

Activos digitales y estabilidad financiera

Riesgos de un incremento en la demanda de bitcoin sobre la
volatilidad del tipo de cambio en Argentina.

Emiliano Giupponi

Tesis de doctorado

Departamento de Economía

UCEMA

Buenos Aires, Argentina

Marzo 2022



Director

Ricardo F. Crespo _____

Miembros del Comité

Horacio A. Aguirre _____

George T. McCandless _____

Jorge M. Streb _____



Agradecimientos

Agradezco a Ricardo Crespo por la dirección y el acompañamiento. A mis compañeros del Banco Central, por sus sugerencias y comentarios. A los profesores de UCEMA, por la oportunidad de investigar los activos digitales. A los alumnos de la UNTDF y UNL, por las discusiones sobre la naturaleza del dinero. A María, por su compañía.



Índice general

1. Introducción	1
1.1. Relevancia	1
1.2. Naturaleza monetaria de bitcoin	2
1.3. Literatura existente	7
1.4. Objetivos	11
1.5. Metodología	12
1.6. Organización	12
2. Características de oferta de activos digitales	13
2.1. Introducción	13
2.2. Literatura existente	14
2.3. Características monetarias de bitcoin	16
2.3.1. Distributed Ledger Technology (DLT) como memoria social	17
2.3.2. DLT como sistema confiable	17
2.3.3. Oferta inelástica de bitcoin	19
2.3.4. Costos de producción crecientes	21
2.4. Modelo de redes distribuidas como tecnología equivalente al dinero	22
2.4.1. Entorno.	22
2.4.2. Mercado de registros	24
2.5. La génesis del sistema de registro distribuido	28

2.5.1. Metodología	28
2.5.2. Resultados	31
2.6. Conclusiones del capítulo	39
3. Demanda de activos digitales	43
3.1. Introducción	43
3.2. Literatura existente	44
3.2.1. Literatura teórica	44
3.2.2. Literatura empírica	45
3.3. Motivos de demanda de bitcoin	47
3.3.1. Creencias	47
3.3.2. Actores influyentes y seguidores	48
3.4. Modelo de demanda con la introducción de actores influyentes	50
3.4.1. Introducción de actores influyentes y seguidores	53
3.5. Medición de las opiniones de un grupo de actores influyentes y de un grupo de seguidores y su asociación con el valor de bitcoin	54
3.5.1. Metodología	55
3.5.2. Resultados	56
3.6. Conclusiones del capítulo	64
4. Implicancias de los activos digitales en la estabilidad financiera	67
4.1. Introducción	67
4.2. Literatura existente	68
4.3. Implicancias para la estabilidad financiera de la introducción de activos digitales	70
4.3.1. Canales de transmisión de riesgos	70
4.3.2. Sustitución monetaria	72

4.4. Modelo introduciendo a bitcoin en una economía emergente con controles a la tenencia de activos	72
4.4.1. Entorno	72
4.4.2. Mercado monetario. Determinación del valor de cada activo	73
4.4.3. Tasas de rendimiento y dinámica del tipo de cambio	76
4.4.4. Simulación numérica	78
4.5. Estimación de la asociación entre el nivel de adopción de bitcoin y el tipo de cambio ARS/USD	79
4.5.1. Metodología	79
4.5.2. Resultados	81
4.6. Conclusiones del capítulo	88
5. Conclusiones	91
A. Análisis alternativo a partir de la teoría de juegos	95
A.1. Tecnología de red distribuida como contrato	95
A.2. Análisis de las estrategias de los actores influyentes	96
B. Códigos	101
B.1. Análisis de datos de la cadena de bloques	101
B.2. Evaluación empírica disponible en línea	103
B.3. Evaluación conceptual disponible en línea	104
C. Estimación alternativa de demanda de bitcoin en Argentina	105



Índice de figuras

2.1. Trilema de escalabilidad	19
2.2. Visualización de la transacción inicial y asociadas en la cadena de bloques de Bitcoin	32
2.3. Asociación entre el modelo de generaciones superpuestas y direcciones de la cadena de bloques.	34
2.4. Red de transacciones de la cadena de bloques de bitcoin, ene-09. . .	35
2.5. Red de transacciones acumuladas de la cadena de bloques de bitcoin, entre ene-09 y feb-09	36
2.6. Variación mensual de la cantidad de jóvenes según la especificación de la red adoptada	38
2.7. Correlación entre la variación mensual del precio de la red en términos de dólares y la variación mensual de cada una de las redes especificadas	39
3.1. Actores influyentes durante el 2012.	57
3.2. Tweets totales, totales positivos, de actores influyentes y de actores influyentes positivos.	58
3.3. Análisis de componentes principales de las métricas de red.	60
3.4. Factores que explican la varianza en del precio de bitcoin. Descomposición de varianza.	62
3.5. Evolución de las series de Tweets totales, actores influyentes y nodos de la red.	63

3.6. Análisis de correlación entre el precio de bitcoin y el total de tweets y los tweets de actores influyentes	64
4.1. Interés comparado por bitcoin por países seleccionados	82
4.2. Interés relativo entre bitcoin, dólar y pesos en Argentina	83
4.3. Factores que explican la varianza en el tipo de cambio informal AR- S/USD. Descomposición de varianza	85
4.4. Asociación entre la variable para estimar demanda de bitcoin por dólares en Argentina y el tipo de cambio.	86
4.5. Análisis de correlación entre las variables estimadas de demanda y el tipo de cambio	87
4.6. Modelo de regresión	88
A.1. Juego entre influenciadores de mercado y reguladores. Forma extensiva	98
C.1. Cantidad de bitcoin intercambiados por pesos	105

Índice de cuadros

4.1. Parámetros de demanda por saldos monetarios en el país emergente	75
A.1. Juego entre influenciadores de mercado y reguladores con mismos pagos. Forma normal	98
A.2. Juego entre influenciadores de mercado y reguladores con pagos diferentes. Forma normal	99



Listings

2.1. Código en SQL para extracción de datos de búsquedas en Google Cloud	30
4.1. Código en R para extracción de datos de búsquedas en Google Trends	80
B.1. Código en R construcción y análisis de datos de la cadena de bloques de bitcoin	101



Siglas

ACP Análisis de componentes principales. 59

DLT Distributed Ledger Technology. VII, 1, 3, 7, 8, 11, 13, 14, 16–18, 22–24, 27–29, 32–34, 36, 39–41

EME Emerging Market Economy. 7

IMF International Monetary Fund. 2, 43

OLG Overlapping Generations Model. 12, 22, 28, 34, 37, 39, 40, 48, 54, 64, 82, 89

PoW Proof of Work. 4, 18, 40

SQL Structured Query Language. 30

VAR Modelos vectoriales autoregresivos. 61, 84



Glosario

bitcoin en minúscula es el token nativo del sistema Bitcoin. 1

mineros encargados del proceso de extracción de bitcoins o minado por analogía con la minería del oro. 4

PageRank mide la importancia de cada nodo dentro del gráfico, basándose en el número de relaciones entrantes y la importancia de los nodos fuente correspondientes. 56



Resumen

Objetivos. El objetivo principal es analizar las implicancias de un incremento en la volatilidad de la demanda de bitcoin sobre el tipo de cambio en Argentina. Para eso, se estudian las características de diseño de oferta de bitcoin y sus motivos de demanda.

Métodos de evaluación. Para la evaluación conceptual, se construye un modelo de generaciones superpuestas para estudiar las características monetarias, motivos de demanda e implicancias para la estabilidad financiera de bitcoin. Para evaluar empíricamente cada uno de esos modelos, se analizan datos de la *blockchain*, mensajes de Twitter de usuarios influyentes y búsquedas en GoogleTrends del término bitcoin de residentes argentinos.

Resultados. La conclusión de la investigación es que bitcoin puede funcionar como dinero y que un incremento en su nivel de adopción puede generar un aumento en la volatilidad del tipo de cambio en Argentina.

Palabras Clave. Dinero, bitcoin, tecnología de red distribuida (DLT), creencias, influenciadores, estabilidad financiera, sustitución monetaria, tipo de cambio, Argentina.

Códigos JEL. E40, E42, D83, D85, G32, E52.



Capítulo 1

Introducción

1.1. Relevancia

Actualmente se observa un proceso de transformación digital en el sistema económico, en general, y en el sistema de pago, en particular. Estas transformaciones podrían modificar el concepto de dinero tal cual se conoce. Este proceso de cambio se refleja, por ejemplo, en la creciente tenencia y uso de Bitcoin, el principal criptoactivo en nivel de capitalización, como alternativa a los instrumentos financieros tradicionales. Este fenómeno se observa a nivel global y se ha acelerado con motivo de la pandemia. Este proceso tiene una serie de beneficios, pero también implica una serie de riesgos para la política monetaria y para la estabilidad financiera, entre otros ¹. En este contexto, los organismos de regulación² consideran que bitcoin actualmente no representa un riesgo para la estabilidad financiera debido a que su diseño no sería compatible con ciertas características deseables de oferta de un activo monetario.

Las características de diseño de oferta de Bitcoin surgen asociadas a una nueva tecnología: la tecnología de registros distribuidos o Distributed Ledger Technology (DLT). Desde el aspecto monetario, esta tecnología tiene la característica de gene-

¹En la discusión asociada a los posibles riesgos vinculados a los criptoactivos, se incluyen aspectos relacionados a la protección de los consumidores e inversores, integridad de los mercados financieros (bancario, de pagos, entre otros), recaudación de impuestos, así como aspectos relacionados al lavado de dinero y el financiamiento al terrorismo. El presente documento no abordará estos aspectos. Se concentrará en lo relacionado con una cuestión macroprudencial.

²Ver, por ejemplo, Financial Stability Board, 2022.

rar un registro confiable de transacciones que no depende de la auditoría de una autoridad central.

