

# Bitcoin, una mirada desde la dinámica de sistemas

Valentina Movil Sandoval, Laura Katterine Zapata Rendón, Mariana Quintero Montoya, Isabela Pérez Serna  
Modelación y Simulación III, Departamento de Ciencias Matemáticas, Escuela de Ciencias  
Universidad EAFIT  
vmovils@eafit.edu.co, lkzapatar@eafit.edu.co, mquintero3@eafit.edu.co, iperezs2@eafit.edu.co,

**Abstract**— Una criptomoneda o criptoactivo, es un medio digital de intercambio que utiliza criptografía para asegurar las transacciones, controlar la creación de unidades adicionales y verificar la transferencia de activos usando tecnologías de registro público descentralizado [12].

Seguidamente, en este proyecto se estudia la primera criptomoneda en operar, el Bitcoin. Por lo que, con base en la dinámica de sistemas se busca entender la relación existente entre 3 variables fundamentales de esta economía: la generación de monedas, la tasa de Hash, las ganancias asociadas a la minería y el impacto medioambiental de la red.

Por último, establecer dicha relación permitirá obtener una visión general del Bitcoin básico y su funcionamiento. De manera que, se puedan proponer políticas y/o escenarios posibles que permitan una mejor toma de decisiones para la permanencia y adhesión de nuevos usuarios y, el crecimiento en el mercado de la moneda.

## I. ARTICULACIÓN DEL PROBLEMA

### Introducción

El Bitcoin (BTC) es una moneda digital descentralizada creada en 2008 por Satoshi Nakamoto [1]. Dicha pecunia, al igual que el dinero convencional, permite la adquisición de bienes y servicios únicamente a través de la web. De manera que, ningún gobierno y/o banco puede ejercer control sobre los movimientos financieros.

Seguidamente, el funcionamiento del Bitcoin se basa en la tecnología emergente del Blockchain. Esto es, una cadena de bloques que consisten en un conjunto de transacciones enlazadas criptográficamente usando un alto poder computacional. Por esta razón, el Bitcoin puede verse como un libro contable en el que se lleva registro de todas las transacciones realizadas dentro de la red. Así que, todos los participantes tienen una copia de dicho libro [2].

Por otro lado, en la red de Bitcoin hay dos tipos de participantes: mineros y no mineros. En concreto, los mineros se encargan de realizar cálculos matemáticos mediante computadoras para validar las transacciones de la red e incrementar la seguridad en la misma. De hecho, a esta actividad se le denomina minería [1, 2, 3].

Como resultado, los mineros reciben un incentivo económico, el cual incluye la recompensa por bloque minado (en BTC) y los ingresos por cada transacción confirmada (en BTC). Mientras que, los participantes no mineros tan solo realizan transacciones en la red.

Adicionalmente, si bien el minado permite el ingreso de nuevas monedas a la economía del Bitcoin, este requiere un alto poder computacional o *hashing power* [2, 3], lo que se traduce, en una mayor infraestructura física y/o tecnológica para minar. Por consiguiente, los mineros deben afrontar los gastos asociados a la compra y mantenimiento de dichas instalaciones, viendo así, un decremento en sus incentivos. Igualmente, para toda la red de Bitcoin, el requerir dicho poder computacional, supone una huella de carbono más marcada, lo que a largo plazo puede ocasionar el retiro de usuarios potenciales e incluso, la caída de los precios de la criptomoneda [4].

Por todo lo anterior, en este trabajo se pretende emplear la dinámica de sistemas para construir una modelación y simulación que permita entender la relación existente entre la creación de nuevas monedas y, los efectos que tiene las ganancias de la minería en la capacidad computacional de la red o Tasa Hash y el impacto medio ambiental del Bitcoin.

### Problema y Horizonte de Tiempo

Ya se dijo que el Bitcoin fue creado en 2008, sin embargo, esta criptomoneda tan solo comienza a utilizarse en el 2009 cuando Satoshi Nakamoto mina el primer bloque de bitcoins conocido como el bloque génesis [5].

Del mismo modo, en 2005, se estableció que técnicamente, el Bitcoin es una red de computadoras conectadas a nivel global que realizan y validan transacciones monetarias mediante un protocolo conocido como peer-to-peer [1, 5]. De hecho, dichas transacciones pueden ser, comprar y/o vender productos, o simplemente generar nuevas monedas, sin que un tercero estatal o bancario ejerza alguna vigilancia y/o control. Es por ello por lo que, los movimientos descritos se registran en un gran libro contable de dominio público dentro de la red denominado *Blockchain*.

En lo que se refiere a la creación de nuevas monedas y a su respectiva incorporación en la red, esto depende sustancialmente del número de Bitcoins en circulación (Véase Figura 1.) y de la cantidad de bloques minados diariamente [6].

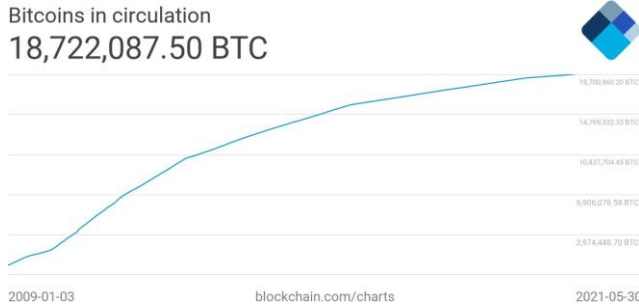


Fig. 1. Bitcoins en circulación [7]

Por consiguiente, para minar bloques de la cadena de Blockchain, es preciso gozar de una alta capacidad computacional o tasa de hash (Véase Figura 2.). Asimismo, dicha cualidad es premiada con recompensas económicas o su equivalente, ingresos por minar.

