

EL PESO DE BITCOIN

THE WEIGHT OF BITCOIN

ETHEL BARAONA POHL

dpr-barcelona

CÉSAR REYES NAJERA

dpr-barcelona

Palabras clave

Criptored
Blockchain
Minería
Consumo de energía
Huella de carbono

Keywords

Crypto networks
Blockchain
Mining
Energy consumption
Carbon footprint

El dinero debe ser una de las creaciones humanas más exitosas en términos de extensión y masividad. Sus formas, sin embargo, son múltiples. Por ejemplo, hoy presenciamos un boom de criptomonedas que amenaza con dejar obsoleto al dinero físico. Pero, tal como agudamente muestra este texto, sin importar cuan digital sea una criptomoneda, su creación sí tiene efectos físicos a gran escala, especialmente en términos de consumo energético y huella de carbono.

Money must be one of the most successful human creations in terms of its extension and massiveness. Its forms, however, are multiple. For instance, we are witnessing today a cryptocurrency boom that threatens to render physical money obsolete. But, as this article sharply shows, no matter how digital a cryptocurrency is, its creation has physical effects on a massive scale, especially in terms of energy consumption and carbon footprint.

DC3D5A05CF60D112A44575843920D5F22CC868AF37E818570D1ADE9C3388D981

El código de más arriba es el *hash* criptográfico que, de forma unívoca, certifica el documento original del texto que estás a punto de leer. Se ha sellado con un servicio digital que utiliza la certificación de datos mediante una cadena de bloques (*blockchain*) que crea un registro inmutable de la existencia, integridad y propiedad de documentos y archivos. Los registros certificados se generan aprovechando las cadenas de bloques de Bitcoin y Ethereum. A simple vista, tanto el vocabulario como los protocolos y la cadena de caracteres resultantes de este proceso parecen complicados, pero el concepto general detrás de la tecnología es simple y los resultados que se producen están aún lejos de estar completamente desarrollados. El nombre *blockchain* se refiere a una serie de transacciones agrupadas en 'bloques' de datos que se escriben al final de una 'cadena' de bloques preexistentes que describen todas las transacciones anteriores.

Blockchain y descentralización

Las criptoredes son redes distribuidas, gobernadas por una comunidad y gestionadas con un activo criptográfico construido con *blockchain*. Un ejemplo de criptoredes son las criptomonedas. A diferencia de las redes centralizadas

The code shown above is the cryptographic hash that univocally certifies the original document with the text you are about to read. It has been stamped with a digital service that uses blockchain data certification, which creates an immutable record of existence, integrity, and ownership for documents and files. The records certified are generated leveraging both the Bitcoin and the Ethereum blockchains. At first sight, both the vocabulary, the protocols, and the string of letters and numbers resulting of this process seem complicated, but the general concept behind the technology is simple and the outputs that it is producing are yet far from being completely developed. The name *blockchain* refers to a series of transactions bundled into 'blocks' of data that are written onto the end of a 'chain' of existing blocks describing all prior transactions.

Blockchain and decentralization

Crypto networks are distributed and community-governed networks, ruled by a blockchain-based crypto asset, for instance a cryptocurrency. Unlike centralized networks that need different

que necesitan diferentes tipos de certificadores, las redes descentralizadas dependen de la confianza de los pares y utilizan mecanismos de consenso para mantenerse y actualizarse. Las criptoredes usan recompensas en forma de fichas o monedas para estimular el consenso entre los participantes. Este mecanismo de recompensa asegura que todas las partes interesadas trabajen en la misma dirección para conseguir que la red funcione. Las criptoredes favorecen la aparición de nuevos tipos de activos que a su vez permiten aplicaciones descentralizadas, gobernadas por la comunidad y que pueden superar fácilmente la capacidad de los servicios centralizados más avanzados (Dixon, 2018). Teniendo esto en cuenta, no es sorprendente que hayan surgido muchas iniciativas empresariales y promotores que afirmen que las criptoredes son la alternativa definitiva a los bancos centrales, los estados nacionales y entidades supranacionales como el FMI.

El ejemplo más conocido de criptored es Bitcoin¹, una plataforma que combina criptografía y *software* en una moneda electrónica y sistema de seguimiento de pagos. Es posible gracias a una red distribuida que los produce y, al mismo tiempo, verifica cada transacción. Al ser un sistema virtual, los Bitcoins no están respaldados ni controlados por ningún gobierno o corporación, permitiendo pagos instantáneos con tarifas de transacción casi nulas y disponible para todo aquel que tenga conexión a Internet. Al igual que el oro, el Bitcoin es reconocible, divisible y limitado. Si nos atenemos a su valor de cambio actual, parece que de verdad vale su peso en oro y además es mucho más fácil de transportar.

El consumo de energía de Bitcoin

Pero al igual que Internet y su aparente virtualidad, los procesos necesarios para crear e intercambiar criptomonedas necesitan infraestructuras físicas muy concretas. La minería de Bitcoins, que es como se conoce a su proceso de producción, consume mucha energía y requiere *hardware* e instalaciones especializadas. La imagen de un entusiasta del dinero digital minando Bitcoins en la soledad de su computador personal es

kinds of certifiers, the decentralized ones rely on the confidence of the peers and use consensus mechanisms to maintain and update themselves. Cryptonetworks use rewards in the form of tokens or coins to enhance consensus among participants. This rewarding mechanism ensures that all stakeholders work towards the success of the network. Cryptonetworks favor the emergence of new kinds of assets that enable decentralized applications, as they are community-governed they can easily surpass the capacity of the most advanced centralized services (Dixon, 2018). Considering this, there is no surprise in the emergence of many entrepreneur initiatives and evangelists claiming they have the definitive alternative to central banks, to nation states and to supranational entities like the IMF.

The most well-known example of cryptonetworks is Bitcoin,¹ a platform combining cryptography and software that offers an alternative currency and payment-tracking system. It is made possible by a distributed network that produces them and, at the same time, verifies each transaction. As part of a virtual system, they are not backed nor controlled by any government or corporation; allowing instant payments near to zero fees, available to everyone with internet connection. As gold, it is recognizable, divisible and limited. According to its monetary exchange rate, it seems it's worth its weight in gold and apparently this weight is much easier to transport.

Bitcoin Energy Consumption

But just like the internet with its apparent virtuality, the processes required to create and exchange cryptocurrencies are done in a real-world site, and they need physical infrastructures. Mining Bitcoins is high-energy consuming and requires specialized hardware and installations. The vision of a single digital-money fanatic mining Bitcoins in the loneliness of a home computer is now part of its short history

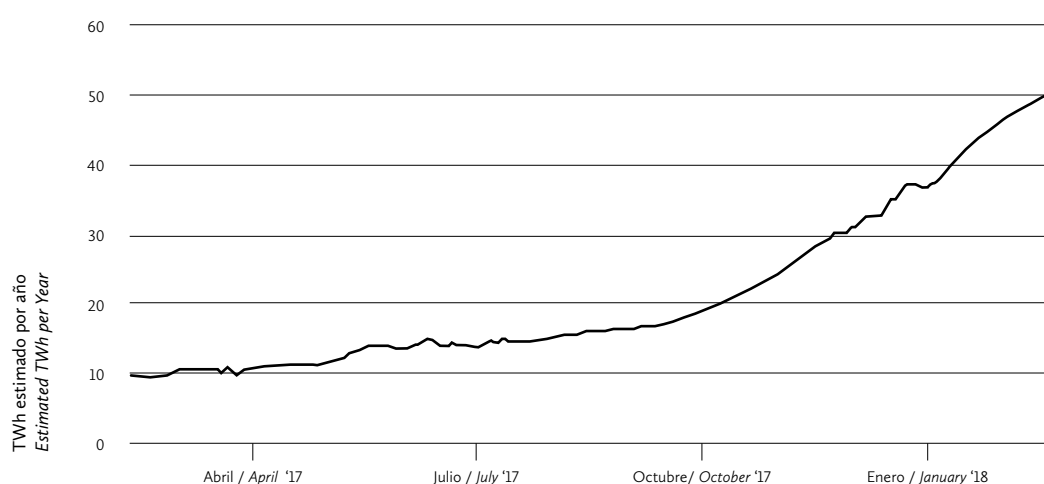


FIG 1 Índice de consumo de energía de Bitcoin. Abril de 2017 a enero de 2018. / Bitcoin Energy Consumption Index Chart. April 2017 - January 2018. Fuente / Source: Digiconomist