Los motivos de demanda de bitcoin se encuentran asociados a sus características de oferta. Bitcoin no tiene valor intrínseco, por lo que, dada su oferta predeterminada, su valor depende de las opiniones respecto a que pueda funcionar como tecnología monetaria. La importancia de las opiniones en la demanda de bitcoin se puede observar, por un lado, en la suba mayor al quince por ciento luego de que el 28 de enero de 2021 Elon Musk etiquetara su cuenta con *hashtag* Bitcoin en su biografía de Twitter³. Por otro lado, se han observado disminuciones significativas en el valor de bitcoin como respuesta a las advertencias de los reguladores sobre sus riesgos. En agosto de 2021, las consideraciones del presidente de la SEC sobre las posibles regulaciones de criptoactivos generó una caída en el precio próxima al diez por ciento⁴. El mismo efecto generó las advertencias del IMF sobre el uso de bitcoin como moneda nacional (Tobias & Weeks, 2021)⁵.

Dentro del contexto de las características monetarias de bitcoin y de sus motivos generales de demanda, su adopción a nivel país puede estar asociado a factores internos y externos. En el caso de países emergentes, un factor de adopción interno podría estar asociado a momentos de tensión financiera asociados a depreciaciones de la moneda local. De manera alternativa, un factor externo de adopción podría estar asociado a la percepción (global y local) de que bitcoin puede funcionar como reserva de valor en un marco de niveles de inflación históricamente elevados para las monedas de reserva.

1.2. Naturaleza monetaria de bitcoin

Bitcoin presenta ciertas características monetarias compatibles con tecnologías asociadas al funcionamiento del dinero.

³(\Bitcoin spikes 20% after Elon Musk adds #bitcoin to his Twitter bio", s.f.)

⁴(\Oversight of the U.S. Securities and Exchange Commission: Wall Street's Cop Is... (EventID=114113) - YouTube", s.f.).

⁵Para un análisis detallado de las consecuencias de los anuncios de regulaciones en el precio de bitcoin ver, por ejemplo, Auer y Claessens, 2018.

Distributed Ledger Technology (DLT) como memoria social

En una economía monetaria se podría sustituir al dinero por un registro público con la totalidad de transacciones. En este sentido, el dinero es un dispositivo de almacenamiento de información que permite a todos los individuos acceder a los registros de ciertos aspectos del historial comercial (Kocherlakota, 1998; Shin, 2021). La DLT funciona como un registro de todas las transacciones pasadas. Por lo tanto, la DLT permite el conocimiento por parte de un agente de las historias completas de todos los agentes con los que ha tenido contacto directo o indirecto en el pasado. En consecuencia, se puede formular la siguiente definición. La DLT es un registro público equivalente a un proceso de memoria social. El dinero es equivalente a una forma primitiva de memoria social. Por lo tanto, una DLT sería un proceso tecnológico equivalente al dinero

DLT como sistema confiable

El dinero es una institución social que se basa en la confianza en la integridad del sistema. Existen tres formas de generar confianza en el sistema monetario. La primera alternativa es a través del poder del soberano. El soberano puede mantener un registro de los libros de débito y de crédito o bien puede emitir tokens (dinero papel). La segunda alternativa para generar confianza en el sistema monetario es mediante acuerdos privados. En este caso, las partes privadas mantienen de forma segura los libros de contabilidad de débito y crédito o, de manera alternativa, las partes privadas emiten de forma segura tokens. En este último arreglo se podría incluir a bitcoin⁶. Finalmente, la tercera alternativa para generar confianza, es a través de monedas de productos básicos (por ejemplo: oro y plata). El dinero es un tipo especial de pagaré en el que todos confían (Mcleay y col., 2014b). En este contexto, bitcoin es un sistema que genera confianza por arreglos privados. Estos arreglos privados se basan en mecanismos de consenso descentralizado a través de incentivos monetarios. DLT resuelve cómo establecer confianza -la esencia del dinero- en una red distribuida (Haldane, 2015).

⁶Esta clasificación se puede asociar a la discusión clásica en torno al origen del dinero estatal o espontáneo, asociados a la escuela histórica alemana y a la escuela austríaca, respectivamente.

El mecanismo asociado a bitcoin para generar confianza se denomina Proof of Work (PoW). Este mecanismo de consenso es una tarea que consume tiempo y gasto de energía eléctrica por parte de los actores involucrados en el sistema, los nodos, también llamados Mineros. Las transacciones son agrupadas en bloques correlativos (la cadena de bloques o *blockchain* que tienen un determinado espacio. El trabajo de los nodos garantiza la validez de un bloque de transacciones a partir de la resolución de funciones criptográficas (Ali & Barrdear, 2014). El mecanismo de consenso tiene por objetivo evitar que se incluyan transacciones incorrectas al sistema de registros.

Existen diferentes mecanismos de consenso. Los mecanismos que presentan mayores niveles de seguridad y, por tanto, confianza, requieren mayor tiempo y esfuerzo. Por este motivo, pueden existir problemas para la escalabilidad del sistema. Esta situación se conoce como el «trilema de la escalabilidad») de los registros distribuidos. Los activos digitales de primera generación (ej. bitcoin y ether) tienen seguridad y descentralización, pero no tienen escalabilidad. Las monedas estables privadas y las monedas digitales de bancos centrales (CBDC, *Central Bank Digital Currencies*) pueden ser escalables y seguras, pero no son descentralizadas.

Oferta inelástica de bitcoin

Friedman, 1951 indica que una virtud importante de las monedas de oferta inelástica es la automaticidad y la inmediatez: no requieren previsiones ni decisiones políticas administrativas o legislativas. Tienden a funcionar automáticamente de forma anticíclica. La existencia de costes físicos de producción establece límites a la cantidad de moneda, por lo que es imposible que se produzca una inflación desbocada siempre que se respete un estándar de calidad. Los vicios de los estándares estrictos de mercancías son la otra cara de sus virtudes. Al ser automáticos, puede que no proporcionen la suficiente flexibilidad o adaptabilidad para evitar oscilaciones sustanciales en los precios o en los ingresos. El coste físico de producción de la moneda significa que las oscilaciones de los precios pueden producirse por cambios tecnológicos en el coste relativo de producción de la mercancía monetaria.

En este marco, la emisión de bitcoin se encuentra predeterminada en el tiempo (Nakamoto, 2008). Esta característica implica que el precio del activo digital esté

determinado por la demanda de dicho activo (Ali & Barrdear, 2014; European Central Bank, 2012, 2015; IMF, 2017). Bitcoin tiene un límite superior de 21 millones. La recompensa de bitcoin se divide por 2 cada 210.000 bloques, o aproximadamente cuatro años. La existencia de la unidad transable más pequeña significa que el suministro de bitcoin es discreto y no continuo, por lo que la producción no continuará indefinidamente, sino que finalmente deberá caer por debajo de los diez nanobitcoins, y cesará de forma efectiva. Se estima que para 2032 se habrán minado un 99 por ciento de los bitcoin, pero como el ritmo de producción será más bajo no será hasta aproximadamente 2140 cuando se mine el último bitcoin. En este sentido, la oferta de bitcoin se parece a la de un *commodity*. La oferta predeterminada de bitcoin se encuentra asociada a costos de producción crecientes. Bitcoin es generado a través de una función de producción estándar. Los costos de producción dependen del tiempo de uso de las CPU y de la electricidad utilizada. Además, dependen de costos de enfriamiento de las CPU y de costos de administración y de mantenimiento.

Valor fiduciario de bitcoin

Bitcoin no tiene valor intrínseco. Por lo tanto, su demanda depende de la creencia o percepción respecto a que bitcoin pueda cumplir con las funciones de medio de pago y reserva de valor. En ese sentido, bitcoin se asemeja a las formas de dinero fiduciario actuales. Y, por otro, bitcoin se diferencia de los activos monetarios con valor intrínseco cuya demanda se encuentra vinculada, además, a su utilidad como bien de uso⁷.

Actores influyentes

Menger, 1892, en la sección VI, On the genesis of media of exchange, indica que «nada puede haber sido tan favorable a la génesis de un medio de cambio como la aceptación, por parte de *los sujetos economicos mas perspicaces y capaces*⁸, para su propio beneficio económico, y durante un período de tiempo considerable, de bienes

⁷Se esta asociando, de manera simpli cada, el motivo especulativo a la funcion de reserva de valor.

⁸Las italicas son propias.

eminentemente vendibles con preferencia a todos los demás.)) La investigación retoma estas ideas de Menger y propone que la demanda de bitcoin se encuentra asociada a la opinión de un grupo de actores influyentes del mercado y de los reguladores.

Para el caso del activo digital, se espera que en una primera etapa sean los actores influyentes de mercado los que generen mayor repercusión en el sistema. Mientras que la influencia de los reguladores se espera para una segunda etapa, a medida que el sistema pueda ir tomando cierto volumen relevante. Estos actores influyentes determinan las expectativas del resto de los agentes. Por lo tanto, se propone la siguiente definición para actores influyentes. Son aquellos agentes que cuentan con más información y mejor capacidad de análisis que el resto de los demandantes del mercado. Son quienes determinan la tendencia de precios en el largo plazo.

Seguidores

Keynes señala al final de la sección V del capítulo 12 de la Teoría General que ((La sabiduría mundana enseña que es mejor para la reputación fracasar convencionalmente que para tener éxito de forma no convencional)). Si todos cometen el mismo error es poco probable recibir algún reproche por ello. Sin embargo, si un individuo se equivoca tomando una opinión contraria a la de la mayoría, entonces es probable que reciba la recriminación del resto. Los seguidores son los actores que imitan el comportamiento de los actores influyentes. Con su comportamiento pueden amplificar las acciones de los influenciadores pudiendo exacerbar las variaciones de precio. Sus acciones pueden estar asociadas a comportamiento en manada o de imitación. En este marco, se propone la siguiente definición. Los seguidores son los agentes que imitan el comportamiento de los actores influyentes. El comportamiento de los seguidores se encuentra asociados al comportamiento en el precio de corto plazo. En términos de expectativas e información, los seguidores presentan expectativas con información incompleta.