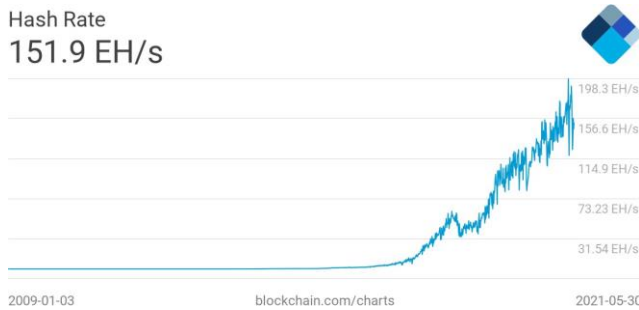


Fig. 2. Tasa de Hash de la red Bitcoin [7]

A pesar de que, una alta tasa de hash implica un mayor número de bloques minados e ingresos por día. Es importante considerar que, esto incide negativamente en las ganancias y/o beneficios económicos de la minería, los cuales, se definen por la diferencia entre los ingresos y los costos por minar. De ahí que, a mayores ingresos por minar, mayores costos asociados con la infraestructura de minado y menor ganancia y/o beneficios por minar (Véase Figura 3.).

Por lo que respecta a los costos asociados a la infraestructura de minado, hay que decir que, a mayor capacidad computacional existirá un mayor consumo energético. Por lo que, la cuantía de la energía subirá (Véase Figura 4.).



Fig. 3. Ganancias por minar Bitcoin [8]

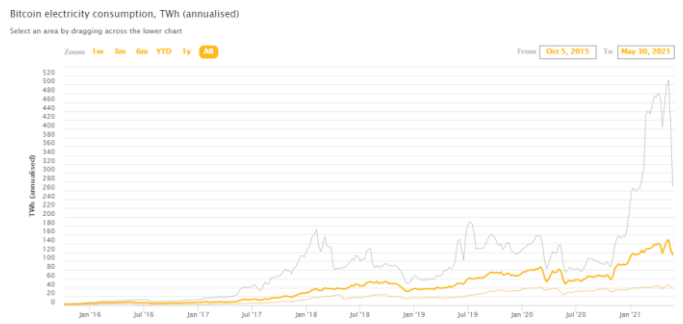


Fig. 4. Costos de energía asociados a la minería [9]

Desde otro punto de vista, en [9] se expone que el 60% la energía necesaria para minar procede de fuentes fósiles. Notando que, la huella de carbón y el impacto medio ambiental del Bitcoin se incrementan, ocasionando que disminuya la sostenibilidad de la criptomoneda.

Finalmente, en este trabajo se establece como horizonte de tiempo el año en el que se empezó a minar Bitcoins (2009) hasta el año en que se espera minar criptomonedas con energías verdes (2025) [10].

### Uso de la dinámica de sistemas

La Dinámica de Sistemas (DS) es un enfoque para el modelado de sistemas en términos de niveles, flujos y ciclos de retroalimentación. Igualmente, dicho enfoque sirve para modelar tanto aspectos técnicos como sociales de los sistemas complejos que surgen con la adopción del Bitcoin y otras criptomonedas. Por esta razón, la DS es una técnica apropiada para estudiar la dinámica económica de estas nuevas formas de dinero gracias a su capacidad para explicar fenómenos sistémicos emergentes en términos de interacciones entre factores relacionados con el comportamiento humano y la arquitectura (técnica) del sistema.

En suma, este documento expone cómo la DS puede ser una herramienta potente y accesible para representar la arquitectura del Blockchain y el comportamiento del mercado relacionado al Bitcoin como sistema complejo. De ahí que, el poder de la DS en este contexto radique en la capacidad de integrar los dos aspectos en uno solo.

## II. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DINÁMICA

### Diagrama causal

A continuación, en la Figura 5, se presenta el Diagrama Causal que abrevia el problema brevemente detallado.

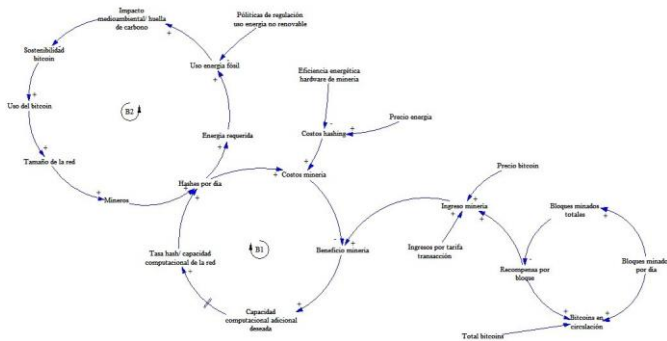


Fig. 5. Diagrama causal [Propia]

Naturalmente, dicho diagrama se compone de dos ciclos de balance descritos como sigue:

- **Ciclo de balance 1:** Este ciclo de balance está compuesto por las variables relacionadas con la capacidad computacional de la red bitcoin.

Luego, en este ciclo, se puede evidenciar cómo el beneficio de la minería, que es la diferencia entre los ingresos y los costos, afecta la capacidad computacional de la red. De manera que, si el beneficio es alto, se querrá mejorar la capacidad computacional para realizar mayor cantidad de hashes diarios. Esto es, a mayor beneficio mayor capacidad computacional adicional deseada.

Por otro lado, hay que decir que, dicho incremento en la capacidad computacional se verá reflejado en la tasa hash con cierto retardo en el tiempo, y así si la tasa hash aumenta entonces se realizan más hashes diarios y con ello se incrementan los costos de la minería disminuyendo a su vez el beneficio total. En últimas, el efecto del ajuste en la capacidad computacional termina cerrando el ciclo con la disminución del beneficio total.