TABLA/TABLE 1
Estadísticas de la red
Bitcoin. Febrero 2018.
Key Bitcoin Network
Statistics. February 2018.
Fuente / Source:
Digiconomist

Descripción / Description	Valor / Value
Consumo de electricidad anual estimado de Bitcoins (TWh) <i>Bitcoin's current estimated annual electricity consumption (TWh)</i>	50,88
Ingresos anuales globales por minería (USD) <i>Annualized global mining revenues (USD)</i>	\$8,980,085,446
Costos anuales globales estimados por minería (USD) <i>Annualized estimated global mining costs (USD)</i>	\$2,543,885,031
País más cercano a Bitcoin en términos de consumo de electricidad <i>Country closest to Bitcoin in terms of electricity consumption</i>	Uzbekistan
Electricidad estimada utilizada durante el día previo (KWh) <i>Estimated electricity used over the previous day (KWh)</i>	139.390.961
Vatios implícitos por GH/s <i>Implied Watts per GH/s</i>	0,227
Hash rate de red total en PH/s (1,000,000 GH/s) <i>Total Network Hash rate in PH/s (1,000,000 GH/s)</i>	25.194
Electricidad consumida por transacción (KWh) <i>Electricity consumed per transaction (KWh)</i>	749
Número de hogares de EE.UU. que podrían ser alimentados por Bitcoin <i>Number of u.s. households that could be powered by Bitcoin</i>	4.710.898
Número de hogares de EE.UU. alimentados por un día con la electricidad consumida por una única transacción <i>Number of u.s. households powered for 1 day by the electricity consumed for a single transaction</i>	25,3
Consumo de electricidad de Bitcoin como porcentaje del consumo eléctrico en el mundo <i>Bitcoin's electricity consumption as a percentage of the world's electricity consumption</i>	0,23%
Huella de carbono anual (kt of CO ₂) <i>Annual carbon footprint (kt of CO₂)</i>	24.930
Huella de carbono por transacción (kg of CO ₂) <i>Carbon footprint per transaction (kg of CO₂)</i>	366,77

parte de la corta historia de esta criptomoneda. Esta actividad se ha trasladado definitivamente a centros de datos que cuentan con infraestructuras industriales.

En enero de 2018 se alcanzó el hito del 80 % de explotación del total de 21 millones de Bitcoins disponibles. Como el proceso de minarlos se hace cada vez más difícil, el valor de cambio del Bitcoin ha aumentado drásticamente en el último año². Esto también ha llevado a que la minería de Bitcoins crezca a escalas industriales. Hoy en día, el mercado de dicha minería es similar al de la industria de gestión de datos y ha sido testigo del surgimiento de *startups* que fabrican equipos exclusivos para esta actividad, mientras que las instalaciones

while mining has moved to data centers and other larger infrastructures.

In January 2018, the milestone of 80 % of the maximum of 21 million mineable Bitcoins was reached. As the process of mining gets harder the value of a single Bitcoin has dramatically pushed over the last year.² This has also led to the growing of Bitcoin mining up to industrial scales. The market of mining is similar to that of the data center industry and has witnessed the rise of startups producing the necessary equipment and setting installations in locations with favorable climate conditions or with low-cost electricity to cool overheated equipment³ (FIG. 1).

Why Bitcoin mining is so energy consuming? Each block of Bitcoin transactions must be encoded in an iterative process called 'cryptographic hashing.' Every block contains the hash of the preceding block, thus each block has a chain of blocks that together contain a large amount of work. In order for a block to be accepted by network participants, miners must complete a proof of work which covers all of the data in the block.⁴ Proof of work in Bitcoin mining is deliberately designed to be computationally intensive and it consumes lots of energy; as it is extremely expensive to create blocks that won't be backed nor rewarded by the network, this feature is aimed at preventing fraud.

«El mundo digital funciona con electricidad, y dado que nuestros patrones de consumo actuales se basan principalmente en el consumo de combustibles fósiles, esto da como resultado que la tarea digital más simple tenga siempre una huella de carbono real.»

tienden a ubicarse en lugares con condiciones climáticas favorables o con electricidad a bajo costo que permita enfriar fácilmente los equipos sobrecalentados³ (FIG. 1).

¿Y por qué el minado de Bitcoin consume tanta energía? La razón está en que cada bloque de transacciones de Bitcoin se codifica en un proceso iterativo llamado *hashing* criptográfico. Cada bloque contiene el *hash* del bloque anterior y, por lo tanto, una cadena de bloques que en conjunto representan una enorme cantidad de trabajo. Para que un bloque sea aceptado por los participantes de la red, los mineros deben completar una prueba de trabajo que verifique todos los datos en el bloque⁴. Dicha prueba está diseñada deliberadamente para ser computacionalmente intensiva y consumir mucha energía. Esta característica previene el fraude, ya que es extremadamente caro crear bloques que la red no reconocerá y por lo tanto no recompensará.

No olvidemos que, básicamente, los computadores son motores que transforman la energía en calor residual y trabajo matemático (Bennett, 1982). Además de la huella ecológica de su fabricación, deberíamos considerar la energía que los hace funcionar y la base material que hace que todo esto sea posible, ya que «ningún agente puede crear o destruir los materiales con los que trabaja, así como tampoco el capital puede crear la sustancia de la que está formado» (Georgescu-Roegen, 1979). El mundo digital funciona con electricidad y dado que nuestros patrones de consumo actuales se basan principalmente en el consumo de combustibles fósiles (Ritchie & Roser, 2018), esto da como resultado que la tarea digital más simple tenga siempre una huella de carbono real (TABLA 1).

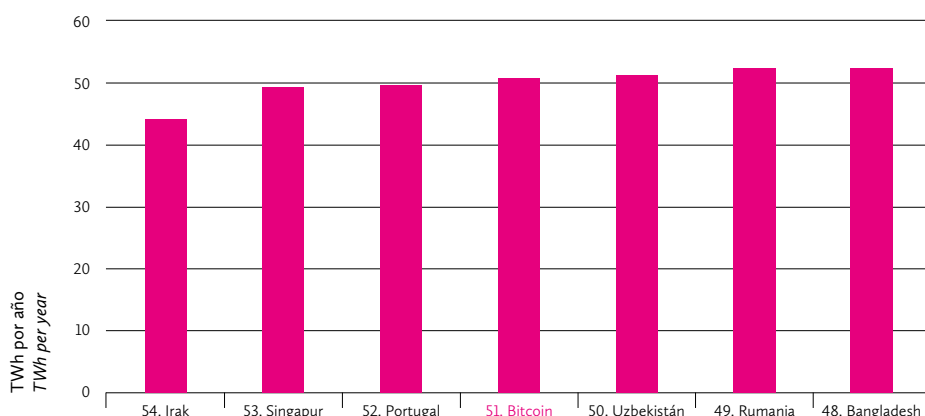
Además del consumo masivo de energía que genera el minado de Bitcoins, tenemos que tomar en cuenta la base material que alimenta esa red. Las principales operaciones mineras de Bitcoin se encuentran en China (58 %) donde la electricidad está disponible a precios muy bajos, proveniente principalmente de centrales eléctricas de carbón; seguidas por Estados Unidos con un 16 % (Hileman & Rauchs, 2017). Más recientemente Georgia e Islandia se han consolidado como destinos preferidos para la minería de Bitcoins gracias a su potencial hidroeléctrico y geotérmico, junto con condiciones climáticas favorables

“The digital world runs on electricity which, given our current consumption patterns, rely mainly in fossil fuel consumption. As a result of that, the simplest digital task has a real carbon footprint.”