Riesgos para la estabilidad financiera

Las características monetarias de oferta de bitcoin y su demanda asociada a las creencias de un grupo de influenciadores, implican una serie de canales por los cuales

un incremento en el nivel de adopción de bitcoin puede afectar a la estabilidad financiera. Para el presente documento se analizarán los riesgos asociados al canal macrofinanciero. En particular, a las posibles implicancias sobre el tipo de cambio. Estos riesgos pueden surgir especialmente si, con el tiempo, los hogares y las empresas de algunas economías, por ejemplo, las Emerging Market Economy (EME), llegan a mantener una parte relevante de su riqueza en activos digitales en lugar de las monedas locales. Durante los períodos de tensión, los hogares de algunos países podrían llegar a considerar los activos digitales como una reserva de valor segura respecto de las monedas fiduciarias. Esta situación podría tener un efecto desestabilizador en los tipos de cambio y en la intermediación de los bancos comerciales (Financial Stability Board, 2020). En este marco, Bitcoin podría competir con el dinero local y, en países emergentes, bitcoin también podría competir con el dólar como reserva de valor.

1.3. Literatura existente

Una parte de la literatura indica que una DLT puede cumplir el rol de registros de transacciones y que, por lo tanto, podría dar lugar al concepto de dinero como proceso de memoria social (Kocherlakota, 1998). En Schnabel y Shin, 2018 la DLT aparece vinculada a los conceptos de dinero como confianza y conocimiento compartido. Este trabajo muestra una vinculación directa entre la DLT como memoria social y el concepto de conocimiento compartido. Para los autores, el conocimiento compartido es necesario para que se genere confianza en el registro propuesto por la DLT. La idea de conocimiento compartido se encontraba presente en Kocherlakota, quien indicaba que la noción de dinero como memoria social asumía que los agentes de la economía tenían conocimiento completo de todas las transacciones que realizaron los otros agentes de la economía (Kocherlakota, 1998). Los autores evalúan empíricamente sus proposiciones a través de la discusión sobre la forma del surgimiento de depósitos bancarios. La consideración es que dichos depósitos dieron lugar a una transformación con elementos disruptivos y continuadores sobre lo que las personas entendían por dinero. A partir de dichos cambios, los autores analizan cómo puede variar la noción actual de dinero en la era digital. Al igual que estos documentos, la

presente investigación vincula el concepto de memoria social de Kocherlakota con el mecanismo de red distribuida (DLT) ⁹. En esta misma línea, Luther y Olson, 2014 argumentan que bitcoin es una aplicación práctica de lo que se denomina memoria en la literatura de economía monetaria. Los autores argumentan que, al igual que la memoria, bitcoin funciona como un dispositivo de registro público. A diferencia de estos autores, el presente documento incorpora el argumento en un modelo de generaciones superpuestas. Y, a diferencia tanto de Luther y Olson, 2014 como de Schnabel y Shin, 2018, este documento evalúa empíricamente el concepto de dinero como memoria social a partir del análisis de la cadena de bloques de bitcoin.

Un grupo de documentos introducen activos digitales en un marco de generaciones superpuestas y asumen que la demanda de dichos activos se encuentra determinada por las expectativas que dichos activos vayan a tener valor en el futuro. Garratt y Wallace, 2018 analizan los motivos por los que bitcoin puede tener un valor positivo. Los autores muestran que dicho valor positivo depende de las expectativas de los agentes en que bitcoin sea aceptado como medio de pago y reserva de valor. Recientemente, al igual que Garratt y Wallace, Biais y col., 2020 utilizan un modelo de generaciones superpuestas para evaluar el valor de bitcoin llegando a las mismas consideraciones. De manera similar a dichos documentos, la presente investigación considera que la demanda de los activos digitales se vincula a la expectativa respecto a su valor futuro. Sin embargo, la investigación propone que dicha expectativa se encuentra vinculada a la opinión de un grupo especial de agentes: los actores influyentes. La investigación propone que este grupo de actores influyentes se divide, a su vez, en dos grupos. Por un lado, actores de mercado que promocionan los activos digitales ¹⁰ y, por otro lado, los reguladores del sistema financiero actual ¹¹. Además, la presente investigación sugiere la existencia de otro grupo particular de agentes: los

⁹En una primera etapa, la evaluación teórica del capítulo dos del presente documento asume, al igual que Kocherlakota, que existe conocimiento completo los agentes. En estudios posteriores, se podrá relajar este supuesto para incorporar la idea de consenso de red. El consenso de red es probablemente la innovación fundamental del sistema bitcoin.

¹⁰Esta propuesta se vincula a las ideas introducidas por Menger quien distingue actores influyentes en el mercado de activos líquidos Menger, 1892, sección VI.

¹¹Dentro de la teoría monetaria clásica, la idea del regulador como quien determina el valor de un activo monetario se ve influenciada por las propuestas de los referentes de la escuela histórica alemana Knapp, 1924.

seguidores. Este grupo de agentes tiene la función de amplificar el mensaje generado por los actores influyentes.

Un grupo de documentos introducen bitcoin en modelos para estudiar sus implicancias en el bienestar, pero no en modelos de generaciones superpuestas. Fernández-Villaverde y Sanches, 2016 amplían el modelo de búsqueda de Lagos y Wright, 2005 y estudian las implicaciones para la estabilidad y el bienestar de un activo privado junto con un activo monetario respaldado por el gobierno.

Por el lado de las investigaciones empíricas que buscan analizar las características diferenciales de los activos digitales, Schnabel y Shin, 2018 realizan un estudio de la evolución de los depósitos bancarios en Estados Unidos en la época del *free banking*. A diferencia de dicho estudio, la presente investigación toma como datos las transacciones efectuadas en la DLT de bitcoin durante sus primeros años de existencia. Existe otro grupo de documentos que estudian bitcoin en el entorno de los datos de la cadena de bloques (Badev & Chen, 2015; Bai y col., 2015; Leong, 2020; Pasha Motamed & Bahrak, 2019; Zambre & Shah, 2013) pero sus objetivos se vinculan a aspectos técnicos de la DLT y no estarían asociados a la dimensión monetaria. En términos de estudios económicos, el estudio de McGinn y col., 2018 incluye una sección donde se analiza la velocidad de circulación del activo bitcoin en la cadena de bloques.

Algunos trabajos como el de Hamza, 2020 estudian cómo el comportamiento de influenciadores de criptoactivos, en particular sus opiniones y los argumentos que presentan en Twitter, pueden hacer fluctuar el precio de bitcoin. Estos autores utilizan el análisis de sentimientos de mercado para analizar la influencia de los tweets de líderes. Los autores buscan contrastar la conjetura respecto de que el sentimiento de los líderes de opinión sobre las criptoactivos puede utilizarse para predecir los precios. La presente investigación, al igual que este documento, analiza la opinión de un grupo de influenciadores de la red social Twitter. La recopilación de datos se efectúa mediante la misma herramienta codificada en Python, Get Old Tweets. A diferencia, la presente investigación efectúa la lista de influenciadores a través del análisis de métricas de red. Otro trabajo que tiene el mismo objetivo es el de Yamamoto y col., 2020. La evaluación empírica se efectúa con métodos de aprendizaje

automático.

Otros estudios empíricos como el de Kallinterakis y Wang, 2019 muestran que el comportamiento en manada (*herding*) de criptomonedas es significativo, con mayor intensidad durante los mercados alcistas, baja volatilidad y días de gran volumen. Otro estudio empírico, Hotar, 2020, también busca demostrar la existencia de comportamientos en manada en las interacciones entre agentes.

Auer y Claessens, 2018 indican que, aunque a menudo se cree que las criptomonedas operan fuera del alcance de la regulación nacional, en realidad sus valoraciones, volúmenes de transacciones y bases de usuarios, reaccionan intensamente a las noticias sobre iniciativas de las autoridades reguladoras. Los autores concluyen que las noticias sobre posibles prohibiciones generales de las criptomonedas o su sujeción a la legislación sobre valores son las que tienen un mayor efecto negativo sobre las valoraciones, seguidas de las noticias sobre la lucha contra el blanqueo de capitales y la financiación del terrorismo y las relativas a restricciones de la interoperabilidad de las criptomonedas con los mercados regulados. La presente investigación coincide que las medidas de los reguladores son uno de los factores determinantes en el nivel de adopción de los activos digitales. Sin embargo, este documento sugiere que hay dos grupos de actores influyentes. Por un lado, los reguladores y, por otro, los actores de mercado. Además, este trabajo efectúa el análisis de datos a partir de información de las redes sociales en lugar de noticias.

Otro grupo de documentos estiman la demanda de activos digitales en función de la información generada en las redes sociales. Esta literatura utiliza el análisis de sentimientos de mercado como herramienta para evaluar los movimientos en el precio de las monedas (Matta y col., 2015; Stenqvist & Lönnö, 2017). La presente investigación se asocia a la literatura de análisis de sentimientos de mercado. Pero, a diferencia de esta literatura, se analiza solamente el sentimiento del grupo de actores influyentes.

El trabajo de Barrdear y Kumhof, 2016 efectúa una estimación empírica del impacto de la introducción de una CBDC en EEUU. Hasta el momento, no se conocen trabajos que evalúen empíricamente las implicancias de la introducción de bitcoin en Argentina.

1.4. Objetivos

La investigación se propone analizar las implicancias de un incremento en la volatilidad de la demanda de bitcoin sobre el tipo de cambio en Argentina. Para esto, se propone estudiar previamente la naturaleza monetaria de bitcoin. En este marco, se formulan los siguientes objetivos y conjeturas asociadas.

Objetivo general. Construir un modelo de generaciones superpuestas que explique los riesgos que puede generar el incremento de la demanda de bitcoin en la estabilidad financiera en Argentina (2020-2022). Evaluar empíricamente el modelo propuesto con aproximaciones a la demanda de bitcoin en Argentina. A este objetivo general se asocia la siguiente conjetura. El incremento de la demanda de bitcoin implica riesgos para la estabilidad financiera en Argentina (2020-2022).

Primer objetivo específico. Describir las características de oferta del sistema bitcoin. Analizar a partir de un modelo de generaciones superpuestas si la tecnología de red distribuida asociada al sistema bitcoin puede funcionar como una tecnología equivalente al dinero. Evaluar empíricamente el modelo a partir de los datos de la cadena de bloques de bitcoin. A este primer objetivo específico se asocia la siguiente conjetura. La tecnología de red distribuida DLT que subyace al sistema bitcoin puede funcionar como una tecnología funcionalmente equivalente al dinero.