- **Ciclo de balance 2:** Este ciclo de balance está compuesto por las variables que se relaciona con el aspecto medioambiental de la red bitcoin.

Adicionalmente, aquí se pueden evidenciar diversas variables que detallan el comportamiento que la red bitcoin respecto a la generación de gases de efecto invernadero. Particularmente, mientras más hashes se realicen diariamente, la red consumirá mayor energía.

Por consiguiente, si la energía que usa la red bitcoin proviene mayoritariamente de combustibles fósiles, la red tendrá un mayor impacto medioambiental, debido a la emisión de

gases de efecto invernadero, disminuyendo la sostenibilidad del bitcoin.

Seguidamente, si la sostenibilidad del bitcoin decrece entonces menos personas se unirán a la red y por tanto la cantidad de mineros se reduce, generando menor cantidad de hashes diarios.

Por último, el declive de la sostenibilidad del Bitcoin crea un ciclo de equilibrio, en donde dicha variable supone un factor importante que termina relacionándose con el tamaño de la red.

Para finalizar, otras variables que no son tan obvias en el diagrama y se puedan dar para diferentes interpretaciones son:

- **Huella de carbono:** Hace referencia a ese impacto medioambiental que genera la red de bitcoin y está medida en cantidad de gases de efecto invernadero generados por día.
- **Sostenibilidad bitcoin:** Se refiere a ese nivel de equilibrio que tiene la red bitcoin con los recursos medioambientales.
- **Ingresos por tarifa transacción:** Las transacciones hechas por los usuarios en la red de bitcoin poseen algo llamado tarifa de transacción, esta tarifa es un pequeño precio por transacción pagado por el usuario que realiza dicha acción y el cual va dirigido directamente a los ingresos del minero encargado de procesar dicha transacción, es por esto que es una variable importante a considerar si se habla de los ingresos totales de los mineros de la red.
- **Eficiencia energética hardware de minería:** Tal y como su nombre lo indica esta variable se refiere a la optimización de energía que el hardware de cada minero puede tener, esta optimización por supuesto reduce el consumo de energía usado y a su vez los costos de esta energía. Por lo que la variable se centra en representar el nivel de eficacia energética que cada minero posee.
- **Tasa Hash:** Esta variable hace referencia a la capacidad computacional actual de la red que tienen los mineros.
- **Parámetro capacidad deseada:** Es una variable necesaria en el modelo para la consistencia dimensional del mismo.
- **Capacidad computacional adicional deseada:** Esta variable se refiere a la capacidad computacional extra, es decir, adicional a la que ya se tiene, que se desea tener en la red.

## Diagrama de flujos y niveles

Después de proponer el Diagrama causal del problema a modelar, se plantea el Diagrama de flujos y niveles consecuente como se presenta en la Figura 6.

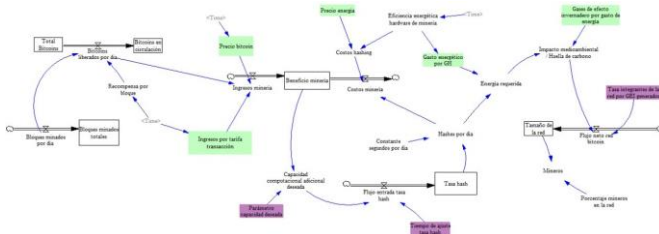


Fig. 6. Diagrama de flujos y niveles [Propia]

### III. FORMULACIÓN DEL MODELO

#### Supuestos, entradas y salidas del modelo

Para este modelo, como entradas se tienen las siguientes variables exógenas:

- El precio de bitcoin
- Los ingresos por tarifa de transacción
- La eficiencia energética
- Precio de la energía
- Gases de efecto invernadero por gasto de energía
- Valor inicial de la Tasa de Hash

Adicionalmente, los valores de dichas variables se obtienen de las series temporales expuestas por [6], [7] y [9].

Además, para la realización del modelo se suponen los siguientes valores:

- El tiempo de ajuste de la tasa de hash
- El parámetro de capacidad deseada
- La tasa de integrantes de la red
- El porcentaje de mineros en la red

En conclusión, como salida del modelo se requieren: los bitcoins en circulación, los ingresos de la minería, la capacidad computacional o tasa de Hash y el impacto medioambiental del Bitcoin.

#### Análisis dimensional del modelo

Considere la siguiente configuración para el modelo:

- USD = Dólares americanos
- BTC = Bitcoin
- Unidad de tiempo = Día
- MtCO<sub>2</sub> = Toneladas de gases efecto invernadero generadas

En resumen, en la Figura 7. se expone las variables del modelo con sus respectivas unidades y ecuaciones, considerando la configuración y supuestos detallados.

## Ecuaciones del modelo, valores de parámetros y condiciones iniciales

En primer lugar, **las ecuaciones que rigen el presente modelo se detallan en la Figura 7.**

Posteriormente, los valores de parámetros y condiciones iniciales se establecen así:

- **Precio del Bitcoin:** Se consideran los datos históricos correspondientes al precio en USD del Bitcoin desde 2009 hasta mayo del 2021 propuestos en la Figura 8.
- **Ingresos por tarifa de transacción:** Al igual que con los Precios del Bitcoin, se consideran los datos históricos correspondientes a los Ingresos mineros por tarifa de transacción desde el 2009 hasta mayo del 2001.
- **Precio de la energía:** El precio de la energía se da de acuerdo con [11]  $1.389 \cdot 10^{-8} \text{USD/J}$ .
- **La eficiencia energética del Hardware:** En [6] según el tipo de tecnología para minar Bitcoins, se establece la eficiencia energética del Hardware. De ahí que en la Figura 10. se presente la cantidad de energía consumida por diferentes tecnologías relacionadas con el minado de bloques de Bitcoin.
- **Bloques minados al día:** Según [7] al día se minan en promedio 144 Bloques, 1 cada 10 minutos.
- **Capacidad deseada:**  $0.00532 \frac{GH}{\text{second} \cdot \text{USD} \cdot \text{day}}$