Don't forget that computers are basically engines that transform energy into waste heat and mathematical work (Bennett, 1982). In addition to the ecological footprint of their fabrication, we should consider the energy that makes them work, and the material basis that makes all this possible, as “no agent can create the material on which it works. Nor can capital create the stuff out of which it is made” (Georgescu-Roegen, 1979). The digital world runs on electricity which, given our current consumption patterns, rely mainly in fossil fuel consumption (Ritchie & Roser, 2018). As a result of that, the simplest digital task has a real carbon footprint (TABLE 1).

In addition to Bitcoin mining massive energy consumption, we have the material basis that fuels the network. The main Bitcoin mining operations are based in China (58 %) where electricity is available at very low rates, mainly based on coal-fired power plants, followed by the U.S. with 16 % (Hileman & Rauchs, 2017). More recently Georgia and Iceland have emerged as Bitcoin-friendly countries, relying on their hydropower and geothermal potential, as well as more favorable climatic conditions for cooling operations. There are several accountabilities underway trying to figure out as approximate as possible the energy consumption of Bitcoin production. Initiatives like the Economist's Bitcoin Energy Consumption Index,⁵ or the Blockchain Charts⁶ monitor and update data about its energy consumption and costs, while at the same time, make comparatives to nation-state electricity spend.

FIG 2 Consumo de energía de Bitcoin en relación a un país. *Bitcoin Energy Consumption as if a Country. January 2018.* Fuente / Source: Digiconomist



«Estos números son tan grandes que resulta difícil hacerse una idea realista de lo que representan. Un recurso común es comparar el consumo del minado de Bitcoins con la cantidad de energía gastada por los países. De esta manera se estima que en 2017, el consumo de energía de Bitcoin fue más alto que el consumo de 159 países.»

para las operaciones de refrigeración. Hoy existen varias propuestas para calcular lo más fielmente posible el consumo de energía de la producción global de Bitcoins. Iniciativas como el Bitcoin Energy Consumption Index⁵ de *The Economist* o el Blockchain Charts⁶, monitorean y actualizan los datos sobre el consumo y los costos de energía y al mismo tiempo lo comparan con el gasto de electricidad de los países.

No existe consenso sobre cómo calcular el consumo global de energía de Bitcoin. Algunos análisis toman en cuenta la tasa de *hash* total de la red, pero es prácticamente imposible saber exactamente qué significa en términos de consumo de energía, ya que no existe un registro centralizado con todas las máquinas activas, ni las fuentes de energía que utilizan los equipos de red, ni sus sistemas de refrigeración. En este texto, nos referiremos a los datos del Bitcoin Energy Consumption Index que pone en relación los ingresos de los mineros y sus costos operacionales. Sus promotores argumentan que a mayores ingresos por minado de Bitcoins, puede mantenerse un mayor número de máquinas hambrientas de energía⁷.

There is no consensus on how the Bitcoin energy consumption calculations are made. Some analyses take into consideration the network 'hashrate', but it's practically impossible to know exactly what does it mean in terms of energy consumption as there is no a centralized register with all active machines mining and the means they use to cool down systems and network gear. In this article, we will refer to the Bitcoin Energy Consumption Index which accurately relates miner incomes and operational costs. Their advocates argue that the higher the mining revenues are, the more energy-hungry machines that can be supported.⁷

To the day this text was written, it was estimated that the energy consumption of Bitcoin mining was around 50.88 TWh, which means a carbon footprint of 24,930 kt of CO₂.⁸

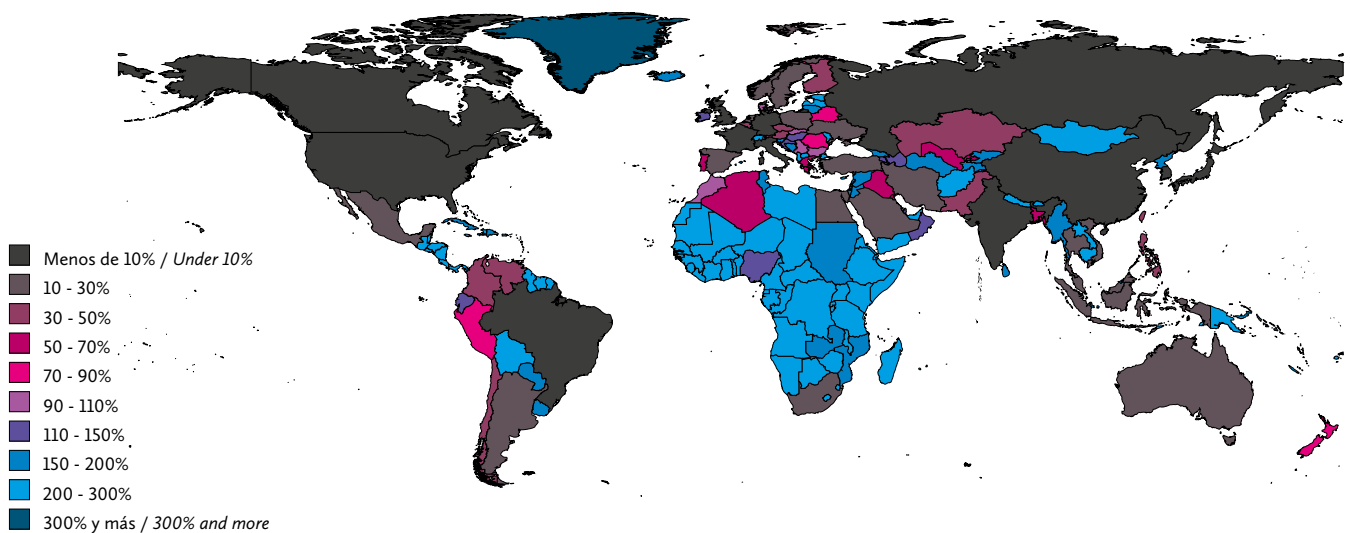
These numbers are so huge that it is difficult to have a realistic idea of what they represent. A common approach is to compare the Bitcoin mining consumption with the amount of energy spent by countries. Thus, in 2017 it was estimated that Bitcoin energy consumption was higher than the consumption of 159 countries, based on a report by the International Energy Agency.⁹ If Bitcoin were a country, its 50.88 TWh of energy consumption would be higher than the yearly energy consumption of Portugal, just behind Uzbekistan, as shown in FIGURE 2.