Segundo objetivo específico. Analizar los motivos de demanda de bitcoin. Construir un modelo de generaciones superpuestas que explique la demanda de bitcoin a partir del comportamiento de un grupo de influenciadores y de un grupo de seguidores. Evaluar empíricamente el modelo propuesto a partir de datos estimados de las redes sociales. A este segundo objetivo específico se asocia la siguiente conjetura. La demanda de bitcoin se encuentra asociada de las opiniones de un grupo de actores influyentes del mercado, de la opinión de los reguladores y del comportamiento de un grupo de seguidores.

Tercer objetivo específico. Analizar los riesgos para la estabilidad financiera asociados a bitcoin en una economía emergente. Construir un modelo que explique las consecuencias de un incremento en la volatilidad de demanda de bitcoin en el nivel del tipo de cambio entre pesos y dólares en Argentina. Evaluar empíricamente el modelo propuesto a partir de datos estimados para Argentina. A este tercer objetivo específico se asocia la siguiente conjetura. Incrementos en la volatilidad de la demanda de bitcoin pueden generar incrementos en la volatilidad en el tipo de cambio entre pesos y dólares.

1.5. Metodología

Para la evaluación conceptual, se construye un modelo de generaciones superpuestas OLG que contempla los tres objetivos de la investigación. El primer modelo incluye un registro de transacciones (similar a la introducción de un único activo) que funciona como memoria social. El segundo modelo agrega un activo fiduciario para dar cuenta de la demanda relativa del registro digital y el activo fiduciario. El tercer modelo incluye un tercer activo, dinero fiduciario externo, para evaluar los cambios en los precios relativos a partir de incrementos en la demanda del activo digital. Para la evaluación empírica, en primer lugar, se estima el registro de operaciones a través de la blockchain de bitcoin. En segundo lugar, se analiza la demanda de bitcoin a partir de mensajes de actores influyentes en la red social Twitter. Y, finalmente, se estima la demanda de bitcoin en Argentina a través de búsquedas en Google.

1.6. Organización

En el segundo, tercero y cuarto capítulo se presentan los documentos relacionados al primer, segundo y tercer objetivo, respectivamente. En el capítulo quinto se presentan las conclusiones.

Capítulo 2

Características de oferta de activos digitales

2.1. Introducción

Las características de diseño de oferta de Bitcoin surgen asociadas a una nueva tecnología: la tecnología de registros distribuidos o Distributed Ledger Technology (DLT). Desde el aspecto monetario, esta tecnología tiene la característica de generar un registro confiable de transacciones que no depende de la auditoría de una autoridad central. En este contexto, la investigación propone responder a la pregunta de si es posible que bitcoin puede funcionar como una tecnología equivalente al dinero. Para responder a esa pregunta, se propone evaluar las características monetarias de oferta de bitcoin en el marco de un modelo de generaciones superpuestas.

Para la evaluación conceptual, se construye un modelo de generaciones superpuestas donde la DLT funciona como registro de las operaciones. Se busca recuperar el concepto de dinero como mecanismo de memoria social¹. Para la evaluación empírica se imponen las condiciones del modelo a los datos para recuperar una única cadena de transacciones cuya tasa de crecimiento se compara con el valor de bitcoin.

El documento se organiza de la siguiente manera. En la segunda sección, se efectúa

¹De manera complementaria, en la primera sección del Apéndice A, se propone una explicación al comportamiento de los agentes del modelo a partir de la teoría de juegos

una revisión de la literatura. En la tercera sección se describen las características monetarias de oferta de bitcoin. En la cuarta sección, se construye el modelo de generaciones superpuestas incorporando de un escenario de sistema distribuido. En la quinta sección se evalúa empíricamente el modelo. Finalmente, se exponen los resultados de la investigación.

2.2. Literatura existente

Una parte de la literatura indica que una DLT puede cumplir el rol de registros de transacciones y que, por lo tanto, podría dar lugar al concepto de dinero como proceso de memoria social (Kocherlakota, 1998). En Schnabel y Shin, 2018 la DLT aparece vinculada a los conceptos de dinero como confianza y conocimiento compartido. Este trabajo muestra una vinculación directa entre la DLT como memoria social y el concepto de conocimiento compartido. Para los autores, el conocimiento compartido es necesario para que se genere confianza en el registro propuesto por la DLT. La idea de conocimiento compartido se encontraba presente en Kocherlakota, quien indicaba que la noción de dinero como memoria social asumía que los agentes de la economía tenían conocimiento completo de todas las transacciones que realizaron los otros agentes de la economía (Kocherlakota, 1998). Los autores evalúan empíricamente sus proposiciones a través de la discusión sobre la forma del surgimiento de depósitos bancarios. La consideración es que dichos depósitos dieron lugar a una transformación con elementos disruptivos y continuadores sobre lo que las personas entendían por dinero. A partir de dichos cambios, los autores analizan cómo puede variar la noción actual de dinero en la era digital. Al igual que estos documentos, la presente investigación vincula el concepto de memoria social de Kocherlakota con el mecanismo de red distribuida (DLT)². En esta misma línea, Luther y Olson, 2014 argumentan que bitcoin es una aplicación práctica de lo que se denomina memoria en la literatura de economía monetaria. Los autores argumentan que, al igual que

²En una primera etapa, la evaluación teórica del capítulo dos del presente documento asume, al igual que Kocherlakota, que existe conocimiento completo los agentes. En estudios posteriores, se podrá relajar este supuesto para incorporar la idea de consenso de red. El consenso de red es probablemente la innovación fundamental del sistema bitcoin.

la memoria, bitcoin funciona como un dispositivo de registro público. A diferencia de estos autores, el presente documento incorpora el argumento en un modelo de generaciones superpuestas. Y, a diferencia tanto de Luther y Olson, 2014 como de Schnabel y Shin, 2018, este documento evalúa empíricamente el concepto de dinero como memoria social a partir del análisis de la cadena de bloques de bitcoin.

Un grupo de la literatura teórica que analiza las características de oferta de los activos digitales indica la relevancia de la tecnología de red distribuida (DLT, *Distributed Ledger Technology*) como factor diferencial respecto a otros activos monetarios (Ali & Barrdear, 2014). Se enfatizan los elementos particulares que componen la DLT y se indica cómo a partir de dichas características se podrían originar modificaciones en los sistemas tradicionales de pago. El documento de Auer y Böhme, 2020, en un marco de estudio de las denominadas monedas digitales de bancos centrales (CBDC, *Central Bank Digital Currencies*), analizan las características diferenciales de una DLT respecto a sistemas de compensación centralizados. El trabajo enfatiza las ventajas del diseño distribuido de las DLT en la generación de confianza en el sistema. Al igual que dichos documento, el presente documento enfatiza los elementos diferenciales de una DLT para la gestión de transacciones de una economía monetaria.

Davidson y col., 2018 analizan el mecanismo de verificación del sistema distribuido de la DLT. Desde una perspectiva institucional los autores consideran que las DLT son una nueva tecnología institucional de gobernanza. En ese sentido, una DLT se puede aplicar en otros ámbitos diferentes al sistema económico donde se vinculen y coordinen las acciones de diversos actores. De este trabajo la investigación retoma algunos aportes sobre el funcionamiento de la DLT como una nueva tecnología y sus ventajas frente a los costos de los sistemas más centralizados y en principio el entendimiento de este sistema en general. A diferencia de dicho documento, el presente documento asume que el conocimiento compartido es condición suficiente para el control del sistema.

Un grupo de autores utilizan el marco de un modelo de generaciones superpuestas para incorporar bitcoin, pero no analizan específicamente la tecnología de red distribuida. Garratt y Wallace, 2018 construyen un modelo de generaciones superpuestas

incorporando bitcoin y luego generalizan este caso donde coexisten múltiples clones de Bitcoin y otras formas de dinero fiduciario que compiten frente a este. Este documento busca demostrar que existen indeterminaciones que generan situaciones de múltiples equilibrios. Otro trabajo que utiliza un OGM para entender el funcionamiento de Bitcoin es el de Biais y col., 2020. Los autores construyen un modelo de generaciones superpuestas fundamentando que el valor de bitcoin se obtiene del flujo de beneficios transaccionales netos y su dependencia de los valores de los precios futuros. Los autores evalúan empíricamente el modelo con datos sobre los beneficios y costos de realizar transacciones con Bitcoin.

Por el lado de las investigaciones empíricas que buscan analizar las características diferenciales de los activos digitales, Schnabel y Shin, 2018 realizan un estudio de la evolución de los depósitos bancarios en Estados Unidos en la época del *free banking*. A diferencia de dicho estudio, la presente investigación toma como datos las transacciones efectuadas en la DLT de bitcoin durante sus primeros años de existencia. Existe otro grupo de documentos que estudian bitcoin en el entorno de los datos de la cadena de bloques (Badev & Chen, 2015; Bai y col., 2015; Leong, 2020; Pasha Motamed & Bahrak, 2019; Zambre & Shah, 2013) pero sus objetivos se vinculan a aspectos técnicos de la DLT y no estarían asociados a la dimensión monetaria. En términos de estudios económicos, el estudio de McGinn y col., 2018 incluye una sección donde se analiza la velocidad de circulación del activo bitcoin en la cadena de bloques.

2.3. Características monetarias de bitcoin

Bitcoin presenta ciertas características compatibles con tecnologías asociadas al funcionamiento del dinero. La DLT como tecnología de registros, las pruebas de consenso para generar confianza, la oferta predeterminada en el tiempo y los costos de producción crecientes son características del sistema bitcoin que pueden asociarse a características monetarias.