Para los supuestos se tiene que:

- **Tiempo de ajuste de la Tasa de Hash:** 2.5 días (Según calibración de tasa de Hash)
- **Tasa integrantes de la red por gases efecto invernadero generados:** 1'500.000 People/MtCO<sub>2</sub> (Según calibración del tamaño de la red)
- **Constante segundos por día:** 86400 second/-day
- **Gases de efecto invernadero por gasto de energía:**  $1.3646 \cdot 10^{-16} \text{MtCO}_2/\text{J}$
- **Porcentaje de mineros en la red:** 0.015 (Según calibración de mineros)

#### Resultados de la simulación

A partir de las entradas y supuestos del modelo, así como, de las ecuaciones del mismo, se obtiene lo mostrado en la Figura 11.

Consecuentemente, se evidencia que, al aumentar el número de mineros activos en el horizonte de tiempo, esto resulta en un crecimiento del tamaño de la red de

VARIABLES	UNIDADES	ECUACIONES
Precio Bitcoin	\$/BTC	Datos históricos
Ingresos por tarifa transacción	BTC/day	Datos históricos
Bloques minados totales	Bloque	INTEG = Bloques minados por día Bloques minados totales (0) = 0
Bitcoin en circulación	BTC	INTEG = Tasa creación de bitcoins Bitcoin en circulación (0) = 0
Hashes por día	GH/ day	Hashes diarios = Tasa hash * Constante segundos por día = (GH/second)*(24*60*60 second/ day) = GH/ day
Costos hashing	\$/GH	Costo hashing = (Precio energía/ Eficiencia energética de hardware minería) = (\$/J) / (GH/J)
Precio energía	\$/J	Dato obtenido de una fuente
Eficiencia energética hardware de minería	GH/J	Datos históricos
Costos minería	\$/ day	Costos minería = Hashes diarios * Costo hashing = (GH/day) * (\$/ GH) = \$/ day
Beneficio minería	\$	Ingreso minería - Costo minería Beneficio minería (0) = 0
Ingresos minería	\$/ day	Ingresos minería = ((Recompensa por bloque* Bloques minados por día)+ Tarifa promedio de transacción diaria)* Precio Bitcoin = [( (BTC/Bloque) * (Bloque/ day) + (BTC/day))* (\$/ BTC) = \$/ day
Recompensa por bloque	BTC/ Bloque	Datos históricos: cada 4 años se modifica el valor de esta recompensa a la mitad. 12.5 bitcoins hasta febrero de 2021, actualidad 6.25)
Bloques minados por día	Bloque/ day	Constante = Bloques minados por hora(6)*24 =144 Bloque/ day
Total bitcoins	BTC	Constante = 21 millones de Bitcoins (BTC) es la cantidad máxima.
Bitcoin liberados por día	BTC/ day	Bitcoin creados por día = Bloques minados por día * Recompensa por bloque = (Bloque/ day) * (BTC/ Bloque) = BTC/ day
Tasa Hash	GH/second	INTEG = Flujo entrada tasa hash Tasa de Hash (0) = 0.007
Capacidad computacional adicional deseada	GH/second*day	Capacidad computacional deseada = Beneficio minería * Tasa capacidad deseada por granja = \$ * [ GH/(second*\$) ] = GH/second
Parámetro capacidad deseada	GH/(second*\$*day)	Constante
Tiempo de ajuste tasa hash	day	Constante
Flujo de entrada tasa hash	GH/(second*day)	DELAY (Capacidad computacional adicional deseada, Tiempo de ajuste tasa hash)
Energía requerida	J/day	Energía requerida = Hashes diarios * Gasto energético por GH = (GH/ day) * (J/ GH) = J/ day
Impacto medio ambiental/Huella de carbono diaria	MtCO2/ day	Huella de carbono diaria = Energía requerida * Gases de efecto invernadero por gasto de energía = (J/day)*(MtCO2/ J) = MtCO2/ day
Flujo neto red bitcoin	People/ day	Nuevos integrantes red bitcoin = Huella de carbono diaria * Tasa nuevas personas en la red por GEI generados = (MtCO2/ day) * (People/ MtCO2) = People/day
Tasa integrantes de la red por GEI generados	People/ MtCO2	Constante
Tamaño de la red	People	INTEG = Nuevos integrantes red bitcoin Tamaño de la red(0) = 0
Mineros	People	Mineros = Tamaño de la red * Porcentaje mineros en la red = People*1 = People
Gasto energético por GH	J/GH	1/ Eficiencia energética del hardware minería = 1 / (GH/J) = J/ GH
Constante segundos por día	Second/ day	Constante = 24*60*60
Gases de efecto invernadero por gasto de energía	MtCO2/J	Constante = 22.5*(1.6488*(10 <sup>-17</sup> ))
Porcentaje mineros en la red	1	Constante

Fig. 7. Análisis dimensional del modelo [Propia]