Eat your Bitcoins

As a thought experiment, we propose to think of Bitcoins in terms of food. It's obvious that we cannot eat them, but what if the resources devoted to its production were relocated towards the production of food? We won't delve into the environmental convenience of current food production methods, but

TABLA/TABLE 2 Emisiones de CO₂ de la producción de alimentos y equivalente con emisiones por minado de Bitcoins.
CO₂ emissions in food production and food production with Bitcoin energy consumption.
Fuente / Source: Food's Carbon Footprint

Ranking Rank	Comida (1kg) Food (1kg)	Emisiones CO ₂ / Kg CO ₂ emissions per kg	Toneladas de comida con emisiones de CO ₂ de Bitcoin Tons of food with Bitcoin CO ₂ emissions
1	Cordero / Lamb	39,2	635.969
2	Res / Beef	27	923.333
3	Queso / Cheese	13,5	1.846.667
4	Cerdo / Pork	12,1	2.060.331
5	Pavo / Turkey	10,9	2.287.156
6	Pollo / Chicken	6,9	3.613.043
7	Atún / Tuna	6,1	4.086.885
8	Huevos / Eggs	4,8	5.193.750
9	Papas / Potatoes	2,9	8.596.552
10	Arroz / Rice	2,7	9.233.333
11	Frutos secos / Nuts	2,3	10.839.130
12	Porotos, tofu / Beans, tofu	2	12.465.000
13	Vegetales / Vegetables	2	12.465.000
14	Leche / Milk	1,9	13.121.053
15	Fruta / Fruit	1,1	22.663.636
16	Lentejas / Lentils	0,9	27.700.000



Al momento en que escribimos este texto, se estima que el consumo total de energía de la minería de Bitcoins ronda los 50,88 TWh, lo que equivale a una huella de carbono de 24.930 kt de CO₂⁸.

Estos números son tan grandes que resulta difícil hacerse una idea realista de lo que representan. Un recurso común es comparar el consumo del minado de Bitcoins con la cantidad de energía gastada por los países. De esta manera, se estima que en 2017 el consumo de energía de Bitcoin fue más alto que el consumo de 159 países, según un informe de la Agencia Internacional de la Energía⁹. Si Bitcoin fuera un país, su consumo de energía de 50,88 TWh sería mayor que el consumo de energía anual de Portugal y estaría justo detrás de Uzbekistán, como se muestra en la FIGURA 2.

Come tus Bitcoins

Como experimento teórico, proponemos pensar el minado de Bitcoins en términos de producción de alimentos. Es obvio que no podemos comerlos, pero, ¿y si los recursos dedicados a su producción se dedicaran a la producción de alimentos? No profundizaremos en el impacto ambiental de los diferentes métodos actuales de producción de alimentos, sino que simplemente compararemos lo que habríamos alcanzado si, en vez de extraer Bitcoins, hubiéramos producido alimentos. Cuando se habla de huella ecológica, los estudios suelen referirse a las emisiones de CO₂ de determinada actividad; este índice hace referencia al área de bosque necesaria para absorber el CO₂ generado por el consumo de energía, ya sea de forma directa o para producir los bienes de consumo de una determinada población o por cierto proceso de transformación. Centrándonos en los patrones de consumo energético, tomaremos como ejemplo el consumo de carne. Para producir 1kg de carne de cordero se emiten alrededor de 39,2 kg de CO₂. De esta manera podemos relacionarlos con los datos de emisiones anuales de la minería de Bitcoins:

$$24.930.000.000 \text{ kg} / 39,2 \text{ kg} = 635.969.387 \text{ kg de carne de cordero} = 635.969 \text{ toneladas}$$

simply compare what would we have achieved if instead of mining Bitcoins we would have produced food. When talking about ecological footprint, studies often refer to the CO₂ emissions from a certain activity – this index makes reference to the area of forest necessary to absorb the CO₂ generated by energy consumption, either directly or to produce the goods of consumption of a certain population or by certain transformation process. Focusing on consumption patterns and taking as an example the consumption of meat, we have that to produce 1 kg of lamb meat, around 39.2 kg of CO₂ are issued. We could relate this to the annual data from Bitcoin mining:

$$24,930,000,000 \text{ kg} / 39.2 \text{ kg} = 635,969,387 \text{ kg of lamb meat} = 635,969 \text{ tons}$$

TABLE 2 shows the greenhouse gas emissions produced by one kg of various food products. It includes all the emissions produced along the whole process, including those generated in the farm, in the factory, on the road, in the shop and at home. Meat, cheese and eggs have the highest carbon footprint; while fruit, vegetables, beans and nuts have much lower values.¹⁰ The table also shows the tons of food that the same energy consumption would have

“These numbers are so huge that it is difficult to have a realistic idea of what they represent. A common approach is to compare the Bitcoin mining consumption with the amount of energy spent by countries. Thus, in 2017 it was estimated that Bitcoin energy consumption was higher than the consumption of 159 countries.”

FIG 3 Consumo mundial de energía eléctrica por minado de Bitcoin en comparación con el consumo de energía eléctrica de cada país. *Global Bitcoin Mining consumption compared to each country's electricity consumption.*

Fuente / Source: powercompare.co.uk/bitcoin

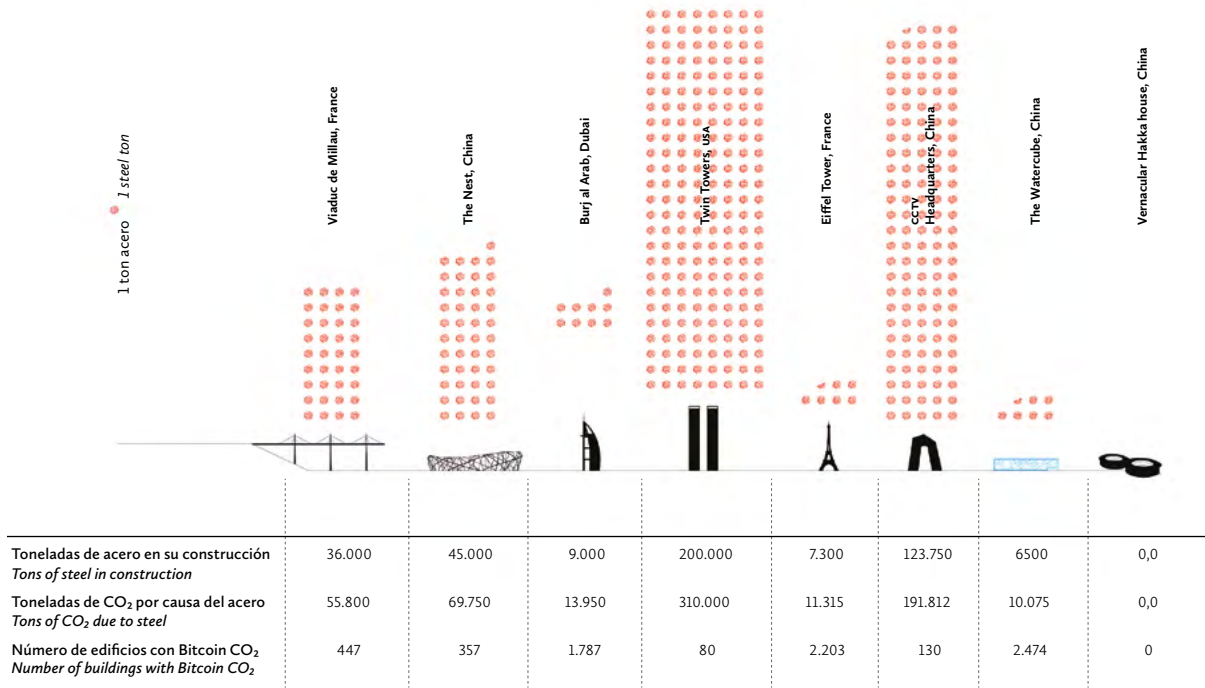


FIG 4 Consumo de acero y emisiones de CO₂ de algunos edificios icónicos. *Steel consumption and tons of CO₂ emissions of some iconic buildings.*

La TABLA 2 muestra las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por un kilo de algunos productos alimenticios. Incluye todas las emisiones producidas a lo largo del proceso, incluidas las generadas en la granja, la fábrica, el transporte, la venta en tienda y el hogar. La carne, el queso y los huevos tienen la mayor huella de carbono; mientras que las frutas, verduras, frijoles y nueces tienen huellas de carbono mucho más bajas¹⁰. La tabla también muestra las toneladas de alimentos que se habrían producido, basándonos en las emisiones por minado de Bitcoins.