2.3.1. Distributed Ledger Technology (DLT) como memoria social

El dinero es equivalente a una forma primitiva de memoria. Dada la presencia de un registro histórico de las acciones pasadas se pueden lograr asignaciones que tradicionalmente se consiguen haciendo uso de las formas de dinero actual. En una economía monetaria se podría sustituir al dinero por un registro con la totalidad de transacciones que sea conocido por todos los agentes de la economía. El dinero es un dispositivo de almacenamiento de información que permite a todos los individuos acceder a los registros de ciertos aspectos del historial comercial. Cuando un agente ofrece un bien de consumo, recibe una cantidad de dinero que podrá utilizar en el próximo período para adquirir un bien de consumo. De manera análoga, en la economía de registros, cuando un individuo ofrece un bien de consumo a otro, aumenta su balance en el registro de transacciones (Kocherlakota, 1998). La DLT funciona como un registro de todas las transacciones pasadas. Por lo tanto, la DLT permite el conocimiento por parte de un agente de las historias completas de todos los agentes con los que ha tenido contacto directo o indirecto en el pasado.

Definición 2.3.1 (Distributed Ledger Technology (DLT) como dinero) La DLT es un registro público equivalente a un proceso de memoria social. El dinero es equivalente a una forma primitiva de memoria social. Por lo tanto, una DLT sería un proceso tecnológico equivalente al dinero

La idea del dinero como una tecnología de memoria social aplicada en un registro universal correspondía a una propuesta teórica no observable. Los avances asociados a las tecnologías de registros distribuido han hecho posible la existencia concreta de tal registro. En este contexto, los activos digitales pueden ser considerados una tecnología equivalente al dinero (Shin, 2021).

2.3.2. DLT como sistema confiable

El dinero es una institución social que se basa en la confianza en la integridad del sistema. Según Haldane y col., 2015, existen tres formas de generar confianza en el

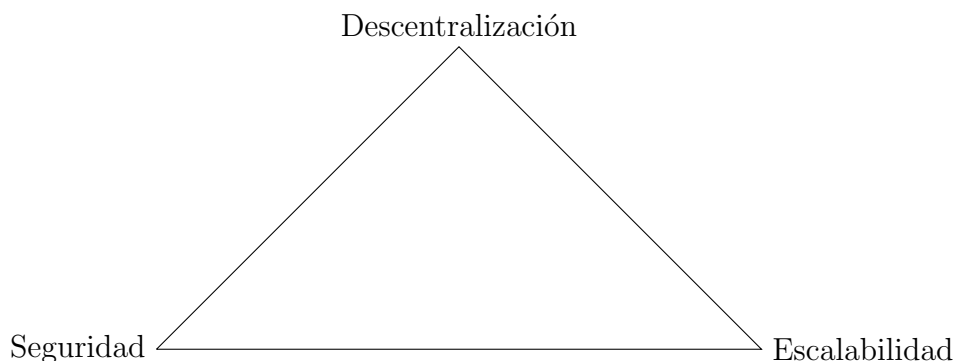
sistema monetario. La primera alternativa es a través del poder del soberano. El soberano puede mantener un registro de los libros de débito y de crédito o bien puede emitir tokens (dinero papel). La segunda alternativa para generar confianza en el sistema monetario es mediante acuerdos privados. En este caso, las partes privadas mantienen de forma segura los libros de contabilidad de débito y crédito o, de manera alternativa, las partes privadas emiten de forma segura tokens. En este último arreglo se podría incluir a bitcoin. Finalmente, la tercera alternativa para generar confianza es a través de monedas de productos básicos (por ejemplo: oro y plata). En este marco, el dinero papel es una forma particular de generar confianza en el sistema. El dinero en la economía moderna es una forma especial de pagaré o, en términos económicos, un activo financiero. El dinero es un tipo especial de pagaré en el que todos confían (Mcleay y col., 2014b). En este contexto, bitcoin es un sistema que genera confianza por arreglos privados. Estos arreglos privados se basan en mecanismos de consenso descentralizado a través de incentivos monetarios. DLT resuelve cómo establecer confianza -la esencia del dinero- en una red distribuida (Haldane, 2015).

Proof of Work (PoW) como mecanismo de consenso. La DLT de bitcoin basa su sistema de registro confiable en un mecanismo de consenso específico denominado PoW. La prueba de trabajo es una tarea que consume tiempo y gasto de energía eléctrica por parte de los actores involucrados en el sistema, los nodos (mineros). Las transacciones son agrupadas en bloques que tienen un determinado espacio. El trabajo de los nodos garantiza la validez de un bloque de transacciones a partir de la resolución de funciones criptográficas (Ali & Barrdear, 2014).

Trilema de la escalabilidad. Para los activos digitales, la seguridad del registro de transacciones depende del mecanismo de consenso adoptado. El mecanismo de consenso tiene por objetivo evitar que se incluyan transacciones incorrectas al sistema de registros. Existen diferentes mecanismos de consenso. Los mecanismos que presentan mayores niveles de seguridad y, por tanto, confianza, requieren mayor tiempo y esfuerzo. Por este motivo, pueden existir problemas para la escalabilidad del sistema. Esta situación se conoce como el (trilema de la escalabilidad) de los

registros distribuidos³. En el trilema se plantea la dificultad de poder lograr que el registro distribuido sea de manera simultánea seguro, escalable y descentralizado (ver Figura 2.1).

Figura 2.1: Trilema de escalabilidad



Notas. En el trilema se plantea la dificultad de poder lograr que el registro distribuido sea de manera simultánea seguro, escalable y descentralizado. Fuente: Buterin, 2021

La escalabilidad sólo se consigue abandonando la descentralización, mientras que la descentralización y la seguridad se consiguen a costa de la escalabilidad. La consecución de los tres objetivos queda descartada en el equilibrio.

En este contexto, los activos digitales se pueden clasificar en función a estos tres objetivos del trilema de escalabilidad. Los activos digitales de primera generación (ej. bitcoin y ether) tienen seguridad y descentralización, pero no tienen escalabilidad. Las monedas estables privadas las monedas digitales de bancos centrales (CBDC, *Central Bank Digital Currencies*) pueden ser escalables y seguras, pero no son descentralizadas.

2.3.3. Oferta inelástica de bitcoin

Friedman, 1951 indica que una virtud importante de las monedas de oferta inelástica es la automaticidad y la inmediatez: no requieren previsiones ni decisiones políticas administrativas o legislativas. Tienden a funcionar automáticamente de forma anticíclica. La existencia de costes físicos de producción establece límites a la can-

³Ver, por ejemplo, Buterin, 2021.

tividad de moneda, por lo que es imposible que se produzca una inflación desbocada siempre que se respete un estándar de calidad. Los vicios de los estándares estrictos de mercancías son la otra cara de sus virtudes. Al ser automáticos, puede que no proporcionen la suficiente flexibilidad o adaptabilidad para evitar oscilaciones sustanciales en los precios o en los ingresos. El coste físico de producción de la moneda significa que las oscilaciones de los precios pueden producirse por cambios tecnológicos en el coste relativo de producción de la mercancía monetaria. La emisión de bitcoin se encuentra predeterminada en el tiempo (Nakamoto, 2008). Esta característica implica que el precio del activo digital esté determinado por la demanda de dicho activo (Ali & Barrdear, 2014; European Central Bank, 2012, 2015; IMF, 2017)⁴

La trayectoria futura de la oferta está predeterminada y se rige por un protocolo que garantiza que la oferta total final será fija (Mcleay y col., 2014a). La producción de nuevos bitcoins (generación de bloques) está determinada por un algoritmo. El número de bitcoins generados por bloque está programado desde sus inicios para disminuir con una reducción del 50 por ciento en su valor cada cuatro años, en una progresión. La probabilidad de producción sigue una distribución de Poisson y la oferta global sigue una serie aproximadamente geométrica. Bitcoin tiene un límite superior de 21 millones. La recompensa de bitcoin se divide por 2 cada 210.000 bloques, o aproximadamente cuatro años⁵. La existencia de la unidad transable más pequeña significa que el suministro de bitcoin es discreto y no continuo, por lo que la producción no continuará indefinidamente, sino que finalmente deberá caer por debajo de los diez nanobitcoins, y cesará de forma efectiva. Se estima que para 2032 se habrán minado un 99 por ciento de los bitcoin, pero como el ritmo de producción será más bajo no será hasta aproximadamente 2140 cuando se mine el último bitcoin. En este sentido, la oferta de bitcoin se parece a la de un *commodity*⁶.

⁴Si la oferta monetaria no puede responder a esas variaciones, se produciría una volatilidad de los precios, lo que provocaría una volatilidad de la actividad económica que empeoraría el bienestar. Esta situación podría dificultar la función de los activos digitales como reserva de valor. Además, eventualmente podría generar un proceso de devaluación (Financial Innovation Network, 2020; FSB, 2019).

⁵Algunos de los bitcoins en circulación se pierden para siempre, por ejemplo, debido a contraseñas perdidas, direcciones de salida incorrectas o errores en los scripts de salida.

⁶Los bitcoins pueden dividirse hasta en 8 cifras decimales, unidad denominada Satoshi (1 Satoshi

2.3.4. Costos de producción crecientes

Bitcoin es generado a través de una función de producción estándar. Los costos de producción dependen del tiempo de uso de las CPU y de la electricidad utilizada. Además, dependen de costos de enfriamiento de las CPU y de costos de administración y de mantenimiento. La tasa de hash es la unidad de medida de la potencia de procesamiento de la red Bitcoin. Mide la cantidad de energía que consume la red Bitcoin para funcionar continuamente⁷. Cuando la dificultad de la red de Bitcoin aumenta, se requiere más tasa de hash para encontrar los bloques y, como resultado, los mineros obtienen la recompensa por bloque más las tarifas de transacción. La dificultad de la red Bitcoin aumenta cuando más mineros se unen a la red y, por lo tanto, es necesario aumentar la potencia hash (es decir, se deben realizar más conjeturas computacionales por segundo para encontrar la solución). Si bien se puede estimar la tasa de cálculo total de la red (hashrate), es muy difícil saber cuál es el consumo real de energía ya que no hay un registro central que indique qué máquinas están activas minando⁸ y qué consumo tiene cada una⁹¹⁰.