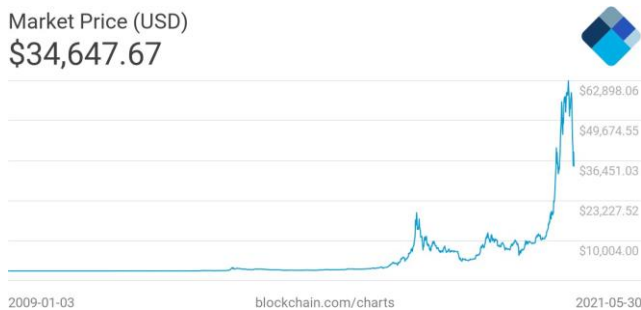


Fig. 8. Precio del Bitcoin en USD [7]

bitcoin. Además, como se puede observar en la figura 11

Total Transaction Fees  
47.42 BTC

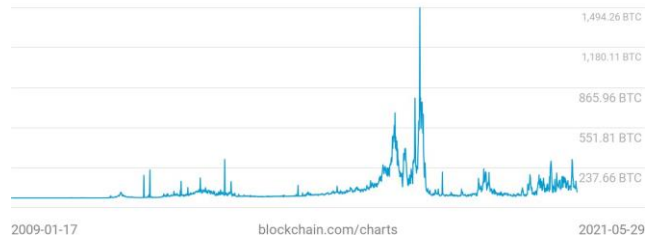


Fig. 9. Tarifas de transacción pagadas a los mineros [7]

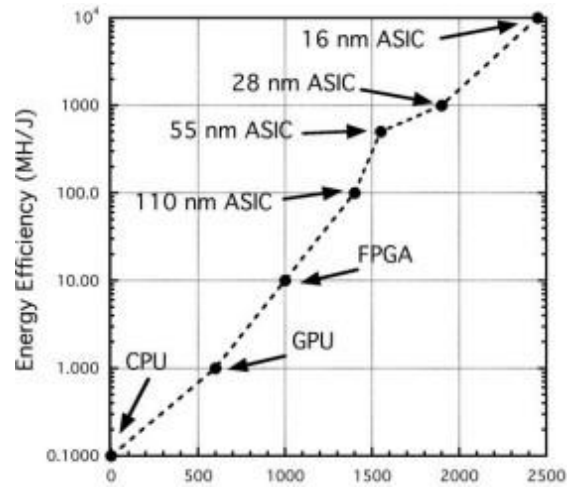


Fig. 10. Eficiencia energética según tecnología empleada para minar [6]

dicho crecimiento de la red trae consigo un aumento en la huella de carbono generada por la misma. Por ende, los resultados de este modelo concuerdan con lo planteado en la hipótesis dinámica.

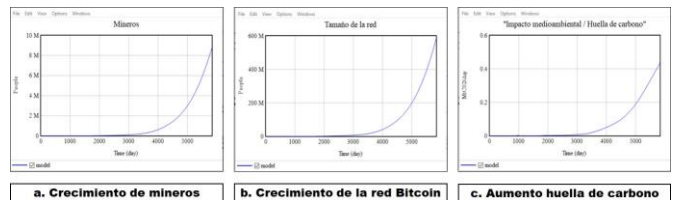


Fig. 11. Resultados de la simulación: Tamaño de la red [Propia]

Por otra parte, en la Figura 12. se detalla, igualmente, resultados consistentes con la hipótesis dinámica propuesta. Particularmente, con estos resultados es posible relacionar la eficiencia energética con los costos asociados al minado. Entonces resulta que, a mayor eficiencia energética menor costo por minar o costo hashing en el tiempo.

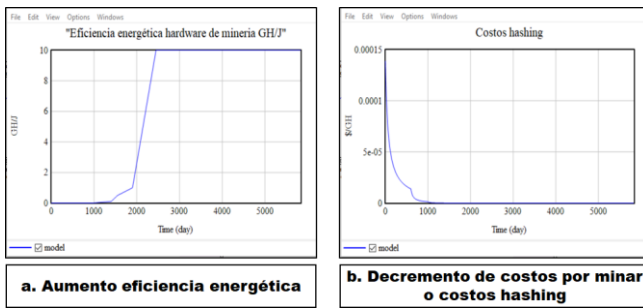


Fig. 12. Resultados de la simulación: Costos por minar [Propia]

Consecuentemente, si los costos hashing disminuyen, se da un aumento de los hashes diarios o bloques minados, y esto implica un aumento en los costos de la minería a través del tiempo, tal y como se expresó en el diagrama causal (Véase Figura 13.).

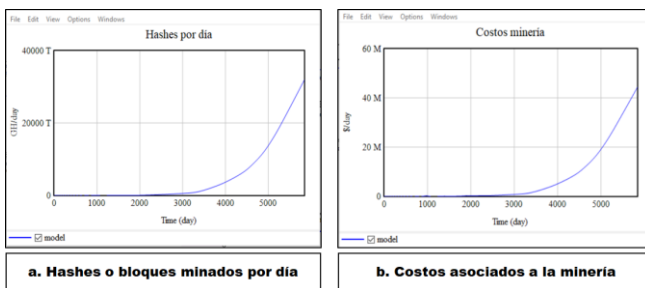


Fig. 13. Resultados de la simulación: Bloques minados por día [Propia]

Adicionalmente, antes se planteó que, el beneficio de minería aumenta en función de los ingresos de la minería y a su vez, este aumento en los ingresos supone un incremento en la capacidad computacional adicional deseada. Por lo que, en la Figura 14. se evidencia, como a través del tiempo, esta relación se conserva.