Es difícil hacerse una idea de las toneladas de comida que se muestran arriba. Según la FAO¹¹, la producción de arroz en América Central para el año 2016 fue de 1.216.683 toneladas, esta cantidad sería cubierta 75 veces con las emisiones de CO₂ por minado de Bitcoins. Si hablamos de carne de res, la cantidad sería suficiente para cubrir la producción de Colombia (818.318 t) y Panamá (70.999 t) juntos o cuatro veces la producción chilena (215.266 t). Los datos son sorprendentes si consideramos la producción de leche entera en el continente americano para 2014, que fue de alrededor de 260.000 toneladas. De acuerdo con los datos anteriores, las emisiones de Bitcoin equivaldrían a las emisiones de producción de leche entera para 50 continentes americanos. Si hablamos de lentejas, tenemos que la producción mundial para 2016 fue de 6.315.858 toneladas, por lo que la misma cantidad de emisiones de CO₂ por minado de Bitcoins equivaldría a 4,4 veces la producción de lentejas del mundo entero.

Construir con Bitcoins

Otro enfoque ilustrativo resulta al comparar las emisiones de CO₂ de la minería de Bitcoins con las emisiones de

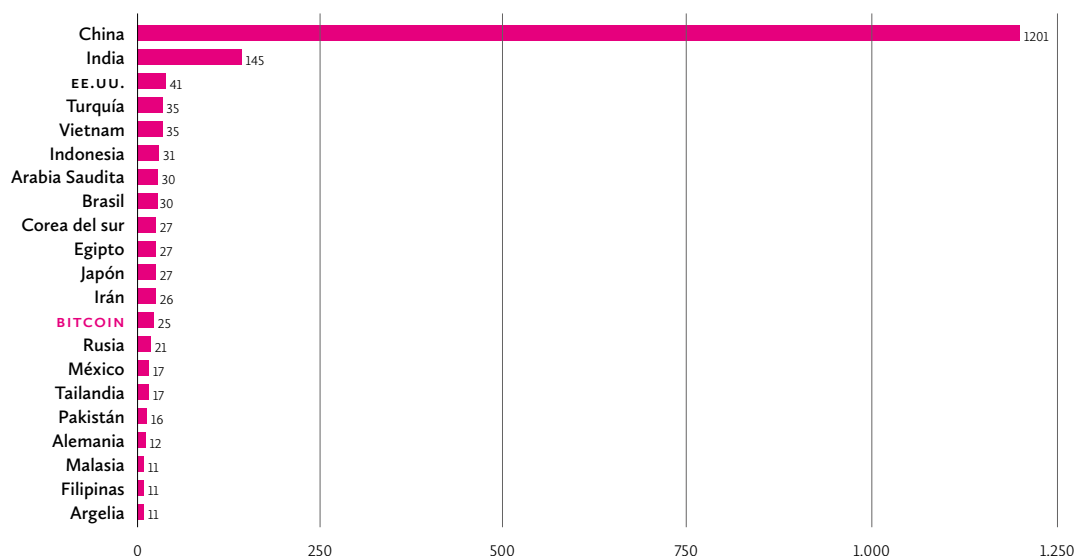
produced, if instead mining Bitcoins it would have been used for food production.

It's difficult to get the sense of bulk numbers of tons of food shown above. According to FAO¹¹ the production of rice in Central America for 2016 was 1,216,683 tons; considering CO₂ emissions, Bitcoin mining consumption would produce 75 times that number. If we talk about beef, the amount would be enough to cover Colombia (818,318 t) and Panama (70,999 t) together, or 4 times the Chilean production (215,266 t). The data is surprising if we consider whole milk production in the American continent for 2014, which was around 260,000 tons. According to the data above, Bitcoin emissions would be the equivalent to the emissions of producing whole milk for 50 American continents. If we talk about lentils, then we have that the world production for 2016 was 6,315,858 tons, so the same amount of CO₂ emission of Bitcoin mining would provide 4.4 times the production of lentils to the entire world.

Build with Bitcoins

Another illustrative approach would be to compare the CO₂ emission of Bitcoin mining with those of the materials used in construction. We don't intend to make an exhaustive life-cycle analysis but just show as graphically as possible that such digital activity has a series of hidden environmental costs which are not being discussed in depth yet.

To show this, we will rely on the carbon dioxide intensity ratio (CDIR) proposed by MacMath and Fisk, which is defined as the ratio between the net upstream CO₂ impact (emissions minus storage) of



algunos materiales utilizados en la construcción. Una vez más, no pretendemos hacer un análisis exhaustivo del ciclo de vida, sino mostrar de la manera más gráfica posible que esta actividad digital tiene una serie de costos ambientales ocultos que aún no se están discutiendo en profundidad.

Para ilustrar esto, nos basaremos en la razón de intensidad de dióxido de carbono (CDIR por sus siglas en inglés) propuesto por MacMath y Fisk, que se define como la relación entre el impacto neto ascendente de CO₂ (emisiones menos almacenamiento) de un material y el peso del material. Siguiendo su clasificación, la mayoría de los materiales de construcción metálicos, sintéticos, orgánicos y cerámicos son fuentes netas de emisiones de CO₂, mientras que los materiales naturales de construcción o con biomasa son reductores netos de CO₂, gracias a su capacidad de absorberlo (MacMath & Fisk, 2000).

Si tomamos el edificio de la sede central de CCTV en China de OMA, tenemos que se han utilizado 123,750 toneladas de acero para su construcción (Baraona Pohl, 2008), lo que representaría 191.812 toneladas de CO₂ con la relación CDIR como referencia. Entonces, si aplicamos la misma fórmula aritmética simple que relaciona toneladas de emisiones, tendríamos lo siguiente:

$$24.930.000 \text{ t} / 191.812 \text{ t} = 130 \text{ edificios de CCTV}$$

En el caso del edificio Burj al Arab en Dubai con 13.950 toneladas de CO₂ como huella ecológica del acero, el resultado de la misma ecuación sería 1.788 edificios. Si tomamos en cambio arquitectura vernácula, por ejemplo, las casas amuralladas de Hakka en China, la comparación con la relación CDIR es prácticamente imposible dadas sus emisiones de carbono cercanas a cero.

a material and the weight of the material. Following their classification, it appears that most metal, synthetic, organic, and ceramic building materials are net sources of CO₂ emissions, while natural organic or biomass building materials appear to be net CO₂ sinks. This is due to their capacity to absorb CO₂ (MacMath & Fisk, 2000).

