double Spending Problem and Cryptocurrencies*. Recuperado de: [ssrn.com/abstract=3090174](https://ssrn.com/abstract=3090174)

Beekhuizen C. (2021). *Ethereum's energy usage will soon decrease by ~99.95%*. Recuperado de: <https://blog.ethereum.org/2021/05/18/country-power-no-more/>

Chow, S. Peck, M. (2018). *The bitcoin mines of China*. IEEE Spectrum, vol. 54.

Dabdoub, J. A. (2017). *Criptomonedas: ¿qué son y por qué importan?* Forbes México. Recuperado el 2018, de <https://www.forbes.com.mx/criptomonedas-que-son-y-por-queimportan/>

De Vries, A. (2018). *Bitcoin's Growing Energy Problem*.

De Vries, Alex & Gellersdörfer, Ulrich & Klaaßen, Lena & Stoll, Christian. (2022). *Revisiting Bitcoin's carbon footprint*.

Gavin M. Mudd. (2007). *Global trends in gold mining: Towards quantifying environmental and resource sustainability*.

George Kamyra, IEA (2019), *Bitcoin energy use - mined the gap*, IEA, Paris  
Recuperado de: <https://www.iea.org/commentaries/bitcoin-energy-use-mined-the-gap/>

Nakamoto, S. (2008) *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*  
Recuperado de: [bitcoin.org/bitcoin.pdf](https://bitcoin.org/bitcoin.pdf)



Magnani, E. Rabosto, A. (2018)

Recuperado de: <https://www.revistaanfibia.com/cuevas-virtuales>

Hicks, J.R. (1967) *Critical Essays in Monetary Theory*. Clarendon Press, Oxford.

Llases, L. (2021). *Breve análisis de la concentración de la potencia de minado en Bitcoin*.

Recuperado de: <https://doi.org/10.5209/pade.73881>

B. King (2012) PPCoin: Peer-to-Peer Crypto-Currency with Proof-of-Stake

Sang X, Leng X, Xue L, Ran X. (2022). *Based on the Time-Spatial Power-Based Cryptocurrency Miner Driving Force Model, Establish a Global CO<sub>2</sub> Emission Prediction Framework after China Bans Cryptocurrency*.

Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/su14095332>

Sun, W., Jin, H., Jin, F. *et al.* (2022) *Spatial analysis of global Bitcoin mining*

Recuperado de: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14987-0>

Wallace, N. (1980) *The Overlapping Generations Models of Fiat Money*.

Weber, B. (2015). *Bitcoin and the legitimacy crisis of money*. Cambridge Journal of Economics.

U. Gellersdörfe, L.Klaaßen y C.Stoll. *Energy Consumption of Cryptocurrencies Beyond Bitcoin*. (2020)