= 0.000 000 01 BTC), e incluso en unidades más pequeñas si es que así se lo requiere. Conforme el tamaño promedio de transacciones decrece, estas pueden ser denominadas subunidades de bitcoin, como por ejemplo el millibitcoin (1 mBTC o 0.001 BTC).

⁷Cuando la red alcanza un hash rate de 10 TH/s significa que puede hacer 10 billones de cálculos por segundo. En la actualidad, enero de 2022, el hashrate es de 200 millones de TH/S aproximadamente. Para una actualización de los datos de la tasa de hash ver, por ejemplo, Blockchain.com.

⁸No es posible observar la cantidad exacta de dispositivos conectados. Por ejemplo, Bitnodes estima que en enero de 2022, la red de Bitcoin tiene alrededor de 15.000 nodos conectados, pero un solo nodo en la red puede representar una o muchas máquinas. En Argentina, Coinmonitor estima que existen a enero de 2022 aproximadamente 11 nodos conectados.

⁹Por ejemplo, un hashrate de 14 terahashes por segundo puede provenir de un solo Antminer S9 que se ejecuta en solo 1.372 W, o más de medio millón de dispositivos Playstation-3 que funcionan con 40 MW (un dispositivo Playstation-3 tiene un hashrate de 21 megahashes por segundo y un uso de energía de 60 W).

¹⁰En base a estimaciones del del Cambridge Centre for Alternative Finance, se considera que a enero de 2022 la red de Bitcoin consume 140TWh anual de electricidad. Este nivel de consumo es comparable al consumo anual de electricidad de la minería de oro. Para un detalle del nivel de consumo y un análisis comparativo con otras industrias ver "Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI)", s.f.

2.4. Modelo de redes distribuidas como tecnología equivalente al dinero

Se propone introducir el concepto de DLT como registro en un modelo monetario de generaciones superpuestas OLG. En un OLG se puede mostrar el intercambio entre personas que de otra manera no podrían comerciar. Esto es el intercambio intergeneracional (Champ & Freeman, 2004). En este sentido, resulta un marco conveniente para analizar la DLT como un proceso de memoria que podrá vincular a las generaciones entre sí. De esta manera, como un proceso endógeno, en un OLG aparece la memoria social atravesada por un registro entre jóvenes y viejos.

Supuestos.

Se asume que el registro distribuido mantiene un valor de intercambio invariante entre t y $t+1$. Por lo tanto, el registro se puede considerar como una reserva de valor. Como consecuencia, el registro que posibilitará su utilización como medio de cambio en $t+1$ ¹¹. Se asume que, al mantener su valor, las personas quieren mantener dichos registros en el tiempo¹².

2.4.1. Entorno.

Se define el entorno de la economía a partir de los postulados tradicionales de los modelos de generaciones superpuestas. La economía presenta individuos que viven

¹¹Es importante notar que en la economía de registros que sugiere Kocherlakota, se asume que los agentes tienen conocimiento perfecto de la historia de transacciones del resto de los agentes. Se está asumiendo que no existe la posibilidad de transacciones inválidas. El sistema DLT resuelve explícitamente el problema del control de las operaciones a través de las pruebas de trabajo. De hecho, esta es una de las principales innovaciones del sistema. Para el presente capítulo se asume, al igual que Kocherlakota, que el conocimiento compartido de las transacciones es suficiente para que no exista posibilidad de fraude o doble gasto, en términos de la nomenclatura de DLT.

¹²En el capítulo 3, se buscará explicar los motivos por los cuales las personas desean mantener un tipo de tecnología funcionalmente equivalente al dinero o a un sistema de registros. Para eso, se modela una economía con dos tecnologías monetarias y un grupo de actores inuyentes que determinan la adopción de una u otra tecnología

por dos períodos. En términos de la DLT de bitcoin, se definen los períodos en función de los meses de la cadena, ℓ . Las personas que nacen en $\ell = 1$ viven en $\ell = 1$ y en $\ell = 2$. Las personas que nacen en $\ell = 2$ viven en $\ell = 2$ y en $\ell = 3$. Cualquier persona es joven en ℓ y viejo en $\ell + 1$. En cada período ℓ nacen $\#_{\ell}$ individuos, donde cada individuo se asocia a una dirección del sistema DLT¹³. Las personas que nacen en $\ell = 1, 2, 3, \dots$ se llaman generaciones futuras. En el período $\ell = 1$ hay ℓ_0 personas que se llaman viejos iniciales. En cada período $\ell + 1$ hay $\#_{\ell}$ jóvenes que acaban de nacer y $\#_{\ell + 1}$ personas mayores.

Bienes. Existe un solo bien que no puede almacenarse. Cada persona recibe una dotación del bien cuando es joven pero no reciben bienes de consumo cuando son viejos. La dotación se denota con \sim .

Trabajo. Se podría pensar que las personas están dotadas de una unidad de tiempo de trabajo cuando son jóvenes. Las personas pueden usar ese tiempo con una tecnología que le permite transformar su trabajo en unidades de bien de consumo. La dotación sería la capacidad de trabajar. Cada persona puede obtener un ingreso real \sim del bien de consumo.

Preferencias. Las personas derivan utilidad del consumo del bien. Los miembros de las generaciones futuras consumen cuando son jóvenes y cuando son viejos. La utilidad depende, entonces, de la canasta de consumo cuando es joven, $z_{1,\ell}$, y cuando es viejo $z_{2,\ell+1}$. Las preferencias de los viejos iniciales son simples. Como viven y consumen solo en el período inicial, entonces van a querer maximizar su consumo en ese período.

Tiempo. El tiempo es infinito. Las personas jóvenes y las viejas se benefician de intercambiar. Pero esto requiere un tiempo que no termine. Si se sabe que no va a

¹³En la evaluación empírica se analiza este postulado en términos de los datos disponibles de la cadena de bloques de bitcoin. De manera preliminar, es importante notar que las direcciones de la cadena de bloques no representan personas de manera directa sino asociada. Una persona puede tener más de una dirección en la cadena. De hecho, generar una nueva dirección por transacción es una de las maneras de generar mayor anonimato en las operaciones.

existir un próximo período, entonces los jóvenes no van a querer comerciar con los viejos. Los viejos de este período saben cuándo son jóvenes que les va a pasar eso. Entonces, tampoco van a querer intercambiar con los viejos de dicho período.

Problema económico. Las generaciones futuras quieren consumir en todos los períodos de tiempo, pero solo tienen acceso cuando son jóvenes. Tienen que encontrar la forma de poder consumir en el segundo período.

DLT. Cada joven puede observar los intercambios que realizó cada viejo cuando era joven debido al registro en la DLT. El historial de transacciones es gratuito y de conocimiento público. Una persona joven está dando un bien a una persona vieja y recibe un registro de dicha transacción. En un siguiente período, el joven ahora es viejo, tiene ese registro de la transacción que hizo inicialmente que todos pueden ver. El registro no es físico sino digital. El mantenimiento de un registro perfecto es lo que posibilita conectar a personas que nunca más se van a encontrar. Es decir, se está asumiendo una economía sin fricciones. Como indica Kocherlakota, 1998 se podría pensar en un regalo ¹⁴ que espera ser retribuido con un nuevo regalo intergeneracional en el siguiente período. El registro del regalo opera como memoria para las próximas generaciones. En el siguiente período, el ahora viejo, tiene ese registro de la transacción que hizo inicialmente que todos pueden ver en la DLT. En este sentido el registro es un compromiso.

2.4.2. Mercado de registros

Restricciones presupuestarias. Se puede analizar qué cantidad desea consumir una persona cuando es joven y cuánto cuando es vieja. Para eso, se estudian las restricciones presupuestarias. Las personas jóvenes entregan bienes a los viejos y reciben a cambio un registro de esa transferencia en la DLT. En el siguiente período, el viejo tiene un registro del «regalo» que hizo cuando era joven a los viejos. Este registro es una nota digital en la cadena de bloques. Es como una promesa de pago

¹⁴Para un análisis del intercambio monetario como intercambio de regalos o dones ver Mauss, 1969, 2009.

(IOU, por sus siglas en inglés)¹⁵. A partir de esa secuencia de intercambios se podría llegar a un equilibrio competitivo.

En este entorno, cuando son jóvenes, las personas tienen una asignación de \sim bienes. Las personas pueden hacer dos cosas con esos bienes: consumirlos o entregarlos a una persona vieja. En el caso de transferirlos a una persona vieja, esa transacción queda registrada en la cadena de bloques. La cantidad de la transferencia, es decir, de consumo regalado al viejo, se denota como c_t . En el presente modelo, se impone la condición de que los jóvenes realizarán por única vez un intercambio con un viejo.

La restricción presupuestaria que enfrentan los individuos en el primer período es $2c_{1,t} + c_{1,t} \sim$ donde $c_{1,t}$ es la cantidad de bienes consumo dado por un joven a una persona mayor en el momento t .

Cuando se es viejo no se reciben bienes \sim . Por lo tanto, cuando se es viejo solo se puede consumir si se reciben regalos de los jóvenes. Esto implica que la restricción presupuestaria en el segundo período, $t = 2$, es $2c_{2,t} + c'_{2,t}$, donde la variable $c_{2,t}$ denota los regalos recibidos cuando se es viejo. Mientras que c_t es una variable de elección, la variable $c'_{2,t}$ es una variable dada. Es decir, cuando uno es joven puede decidir cuanto regalar a los viejos. Pero cuando se es viejo no se puede decidir cuanto se recibe como transferencia.

Tasa de conversión. Se supone que un joven está dispuesto a regalar c_t bienes cuando es joven para obtener $c'_{2,t}$ bienes cuando es viejo. Se puede considerar que existe una tasa de conversión. Se va a indicar como $G_{c_{2,t}}$ la tasa a la cual una persona puede intercambiar unidades del bien de consumo en el período t por unidades de consumo en el período $t + 1$, es decir, $c_t G_{c_{2,t}} = c'_{2,t}$. Se puede reescribir la restricción presupuestaria del segundo período como $2c_{2,t} + c_t G_{c_{2,t}}$.