If we take the CCTV Headquarters building in China by OMA, we have that 123,750 tons of steel were used for its construction (Baraona Pohl, 2008), which would represent 191,812 tons of CO₂ according to the CDIR ratio. Then, if we apply the same simple arithmetic formula for tons of emissions, then we would have the following:

$$24,930,000 \text{ t} / 191,812 \text{ t} = 130 \text{ CCTV buildings}$$

In the case of the Burj al Arab building in Dubai, with 13,950 tons of CO₂ due to steel, the result of the same equation would be 1,788 buildings. In the case of vernacular architecture, like Hakka walled houses in China, the comparison is practically impossible due to their near to zero carbon emissions.

The comparisons become more striking if instead of iconic architecture, we refer to housing. If we estimate that the carbon footprint of a new house in the UK is 80 tons of CO₂ (Berners Lee, 2018), then we would be able to build 311,625 units. If we go further and consider the emissions of a low carbon house with A certification (10.1 kg CO₂/m² year),¹² Bitcoin emissions would amount to 33 million houses of 75m².

If we talk in terms of cement, we can also draw more striking conclusions. Following data from to

FIG 5 Emisiones de CO₂ de la producción de cemento en 2016. *CO₂ Cement emissions in 2016.* Fuente / Source: Global Carbon Project

«Si nos deshacemos de la función monetaria como *leitmotiv* de estos nuevos sistemas descentralizados, podemos sustituir la prueba de trabajo, y su alta demanda de energía, que es principalmente una medida de protección económica. Entonces podremos ver que están surgiendo infraestructuras de confianza, de gobernanza distribuida y formas descentralizadas de colaboración construidas sobre las premisas de la cadena de bloques.»

La comparación es todavía más sorprendente si en lugar de arquitectura icónica utilizamos viviendas como referencia. Si estimamos que la huella de carbono de una casa nueva en el Reino Unido es de 80 toneladas de CO₂ (Berners Lee, 2018), entonces podríamos construir 311.625 unidades. Si vamos más allá y consideramos las emisiones de una casa con certificación A de eficiencia energética (10.1 kg CO₂ / m² año)¹², las emisiones por minado de Bitcoin serían las mismas que las de 33 millones de viviendas de 75 m².

Si lo planteamos en términos de cemento, también podemos sacar conclusiones muy reveladoras. Según los datos del Global Carbon Atlas, la huella de Bitcoin es más alta que la emisión de CO₂ por producción de cemento de la Federación Rusa (21.000 kt) en 2016. Si incluimos a Bitcoin en esta tabla, ocuparía el puesto 13 con 24.930 kt justo después de Irán (26.000 kt)¹³.

Tomar como fuente las bases de datos nacionales presenta algunas dificultades, ya que las emisiones resultantes de la extracción y el transporte pueden diferir sustancialmente de un lugar a otro. La producción primaria y el uso de productos reciclados también son factores a tener en cuenta. Esta es la razón por la que este tipo de comparaciones sólo deben tomarse como una herramienta pedagógica para comunicar de manera gráfica interpretaciones alternativas de la minería de Bitcoins, que se difunde y explica principalmente por su rentabilidad económica. Los números anteriores son útiles para una comprensión diferente de la cantidad masiva de emisiones que se generan a partir de una actividad que, si bien parece prometedora, tiene escasa aplicación en las transacciones de nuestra vida cotidiana.

El dinero es la parte fácil

Hemos visto que una de las características principales de la producción de Bitcoins es que consume mucha energía. Está claro que la minería de Bitcoins es una actividad reservada para los pocos que controlan un inmenso poder de cómputo, ya que el sistema de prueba de trabajo exige una infraestructura y gastos de electricidad que son prohibitivos para sus pares domésticos. Por otro lado, no está claro si su uso como moneda alternativa y sistema de pago será adoptado para transacciones al

the Global Carbon Atlas, the Bitcoin footprint is higher than the CO₂ cement emission of the Russian Federation (21,000 kt) in 2016. If included in this table, Bitcoin would rank number 13, just after Iran, with (26,000 kt).¹³

Referring to national database sources presents some difficulties, as the emissions resulting from extraction and transport may substantially differ from one place to another. Primary production and the use of recycled products are also factors to take into account. This is why this kind of comparisons should be only taken as a pedagogical tool to communicate in a graphical way alternative interpretations of Bitcoin mining, which are mainly broadcasted by their economic profitability. The figures above foster a different understanding of the massive amount of emissions devoted to an activity that, however promising, has a scarce application in daily life activities.

Money is the easy part

We have seen that one of the main characteristics of Bitcoin cryptonetwork is that it is high energy consuming. It's clear that mining Bitcoins is an activity reserved for the very few who control immense computing power, as the proof of work system demands infrastructure and electricity expenditures that are prohibitive for domestic peers. On the other hand, it's not clear that its use as an alternative currency and payment system will be undoubtedly adopted for retail transactions, especially because the process of setting up a wallet, acquiring Bitcoins and find retailers willing to accept them is an unwieldy process.¹⁴ What exactly is happening in the fields of economy, hacking, and social and digital innovation, if a tool that didn't effectively succeed as a currency is still triggering so much attention? Should we accept that the thermodynamic cost of Bitcoin has simply placed it in the Olympus of expensive toys, whimsically developed by humankind, like cars and weapons?

Maybe we shouldn't understand Bitcoin and its sibling cryptocurrencies just as a new kind of money, something that capitalism's inertia has made us think with greedy enthusiasm. "Abstracted from the question of value exchange, the blockchain offers us a tool of surprisingly broad utility that we didn't know we needed, and didn't even have a language to properly describe, until it was dropped in our laps" (Greenfield, 2017). The idea of a distributed autonomous organization latent in blockchain has powerful implications. We might disagree with Mark Fisher (2009) when he noted that: "not only capitalism is the only viable political and economic system, but also it is now impossible even to imagine a coherent alternative to it."

If we get rid of the monetary function as the leitmotif of these decentralized systems, we can substitute the high energy demanding proof of work, which is mainly an economic protection

por menor, especialmente porque instalar una billetera, adquirir Bitcoins y encontrar minoristas dispuestos a aceptarlos es un proceso difícil y engorroso¹⁴. ¿Qué está sucediendo en la economía, la informática y la innovación social y digital, cuando una herramienta que ha tenido escasa implantación como moneda sigue suscitando tanta atención? ¿Deberíamos aceptar que el costo termodinámico del Bitcoin ha servido solamente para reservar un lugar en el Olimpo de los juguetes caros caprichosamente desarrollados por la humanidad, como los autos y las armas?

Quizás deberíamos dejar de ver al Bitcoin y a sus criptomonedas hermanas solamente como un nuevo tipo de dinero, eso es lo que la inercia del capitalismo nos ha hecho pensar con codicioso entusiasmo. «Abstraído del uso como de moneda de cambio, el *blockchain* nos ofrece una herramienta con una utilidad asombrosamente amplia, que no sabíamos que necesitábamos, y para la que ni siquiera teníamos un lenguaje con el cual describirla correctamente, hasta que cayó en nuestras manos» (Greenfield, 2017). El potencial latente en *blockchain*, de construir organizaciones autónomas distribuidas, tiene poderosas implicancias. Podríamos no estar de acuerdo con Mark Fisher (2009) cuando señaló que «el capitalismo no sólo es el único sistema político y económico viable, sino que actualmente es imposible siquiera imaginar una alternativa coherente».