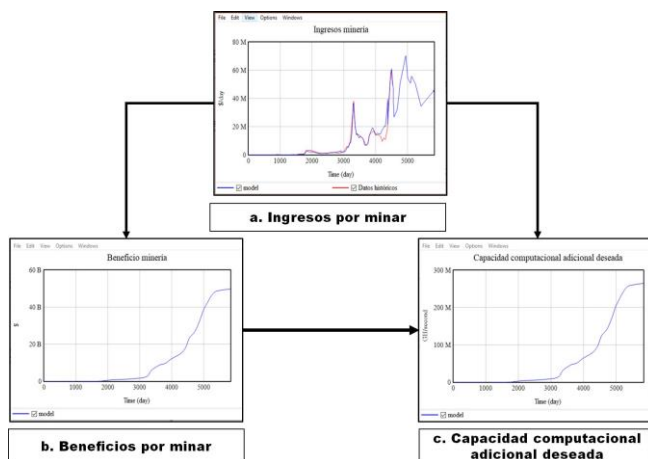


Fig. 14. Resultados de la simulación: Ingresos por minar [Propia]

Por último, en la hipótesis dinámica se dijo que al

aumentar el número de bloques minados, la recompensa tiende a decrecer ya que, en el tiempo, esta se reduce a la mitad. Por esta razón, la relación expuesta en la Figura no carece de lógica.

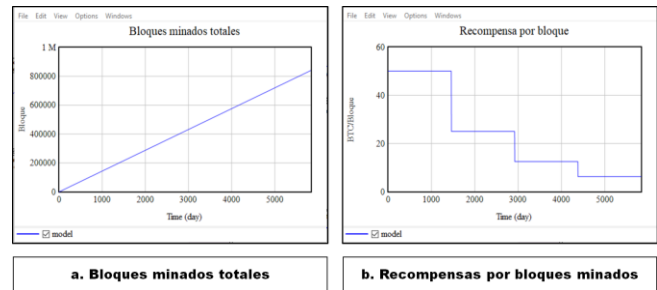


Fig. 15. Resultados de la simulación: Recompensas por minar [Propia]

#### IV. VALIDACIÓN

Para validar el modelo se realizaron las siguientes pruebas de comportamiento en las variables de interés enmarcadas en el propósito de este modelo:

- **Modo de referencia:** Se contrastan los datos históricos con los datos obtenidos de la simulación del modelo. Lo anterior, para verificar que el comportamiento de los valores obtenidos en la simulación coincide con los datos históricos. En concreto, se obtuvo que los Bitcoin en circulación obtenidos por simulación, se comportan de manera casi idéntica a los Bitcoin en circulación propuestos en la serie temporal de [7] (Véase Figura 16.).

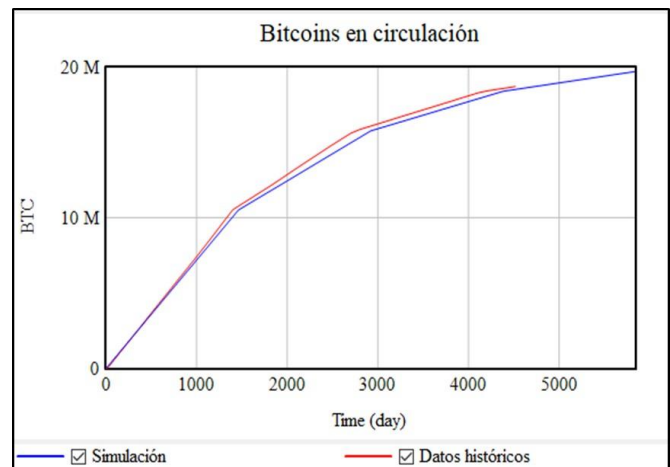


Fig. 16. Resultados Validación: Bitcoins en circulación [Propia]

Finalmente, sucedió igual con las otras variables no planteadas en el propósito de este modelo, como los ingresos por minar y tasa de hash (Véase Figura 17.)

- **Condiciones extremas:** En esta validación, se trabaja bajo circunstancias extraordinarias para

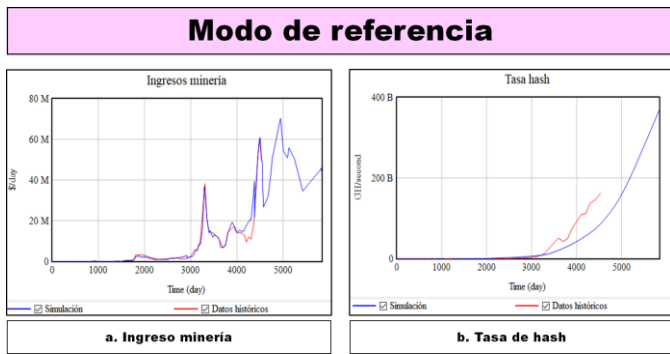


Fig. 17. Resultados Validación: Otras variables [Propia]

verificar que el modelo siga siendo consistente y robusto. De ahí que, se varíen los valores de los parámetros y se analicen escenarios extremos comprobando que los resultados en la simulación sigan siendo lógicos.

Particularmente, cuando se asignó el valor del parámetro de capacidad deseada como 0 se evidenció que el modelo sigue siendo consistente ya que la tasa hash se conserva siempre en su valor inicial 0.007 y a pesar de las condiciones, no se altera la capacidad computacional, permaneciendo constante en el tiempo (Véase Figura 18 a.).

En contraste con esto, cuando se establece el tiempo de ajuste de la tasa hash con un valor muy alto, por ejemplo 2000 días, se observa que esta presenta un crecimiento con menor velocidad lo que es lógico, debido a que el flujo de entrada para la tasa hash requiere mayor tiempo (Véase Figura 18 b.).