Se está creando una relación entre el regalo entregado cuando se es joven y el regalo recibido cuando se es viejo. Cada persona toma el valor de $G_{c_{2,t}}$ como dado. Se puede sustituir en la restricción cuando es joven, $2c_{1,t} + \frac{2c_{2,t}}{G_{c_{2,t}}} \sim$. Esta ecuación expresa la restricción presupuestaria intertemporal.

¹⁵Para una referencia adicional a las IOU como forma de dinero, ver, por ejemplo, el documento de Mclay y col., 2014a.

La tasa de conversión es igual para todas las generaciones. Este supuesto se puede considerar razonable porque cada generación enfrenta el mismo problema: dotaciones, preferencias y población (en una primera instancia) son las mismas en cada período. Si las opiniones sobre el futuro también son las mismas, cada persona reacciona de la misma manera, eligiendo $z_{1\ell} = z_1$ y $z_{2\ell} = z_2$ para cada período ℓ . Son equilibrios estacionarios ¹⁶.

Precio de la tasa de conversión: oferta y demanda de regalos. El precio de la tasa de conversión se determina por la oferta y la demanda de regalos. La oferta es el número de regalos que las personas jóvenes ofrecen. Esos regalos de los jóvenes a los viejos son igual a la cantidad de bienes que los jóvenes no consumen cuando son jóvenes $1 - z_{1\ell}^0$. Por lo tanto, la oferta total es $\#_{\ell-1} (1 - z_{1\ell}^0)$. La demanda total, medida en unidades de los jóvenes, sería $\#_{\ell} G_{\ell}$, es decir, del número total de viejos en la actualidad y del valor de las transferencias cuando ellos eran jóvenes.

La igualdad de oferta y demanda requiere que $\#_{\ell-1} G_{\ell} = \#_{\ell-1} (1 - z_{1\ell}^0)$. Lo cual implica que $G_{\ell} = \frac{\#_{\ell-1} (1 - z_{1\ell}^0)}{\#_{\ell-1}}$, es decir, la tasa de conversión viene dada por la oferta real de transferencias agregadas sobre las transferencias del período anterior. Se puede tomar la solución estacionaria $z_{1\ell} = z_1$ y $z_{2\ell} = z_2$, $\forall \ell$. La tasa de conversión se simplifica a $G_{\ell} = \frac{\#_{\ell}}{\#_{\ell-1}}$.

Crecimiento poblacional. Si asumimos que la población está en crecimiento, esto implica que la cantidad total del bien de consumo disponible en la economía crecerá. La suposición de una población creciente implica una demanda creciente de regalos de la siguiente generación. El crecimiento de la población se representa como $\#_{\ell} = \lambda \#_{\ell-1}$ para cada período ℓ , donde λ es una constante mayor a 1. Con esta suposición la tasa de conversión es $G_{\ell} = \frac{\#_{\ell}}{\#_{\ell-1}} = \lambda$. Con la información que $G_{\ell} = \lambda$, y recordando que la restricción presupuestaria intertemporal $z_{1\ell} + \frac{z_{2\ell}}{\lambda} = 1$, se tiene que $z_{1\ell} + \frac{z_2}{\lambda} = 1$.

Si un joven está dispuesto a regalar λ cuando es joven para obtener λ cuando es

¹⁶Se suponen expectativas racionales en un entorno determinístico. Los valores esperados son iguales a los valores reales de dichas variables futuras. Es un caso especial de prevision perfecta. Cada persona pronostica de manera perfecta la tasa de conversión del próximo período $G_{\ell, \ell+1}$.

viejo, la tasa de conversión indica la tasa a la cual una persona puede intercambiar unidades del bien de consumo en el período ℓ por unidades de consumo en el periodo ℓ_1 . Debido a que las preferencias se mantienen en el tiempo y debido a que las generaciones saben que la población aumenta, pero a una tasa constante en el tiempo β , se tiene que $G_{\ell,1} = \beta$. Es decir, la tasa de conversión se mantiene igual para cada generación y coincide con el ritmo de crecimiento de la población. Lo cual implica que tanto la dotación de bienes crece al mismo ritmo que la demanda de transferencias. Esto permite llegar a un equilibrio si la cantidad de bienes que los jóvenes dejan de consumir en el primer periodo para regalar a la generación más vieja crece a la misma velocidad conforme crece la población. Así tenemos que $\beta G_{\ell,1} = \beta'_{\ell,1}$ si $G_{\ell,1} = \beta$ entonces $\beta'_{\ell,1} = \beta$.

Se llega a la misma restricción intertemporal que la encontrada anteriormente, donde β se encuentra como una tasa de descuento para el consumo del periodo 2, siendo esta $\beta = \frac{2_2}{2_1}$. Permitiendo llegar a un equilibrio estacionario, gracias al ajuste que se logra entre oferta y demanda.

La evaluación conceptual corrobora la conjetura a partir de la introducción de la DLT en el modelo de generaciones superpuestas. En el modelo, cada persona tiene un par de encuentros. Cuando se es joven, uno se encuentra con un viejo. Cuando se es viejo, uno se encuentra con un joven. Cada encuentro es una oportunidad de intercambio. Los jóvenes tienen bienes, los viejos no tienen nada. Se produce intercambio porque cuando al individuo le toque ser viejo, ninguna persona joven estará dispuesta a intercambiar con dicho individuo si no intercambié con un viejo cuando era joven. La utilidad de la DLT es servir de registro público perfecto y gratuito de transacciones. La posibilidad de inclusión de esta tecnología de manera directa en el modelo permite concluir que la misma puede funcionar como un sistema de registros público y, por lo tanto, como memoria. De esta manera, se puede asociar la tecnología DLT como dinero.

2.5. La génesis del sistema de registro distribuido

En la presente sección evalúa empíricamente la conjetura que una DLT es una tecnología equivalente al dinero. El objetivo es, en primer lugar, imponer el entorno del modelo sobre los datos, para verificar si la cadena de bloques cumple con las condiciones propuestas por el modelo. Y, en segundo lugar, verificar si la tasa de crecimiento de la cadena se puede asociar a la tasa de crecimiento del precio de bitcoin.

2.5.1. Metodología

Para evaluar empíricamente la conjetura analizan las transacciones en la cadena de bloques de bitcoin entre diferentes actores. Por lo tanto, el universo de datos del presente capítulo son el total de transacciones ocurridas en la cadena de bloques de bitcoin desde su inicio, enero de 2009, hasta la actualidad (enero de 2022) de todas las personas que hayan participado en el intercambio. Se toma una muestra de dichas transacciones. Dicha muestra representa un recorte temporal del total de operaciones en la etapa inicial del sistema desde enero de 2009 hasta agosto de 2012. La selección de dicho período es intencional por criterio subjetivo y responde a la disponibilidad de datos a la actualidad y capacidad de cálculo computacional. El estudio de la evolución de las transacciones en la cadena de bloques durante su evolución desde sus primeros años de existencia permite dar cuenta de las características particulares de la DLT. En particular, se asume que el análisis de determinadas transacciones específicas permite luego efectuar generalizaciones sobre el comportamiento del sistema.

El modelo OLG con DLT propone transacciones entre los participantes del sistema. Sin embargo, las transacciones entre personas no son observables de manera directa en la cadena de bloques. En términos del modelo propuesto, no son observables las transacciones entre las diferentes generaciones de jóvenes. Esto se debe a que el sistema bitcoin es pseudo anónimo. Cada usuario de la cadena de bloques puede hacer uso de una o varias direcciones (Luther & Olson, 2014). La investigación asume que las direcciones son una aproximación de los usuarios de la red. En términos

del modelo, las direcciones son una aproximación a los jóvenes de cada una de las diferentes generaciones. Para la presente evaluación empírica, se considera que el tiempo de cada generación, t , se corresponde con los meses de la cadena¹⁷. En una transacción de la cadena de bloques se encuentran dos direcciones. Por un lado, la dirección de salida (output, en términos del lenguaje del código de la cadena) y, por otro lado, la dirección de llegada (input, en términos del lenguaje de la cadena de bloques). El modelo se aproxima a los datos asumiendo que las direcciones de salida corresponden a los jóvenes y las direcciones de llegada corresponden a los viejos.

El modelo de generaciones superpuestas con DLT indica que los individuos nacen en un período t y mueren en el período $t+1$. En ese marco, los individuos tienen dos encuentros donde realizan transacciones: en el primer período, cuando nacen, y en el segundo período - consecutivo al anterior-, donde mueren. Este entorno del modelo implica imponer dos condiciones a los datos.

En primer lugar, se filtran las direcciones por su primera aparición y se descartan las restantes, tanto para los jóvenes (output) y para los viejos (input). De esta manera, se evita que las personas «resuciten» en un período posterior de la cadena.

En segundo lugar, se filtra a las direcciones de jóvenes (output) que luego aparecen en las direcciones de viejos (input). De esta manera, se evita contabilizar personas que guarden sus saldos de registros sin gastar.

Sin embargo, no se impone como condición a los datos que las transacciones deban efectuarse entre generaciones consecutivas. Es decir, las direcciones no deben aparecer en su segunda transacción en el siguiente mes a la primera transacción. Si bien esto permite «saltos generacionales» en las transacciones, no se permite que un individuo realice más de dos transacciones. Esta situación implica, necesariamente, que el joven puede seguir trabajando hasta el último período de vida o que puede trasladar el bien de consumo hasta dicho último período.

Las transacciones de la cadena de bloques se descargan de Google Cloud¹⁸. Luego de

¹⁷Esta consideración podrá modificarse para tener en cuenta los bloques de la cadena en lugar de los meses como generaciones futuras. Si bien se han hecho pruebas con esa alternativa, se considera que resulta más intuitivo mantener la consideración temporal a partir de los meses.

¹⁸Google Cloud es un espacio virtual a través del cual se puede realizar una serie de tareas que antes requerían de hardware o software y que ahora utilizan la nube de Google como única forma

ingresar a una cuenta de usuario de Google, se crea un nuevo proyecto y se ingresa la instrucción Structured Query Language (SQL) para la recolección de datos.