Si nos deshacemos de la función monetaria como *leitmotiv* de estos nuevos sistemas descentralizados, podemos sustituir la prueba de trabajo y su alta demanda de energía, que es principalmente una medida de protección económica. Entonces podremos ver que están surgiendo infraestructuras de confianza, de gobernanza distribuida y formas descentralizadas de colaboración construidas sobre las premisas de la cadena de bloques. Iniciativas impulsadas por tecnología *blockchain* como FOAM, DOMA y Phi son ejemplos de las posibilidades de organizaciones autónomas descentralizadas que tienen manifestaciones espaciales específicas en contextos urbanos y rurales¹⁵. Las implicancias de este nuevo tipo de uniones sobrepasan a muchas de las instituciones que consideramos inmutables, como las naciones estado o las autoridades financieras supranacionales. Conceptos nuevos como los ‘contratos inteligentes’, ‘pares no-humanos’, ‘consenso autónomo’ o ‘beneficios distribuidos’ no deben hacernos olvidar que por nuestra naturaleza física siempre existirán flujos ocultos que hacen que nuestras construcciones humanas funcionen. La energía es importante, pero también lo es la base material que la genera, de manera tal que no podemos olvidar el costo termodinámico que tienen nuestros objetos y las herramientas para fabricarlos. La serie de conceptos y herramientas que estamos desarrollando pueden ser difíciles de manejar para una mente en solitario, pero afortunadamente estamos explorando el poder de la colectividad para ajustar sus disonancias. **ARQ**

“If we get rid of the monetary function as the leitmotif of these decentralized systems, we can substitute the high energy demanding proof of work, which is mainly an economic protection measure. Then, we can focus on the emergence of trust infrastructures, distributed governance and decentralized ways of collaboration built on blockchain concepts.”

measure. Then, we can focus on the emergence of trust infrastructures, distributed governance and decentralized ways of collaboration built on blockchain concepts. Initiatives powered by blockchain technology like FOAM, DOMA, and Phi are examples of some of the possibilities of decentralized autonomous organizations with specific spatial manifestations in urban and rural contexts.¹⁵ The implications of this new kind of assembles surpass many of the institutions we see as immutable, as state nations or supranational financial authorities. The new set of concepts including ‘smart contracts,’ ‘non-human peers,’ ‘autonomous consensus,’ or ‘distributed benefits’ shouldn’t make us forget that there are always hidden fluxes that make our human constructions work. Energy is important, but so is the material base that sustains it, and we cannot abstract ourselves from the thermodynamic cost of our stuff and the tools to make it. The series of concepts and tools we are developing might be difficult to manage by a single mind, but we are also exploring the power of the collectivity to adjust their dissonances. **ARQ**

Notas / Notes

- 1 El protocolo de Bitcoin fue descrito en un *paper* académico escrito en 2008 por un desarrollador que firmaba como Satoshi Nakamoto. Estaba destinado a ser un sistema de pago electrónico entre pares que fuera seguro, asequible y más eficiente que los servicios bancarios convencionales. El sistema se desarrolló con *software* de código abierto y la primera transacción de bitcoin (también conocida como el Bloque Génesis) se confirmó el 3 de enero de 2009.
- 2 A principios de 2017, la tasa de cambio por Bitcoin era de alrededor de USD \$ 900. El cambio llegó a su punto máximo el 17 de diciembre cuando alcanzó los USD \$ 20.000. Su considerable volatilidad ha generado un rápido crecimiento, seguido de caídas repentinas en el último año. Actualmente el cambio está en torno a los USD \$ 10.000 /Bitcoin.
- 3 Por ejemplo, el Moonlight Project, que comenzará a operar en agosto de 2018, tiene la intención de gestionar varios centros de datos a escala industrial, destinados exclusivamente a la minería de criptomonedas, confiando en las condiciones climáticas de Islandia y utilizando fuentes de energía hidroeléctrica, geotérmica y eólica <<https://www.moonlite.io/>>. Sin embargo, el corazón de la minería de Bitcoins se encuentra actualmente en China, que ofrece algunos de los precios de electricidad más baratos del mundo y donde las plantas de carbón alimentan granjas de circuitos integrados para aplicaciones específicas (ASIC por sus siglas en inglés) que están específicamente diseñadas para la tarea de calcular el algoritmo de *hash* de Bitcoin.
- 4 Prueba de trabajo. BitcoinWiki. <https://en.bitcoin.it/wiki/Proof_of_work> Consultado el 20 de febrero de 2018
- 5 <<https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>> Consultado el 16 de febrero de 2018.
- 6 <<https://blockchain.info/charts>> Consultado el 16 de febrero de 2018.
- 7 Bitcoin Electricity Consumption: An Economic Approach. <<https://digiconomist.net/bitcoin-electricity-consumption>> Consultado el 21 de febrero de 2018
- 8 La producción o los consumos masivos de energía se expresan a menudo en teravatios por hora (TWh) durante un período determinado, que suele ser un año calendario. Un año de 365 días equivale a 8.760 horas, así que en un período de un año una potencia de un gigavatio (10^9 vatios) equivale a 8.76 teravatios hora de energía. Por el contrario, un teravatio (10^{12} vatios) hora equivale a una potencia sostenida de aproximadamente 114 megavatios (10^6 vatios) durante un período de un año.
- 9 <<https://www.iea.org/>>
- 10 Huella de carbono de algunos alimentos. <<http://www.greeneatz.com/foods-carbon-footprint.html>> Los datos extraídos de Environmental Working Group (EWG) en asociación con CleanMetrics Corp se refieren a las emisiones de CO₂ de la producción de alimentos en los EE.UU. en 2011 e incluyen los siguientes procesos: producción y transporte de insumos materiales utilizados para cultivar o alimentar animales, generación en el campo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), uso de energía en la finca, transporte de animales y cultivos cosechados, procesamiento, refrigeración, cocción, venta al por menor y desechos de los consumidores. La producción de alimentos con insumos energéticos menos intensivos mostraría una comparativa más dramática.
- 11 FAO STAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Consultado el 21 de febrero de 2018
- 12 IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Escala de calificación energética para edificios de nueva construcción. 2009
- 13 <<http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>>
- 14 En agosto de 2013 abrimos un espacio de venta online para nuestros libros usando Bitcoins. El monto total recaudado fue cero. <<https://architect.com/firms/release/9215461/no-money-you-can-buy-our-e-books-with-bitcoins/79834053>>
- 15 FOAM <<https://www.foam.space/>> construye protocolos que combinan datos geoespaciales con cadenas de bloques. DOMA <<http://doma.city>> es una propuesta de cooperativa de vivienda sin fines de lucro, que incorpora contratos inteligentes al negocio inmobiliario. Phi <<https://phi.is/>> propone sistemas de energía descentralizados en entornos rurales. Los dos últimos son resultados del New Normal Education Programme del Strelka Institute, ambos seleccionados por la plataforma Future Architecture entre los proyectos emergentes destacados de 2018.
- 1 Bitcoin protocol was described in an academic paper written in 2008 by a developer under the name of Satoshi Nakamoto. It was intended to be a peer-to-peer electronic cash system that was secure, affordable, and more efficient than conventional banking standards. The system was developed into open-source software and the first Bitcoin transaction (also known as the Genesis Block) was confirmed on January 3, 2009.
- 2 By early 2017, the exchange rate per BTC was around USD \$ 900, it reached its peak in December 17th, hitting the USD \$ 20,000 mark. Its considerable volatility has mixed rapid growth with sudden declines in the last year and currently is set around USD \$ 10,000.
- 3 For instance, the Moonlight Project, set to begin in August 2018, seeks to operate several industrial-scale data centers in the Crypto-Currency Mining industry, relying in Iceland climatic conditions and using hydro, geothermal, and wind sources. See: <<https://www.moonlite.io>> However, the heart of Bitcoin mining is now in China with some of the cheapest electricity prices in the world, where coal plants fuel farms of application-specific integrated circuits (ASICs), which are specifically designed for the task of computing the Bitcoin hashing algorithm.
- 4 Proof of Work. BitcoinWiki. <https://en.bitcoin.it/wiki/Proof_of_work> Accessed February 20, 2018
- 5 <<https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>> Accessed February 16, 2018
- 6 <<https://blockchain.info/charts>> Accessed February 16, 2018
- 7 "Bitcoin Electricity Consumption: An Economic Approach." <<https://digiconomist.net/bitcoin-electricity-consumption>> Accessed February 21, 2018
- 8 Major energy production or consumption is often expressed as terawatt hours (TWh) for a given period that is often a calendar year or financial year. A 365-day year equals to 8,760 hours, therefore, over a period of one year, a power of one gigawatt equates to 8.76 terawatt hours of energy. Conversely, one terawatt hour is equal to a sustained power of approximately 114 megawatts per year.
- 9 <<https://www.iea.org/>>
- 10 Food's Carbon Footprint. <<http://www.greeneatz.com/foods-carbon-footprint.html>> Data extracted from the Environmental Working Group (EWG) partnered with CleanMetrics Corp, refers to CO₂ emission of food production in U.S. in 2011 and include the following processes: Production and transport of 'inputs,' the materials used to grow crops or feed animals, on-farm generation of GHG emissions, on-farm energy use, transportation of animals and harvested crops, processing, refrigeration, cooking, retail and consumer waste. Food production with less intensive inputs would show an even more dramatic contrast.
- 11 FAO STAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Accessed February 21, 2018
- 12 IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Escala de calificación energética para edificios de nueva construcción. 2009
- 13 <<http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>>
- 14 In August 2013 we opened a sale space for people to purchase our books using Bitcoins. The total amount collected was 0. <<https://architect.com/firms/release/9215461/no-money-you-can-buy-our-e-books-with-bitcoins/79834053>>
- 15 FOAM <<https://www.foam.space/>> builds spatial protocols that bring geospatial data to blockchains. DOMA <<http://doma.city>> is a proposal for a non-profit housing cooperative that brings smart contracts to real estate business. Phi <<https://phi.is/>> proposes decentralized energy systems. The last two are outcomes from the New Normal Education Programme of the Strelka Institute for Media, Architecture and Design, both selected by the Future Architecture platform among highlighted emergent creatives.