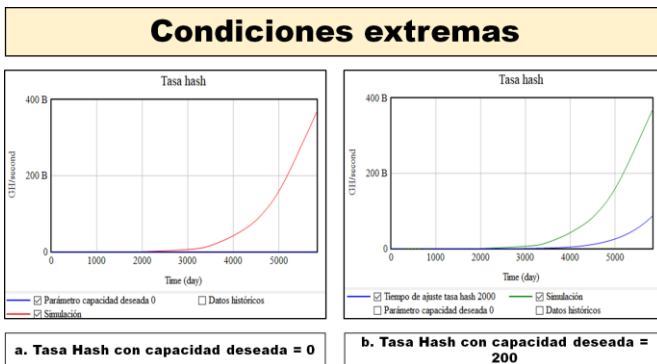


Fig. 18. Resultados Validación: Condiciones extremas - Tasa Hash [Propia]

Seguidamente, suponiendo un escenario en donde se liberará cero gases de efecto invernadero por cada gasto de energía, se ve que la huella de carbono es nula durante toda la simulación, por lo que el modelo muestra ser consistente (Véase Figura 19).

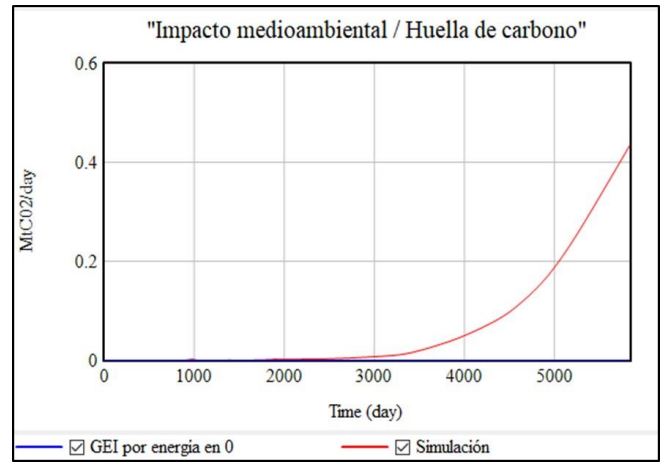


Fig. 19. Resultados Validación: Condiciones extremas - Impacto medio ambiental del Bitcoin [Propia]

Igualmente, sucede cuando asignamos el porcentaje mineros en la red en cero, el modelo sigue siendo consistente ya que la cantidad de mineros durante toda la simulación será cero también (Véase Figura 20 a.).

Después, si se define el precio de la energía igual a cero, el costo hashing como el costo de minería permanecen en cero durante toda la simulación. Esto, debido a que dichos costos dependen del valor de la energía para el funcionamiento del hardware para minado (Véase Figura 20 b. y Figura 20 c.).

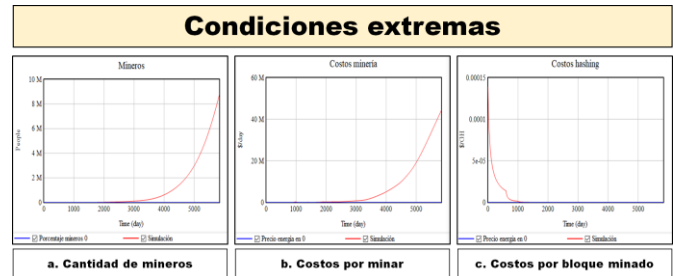


Fig. 20. Resultados Validación: condiciones extremas - Costos por minar [Propia]

En últimas, si se considera nuevamente el escenario anterior, el beneficio de la minería aumenta ya que este depende netamente de los ingresos por la minería y los costos asociados a la misma (Véase Figura 21). Por consiguiente, el modelo presenta resultados lógicos, evidenciables, por la ausencia de valores negativos en las variables de costos, gases de efecto invernadero y energía requerida.

## V. POLÍTICAS Y/O ESCENARIOS

### Planteamiento

Tal y como se dijo antes, el propósito de este modelo es entender la relación existente entre la creación de

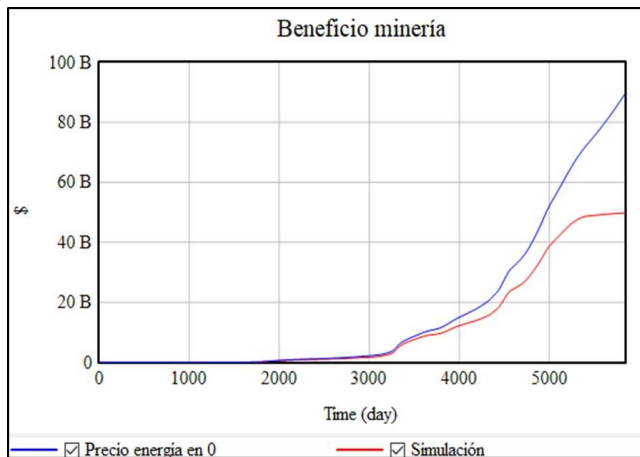


Fig. 21. Resultados Validación: Condiciones extremas - Beneficios minería [Propia]

nuevas monedas y, los efectos que tiene las ganancias de la minería en la capacidad computacional de la red o Tasa Hash y el impacto medio ambiental del Bitcoin. Sin embargo, dicho entendimiento no es nada, si no se proponen políticas y/o escenarios solución al respecto.

Como resultado, en aras de evitar nefastas consecuencias producto de la baja capacidad computacional y/o grave impacto ambiental del Bitcoin, se propone y validan en el mundo virtual los siguientes enunciados:

- 1) **De mano con los políticos:** Los gobiernos deben implementar políticas con miras a la regulación del uso de energías fósiles para el minado de Bitcoins. Esto, para obligar a los mineros a buscar fuentes de alimentación energética limpias, logrando así, la reducción de la huella de carbono de la criptomoneda.
- 2) **Siendo rudos pero excéntricos:** Exigir a los mineros emplear la tecnología vanguardista en su hardware de minería, ya que esta proporciona mayor eficiencia energética y permite reducir el consumo de energía por la red bitcoin, y con ello, el impacto ambiental.