Bibliografía / Bibliography

- BARAONA POHL, Ethel. *Watercube. The Book*. Barcelona: dpr-barcelona, 2008.
- BENNETT, Charles. «The Thermodynamics of Computation—a Review.» *International Journal of Theoretical Physics* 21 (12, 1982): 905-40.
- BERNERS LEE, Mike. «What's the carbon footprint of building a house?» *The Guardian*, Oct, 14, 2010. <<https://www.theguardian.com/environment/green-living-blog/2010/oct/14/carbon-footprint-house>> Accessed February 21, 2018.
- DIXON, Chris. «Why Decentralization Matters?» *Medium*. February 18th, 2018. <https://medium.com/@cdixon/why-decentralization-matters-5e3f79f7638e> Accessed February 22, 2018.
- FISHER, Mark. *Capitalist Realism. Is there no Alternative?* Winchester: Zero Books, 2009.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. «Comments on the Papers by Daly and Stiglitz.» In: Smith, V., editor, *Scarcity and Growth Reconsidered*. New York: Resources for the Future Press, 1979.
- GREENFIELD, Adam. *Radical Technologies*. Brooklyn, NY: Verso, 2017.
- HILEMAN, Garrick; RAUCHS, Michel. *Global Cryptocurrency Benchmark Study*. Cambridge: Center for Alternative Finance, University of Cambridge, 2017.
- MACMATH, Richard; FISK, Pliny. «Carbon Dioxide Intensity Ratios: A Method of Evaluating the Upstream Global Warming Impact of Long-Life Building Materials.» Center for Maximum Potential Building Systems, Austin, TX, 2000.
- RITCHIE, Hannah; ROSER, Max. «Energy Production & Changing Energy Sources.» *OurWorldInData.org*, 2018. <<https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources>> Accessed February 16 2018
-

Ethel Baraona Pohl

<ethel.baraona@gmail.com>

Crítica, escritora y curadora. Cofundadora del taller de investigación independiente y editorial dpr-barcelona, que opera en los campos de la arquitectura, la teoría política y el medio social. Editora de Quaderns d'arquitectura i urbanisme entre 2011-2016, sus textos han sido publicados en *Open Source Architecture* (Thames y Hudson, 2015), *The Form of Form* (Lars Muller, 2016), *Together! The New Architecture of the Collective* (Ruby Press, 2017) y *Harvard Design Magazine*, entre otros. Curadora asociada de Adhocracy en la Bienal de Diseño de Estambul (2012), expuesta en el New Museum, NYC (mayo de 2013) y Lime Wharf, Londres (verano de 2013); también co-curadora de Adhocracy ATHENS en el Centro Cultural Onassis, 2015. Directora de Foros, la serie de conferencias de arquitectura de la Escuela de Arquitectura de Barcelona UIC 2017.

Critic, writer and curator. Co-founder of the independent research studio and publishing house dpr-barcelona, which operates in the fields of architecture, political theory and the social milieu. Editor of Quaderns d'arquitectura i urbanisme from 2011-2016, her writing appears in *Open Source Architecture* (Thames and Hudson, 2015), *The Form of Form* (Lars Muller, 2016), *Together! The New Architecture of the Collective* (Ruby Press, 2017), and *Harvard Design Magazine*, among others. Associate curator for Adhocracy, Istanbul Design Biennial (2012) and exhibited at the New Museum, NYC (May 2013) and Lime Wharf, London (summer 2013); also co-curator of Adhocracy ATHENS at the Onassis Cultural Centre, 2015. Director of Foros, the architecture lecture series of the UIC Barcelona School of Architecture in 2017.

César Reyes Najera

<cesareyes@gmail.com>

Arquitecto, PhD en Sistemas de Construcción y Materiales Bioclimáticos. Cofundador del taller de investigación independiente y editorial dpr-barcelona. Su investigación y trabajos teóricos están vinculados a publicaciones líderes en arquitectura, siendo asesor Archis para la revista *Volume*. Sus textos pueden encontrarse en libros de arquitectura, impresos y digitales, como *Architecture is All Over* (Columbia Books on Architecture and the City, 2017), *(On the Floating World of) the FX Beauties* (Christine Bjerke (ed.), 2017) *Archifutures vol. 1: The Museum* (dpr-barcelona, 2016), *Uncube* y *Continent*, entre otros. Co-curador del tercer programa Think Space bajo el tema 'Money', y co-comisario de Adhocracy ATHENS en el Centro Cultural Onassis, 2015. Su oficina, dpr-barcelona, es miembro de la plataforma Future Architecture.

Architect, PhD in Bio-climatic Construction Systems and Materials. Co-founder of the independent research studio and publishing house dpr-barcelona. His research and theoretical work is linked to leading publications in architectural discourse, including Archis advisor for *Volume* magazine. His writing can be found in architecture books, both printed and digital, such as *Architecture is All Over* (Columbia Books on Architecture and the City, 2017), *(On the Floating World of) the FX Beauties* (Christine Bjerke (ed.), 2017) *Archifutures vol. 1: The Museum* (dpr-barcelona, 2016), *Uncube* and *Continent*, among others. Co-curator of the third Think Space program with the theme 'Money,' and co-curator of Adhocracy ATHENS at the Onassis Cultural Center, 2015. His practice, dpr-barcelona is member of Future Architecture platform.