#### Implementación y Resultados de simulación

Si las políticas para regular el uso de energía fósil son lo suficientemente robustas para lograr un alto porcentaje de la energía empleada por la red bitcoin sea renovable, entonces el impacto medio ambiental expresado en huella de carbono se reduciría notoriamente.

Por lo anterior, en el modelo representado a través de la Figura 22 a. se define una variable llamada porcentaje de energía proveniente de fuentes no renovables, esta, se usa para calcular la huella de carbono como cantidad de CO2 arrojado a la atmósfera. De allí se obtiene que, a mayor energía no renovable empleada, mayor huella de carbono (Véase Figura 22 b. y 22 c.).



Fig. 22. Resultados de simulación: Implementación de políticas y/o escenarios posibles [Propia]

## VI. CONCLUSIONES

- La dinámica de sistemas permite analizar el comportamiento temporal en entornos complejos a través de la identificación de los bucles de realimentación entre los elementos, y también en los retardos en la información y materiales dentro del sistema.
- Mediante la dinámica de sistemas se puede establecer que existe una relación entre la generación de monedas, la capacidad de la red, las ganancias de minado y el impacto medio ambiental del Bitcoin.
- El modelo aquí planteado permite estipular que tanto las ganancias por minar y, más tarde, el precio del Bitcoin, dependen en gran medida de factores propios de la economía del Bitcoin, y otros externos, como por ejemplo, el impacto medio ambiental, la sostenibilidad y por ende, la reputación que tiene la pecunia entre los usuarios potenciales.
- A pesar de que el Bitcoin es una propuesta novedosa, por su impacto ambiental, no representa, aún, una forma sostenible de hacer dinero.
- La capacidad computacional que se necesita para minar es la causa principal del impacto medioambiental negativo del Bitcoin.
- El desarrollo y uso de Hardware vanguardistas permitiría que el impacto medioambiental del Bitcoin sea tolerable, sin embargo, esto supone mayores costos de infraestructura para los mineros.
- Algunos usuarios renombrados de Bitcoin plantean que la moneda no es del todo descentralizada. Y, con lo visto en este modelo y la literatura, es posible validar parcialmente dicha afirmación. Lo anterior, debido a que la cantidad de Bitcoin circulante, la cantidad de mineros, sus ganancias y la capacidad de la red, hacen que el precio del Bitcoin varíe.
- La validación del modelo afirmó fuertemente la relación entre las tres variables fundamentales de la economía del Bitcoin.
- Las variables de estudio en este proyecto pueden verse afectadas por otras variables como: la cantidad de mineros, el precio de las transacciones

dentro de la red Bitcoin y el valor de las recompensas por minar.

- Las políticas propuestas pueden aportar a la disminución de emisiones por parte de la red bitcoin, y con ello, al precio del Bitcoin derivado de la cantidad de Bitcoins en circulación.

#### REFERENCIAS

- [1] S. Nakamoto, «[www.bitcoin.org](https://www.bitcoin.org/),» 2008. [En línea]. Available: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. [Último acceso: 3 Abril 2021].
- [2] S. E. Uribe, Dirección, ¿Qué es Bitcoin y cómo funciona?. [Película]. Colombia: Magic Markers, 2017.
- [3] F. Vega, Dirección, ¿Qué son los Bitcoins y Blockchain? Cryptococinas. [Película]. Colombia: Platzi, 2017.
- [4] D. Lasi, «A System Dynamics Model of Bitcoin: Mining as an Efficient Market and the Possibility of "Peak Hash",» RedFame, vol. 7, nº 4, p. 11, 2020.
- [5] Editor Wikipedia, «Bitcoin,» Bitcoin, 4 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Bitcoin>. [Último acceso: 5 Abril 2020].
- [6] Editor Medium, «Modeling bitcoin price dynamics with systems dynamics theory,» Bitcoin, 4 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://bit.ly/2Rdj6aE>. [Último acceso: 5 Abril 2020]
- [7] Blockchain, «Gráficos de Blockchain,» Blockchain, 4 Abril 2021. [En línea]. Available: [www.blockchain.com/chart](http://www.blockchain.com/chart). [Último acceso: 5 Abril 2020].
- [8] Bitcoin user, «Bitcoin Mining Profitability VS Price» Bitcoin, 4 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.tradingview.com/chart/BCHAIN/MIREV/mlyUJDhg-Bitcoin-Mining-Profitability-VS-Price/>. [Último acceso: 5 Abril 2020].
- [9] Cambridge University, «Bitcoin anual energy consumption» Bitcoin, 4 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://cbeci.org/>. [Último acceso: 5 Abril 2020].
- [10] Monica Long, «crypto and blockchain must accept they have a problem then lead in sustainability» Bitcoin, 4 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://tcrn.ch/34yVsIE>. [Último acceso: 5 Abril 2020].
- [11] BBC News, «Qué tanto contamina el bitcoin, la moneda que consume más electricidad que Finlandia, Suiza o Argentina» Bitcoin, 4 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-56049826>. [Último acceso: 5 Abril 2020].
- [12] Editor buy bitcoin worldwide, «¿Cuántos Bitcoins hay ahora en circulación?» Bitcoin, 4 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.buybitcoinworldwide.com/es/cuantos-bitcoins-hay/>. [Último acceso: 5 Abril 2020].
- [13] Stoll C., Klaaßen S., Gallersdoerfer U., «The Carbon Footprint of Bitcoin » Joule, 2020.
- [14] BBC News, «Bitcoin y Elon Musk: el CEO de Tesla anuncia que ya no aceptarán la criptomoneda y esta sufre una fuerte caída» Bitcoin, 4 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-57096818>. [Último acceso: 5 Abril 2020].