Listing 2.1: Código en SQL para extracción de datos de búsquedas en Google Cloud

```
1  SELECT transactions.hash, transactions.block_number, block_timestamp,
2      input_address, output_address
3  FROM `bigquery-public-data.crypto_bitcoin.transactions`
4      AS transactions,
5      transactions.inputs AS input,
6      input.addresses AS input_address,
7      transactions.outputs AS output,
8      output.addresses AS output_address
9  WHERE block_timestamp BETWEEN '2012-03-01' AND '2012-03-31'
10     AND is_coinbase = false
11     AND input_address <> output_address
```

En la primera línea del código, el comando `SELECT` indica las variables que se van a listar en la base. En este caso, se solicitan listar el hash de la transacción (`transactions.hash`), es decir, el ID que se asigna a las operaciones de la red, el número de bloque (`transactions.block_number`), que indica el bloque de la cadena en la cual se está efectuando la transacción, la dirección de entrada de la transacción (`input_address`) y la dirección de salida (`output_address`). En la tercera línea, el comando `FROM` indica la fuente de datos, en este caso, la base de datos de Google Query con datos de la cadena de bloques. Entre la cuarta y la octava línea se efectúan algunas transformaciones en los nombres de las variables para el procesamiento de la base. La novena línea indica, a través del comando `WHERE`, el período que se va a hacer la consulta¹⁹. La línea diez indica que se listen transacciones que no contengan las operaciones ((coinbases)), las cuales son transacciones especiales que sirven de recompensa para los que participan de la red controlando la integridad²⁰. Por último, en la línea once, se pide que la dirección de entrada y salida sean distintas, para de acceso, almacenamiento y gestión de datos.

¹⁹Por nes operativos, se efectuan consultar parciales en funcion al tamaño de descarga de los datos. A medida que se avanza en el tiempo de la cadena, el tamaño de descarga aumenta de manera exponencial para algunos per odos.

²⁰Para el presente cap tulo, se asume que la red es con able. No se incluye en el analisis el estudio del control de las operaciones.

evitar que haya operaciones entre la misma persona.

Para analizar los datos, en primer lugar, se toma como unidad de análisis la primera transacción conocida dentro de la cadena de bloques y su posterior cadena hasta el final de la muestra. La finalidad de ese análisis inicial es lograr una primera aproximación intuitiva a los datos de la cadena. En segundo lugar, se estudian las transacciones que cumplan con las condiciones del modelo, las cuales fueron mencionadas previamente en la sección operacionalización de variables. El procesamiento de datos se efectúa mediante el lenguaje de programación R. Se utilizará como interface la plataforma Kaggle²¹.

2.5.2. Resultados

Para evaluar empíricamente el modelo propuesto, se realizan dos tipos de análisis. En primer lugar, se estudia una transacción específica de la cadena de bloques para comprender el funcionamiento de la red y para determinar si es posible imponer el entorno del modelo a los datos. En segundo lugar, se imponen las condiciones del modelo a toda la cadena de bloques y, de esta manera, se estima el valor de la cadena²².

Análisis de una cadena de transacciones particular de la muestra seleccionada

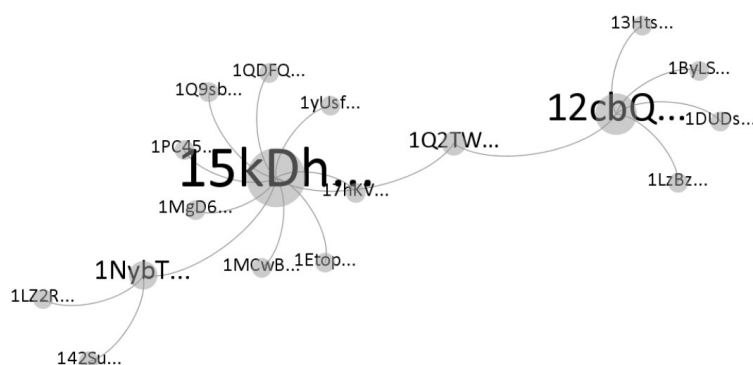
Transacción sin restricciones. La primera transacción en la cadena de bloques ocurre el 12 de enero de 2009. La transacción se incluye en el bloque 170²³. La primer transacción ocurre entre Satoshi Nakamoto y Hal Finney. Continuando con la sucesión de operaciones, Hal Finney efectúa operaciones con otras varias personas de la red. En la Figura 2.2 se observa la cadena completa vinculada a la transacción.

²¹Kaggle permite a los usuarios encontrar y publicar conjuntos de datos, explorar y crear modelos en un entorno de ciencia de datos basado en la web, y trabajar con otros investigadores. Kaggle permite acceder a una CPU de 4 núcleos con 17 GB de RAM. Kaggle presenta similares características a Jupyter Notebooks.

²²Una versión en línea del código en R se encuentra publicado en el sitio Kaggle. En el Anexo Sección B.3 se encuentra el código de procesamiento de datos de la cadena de bloques en R.

²³Los bloques anteriores fueron minados pero sin efectuar transacciones.

Figura 2.2: Visualización de la transacción inicial y asociadas en la cadena de bloques de Bitcoin



Notas. La primer transacción ocurre entre Satoshi Nakamoto (12cbQ) y Hal Finney (12cbQ). Continuando con la sucesión de operaciones, Finney efectúa una operación con otra dirección de la red (de persona desconocida, 15kDh, que llamamos Galvin) que continúa con la cadena de transacciones. Fuente: construcción propia en base a datos de la cadena de bloques de Bitcoin obtenidos en Google Clouds y procesamiento gráfico a través de Gephi.

Transacción con restricciones. Como primera aproximación de los datos al modelo, se podría evaluar una única cadena de transacciones. De esta manera, se puede caracterizar el registro de la DLT de la siguiente manera. En el primer período, en enero de 2009, una persona de la generación de viejos iniciales, Satoshi, desea efectuar una transacción con una persona de la generación de jóvenes, Hal, a cambio de unidades de consumo \sim . Satoshi se une al sistema de red distribuida para unirse a la red peer-to-peer y realiza una acción de transferencia pública desde su dirección,

12cbQLTFMXRnSzktFkuoG3eHoMeFtpTu3S,

hacia una dirección que es controlada por Hal,

1Q2TWHE3GMdB6BZKafqwxXtWAWgFt5Jv3²⁴.

²⁴Esta transacción corresponde a la primera transacción en Bitcoin entre Satoshi Nakamoto y Hal Finney. La transacción se puede verificar de manera gratuita en la cadena de bloques de Bitcoin, por ejemplo, a través del sitio Blockchain.com. Para un análisis gráfico en 3D de la cadena de bloques,

La transacción se la añadió a la historia pública (la cadena de bloques) con un número de transacción particular²⁵. En un período posterior, noviembre de 2010, el ahora viejo Hal, desea efectuar una transacción desde su dirección a la dirección de un joven Gavin²⁶, cuya dirección es:

15kDhRAcpgsugmh6mQsTcCHdvbsuYncEEV.

Esta transacción es registrada en la cadena de bloques con otro número de registro²⁷. En el mismo período pero en un bloque diferente (92241), el ahora viejo Gavin efectúa una transacción desde su dirección a la dirección del joven Adam²⁸.

1NybTkjprBUgFfPRKUD4abm2MCWC3LL6Qa .

Esta transacción es registrada con un nuevo Hash en la cadena de bloques²⁹.

Finalmente, el viejo Adam transfiere desde su dirección a la dirección del joven John³⁰,

142SuQBUIHiBAmcQgNL9Dbhj1aEYucRmtSv.

La transacción es registrada en la cadena de bloques con otro número de registro³¹.

La cadena de operaciones en la DLT se resumen en la Figura 2.3.

ver, por ejemplo, Symphony.

²⁵Satoshi a Hal: f4184fc596403b9d638783cf57adfe4c75c605f6356fbc91338530e9831e9e16.

²⁶A partir de aquí, no se cuenta con información pública respecto a las personas vinculadas a las direcciones de la cadena de bloques. Se tomarán nombres vinculados al desarrollo inicial de Bitcoin a modo de facilitar el seguimiento de la cadena. Gavin Andresen es un desarrollador de software mejor conocido por estar involucrado en el desarrollo de Bitcoin en sus etapas más tempranas.

²⁷Hal a Gavin: ea44e97271691990157559d0bdd9959e02790c34db6c006d779e82fa5aee708e.

²⁸Adam Back es un criptógrafo británico, CEO de Blockstream.

²⁹Gavin a Adam: dd11322ddb4487a0a7a597838df02fbfd2070870721cd648f3b37f0a164efed9.

³⁰Algunas de las propiedades de Bitcoin y la cadena de bloques pueden encontrarse en *Ideal Money* de John Nash.

³¹Adam a John: 73d6acba92d6dfaf204c0b4dd7cc561a96f55c03e9bc151d9f6e2a0d7b943fcd.

Figura 2.3: Asociación entre el modelo de generaciones superpuestas y direcciones de la cadena de bloques.

Generaciones		2009-01	2010-11	2010-11	2010-11
		170	92240	92241	92469
Viejos iniciales		Satoshi 12cbQLTFMXRnS zktFkuoG3eHoM eFtpTu3S			
2009-01	170	Hal 1Q2TWHE3GMd B6BZKafqwxXtW AWgFt5Jvm3	Hal 1Q2TWHE3GMd B6BZKafqwxXtW AWgFt5Jvm3		
2010-11	92240		Gavin 15kDhRAcpgsug mh6mQsTcCHdv bsuYncEEV	Gavin 15kDhRAcpgsug mh6mQsTcCHdv bsuYncEEV	
2010-11	92241			Adam 1NybTkjpRBUgFf PRKUD4abm2MC WC3LL6Qa	Adam 1NybTkjpRBUgFf PRKUD4abm2MC WC3LL6Qa
2010-11	92469				John 142SuQBUHiBA mcQgNL9Dbhj1a EYuCRmtSv

Notas. La primer transacción ocurre entre Satoshi Nakamoto (12cbQ) y Hal Finney (12cbQ). Construcción preliminar de una única cadena a partir de las restricciones del modelo. Fuente: construcción propia en base a datos de la cadena de bloques de Bitcoin obtenidos en Google Clouds.

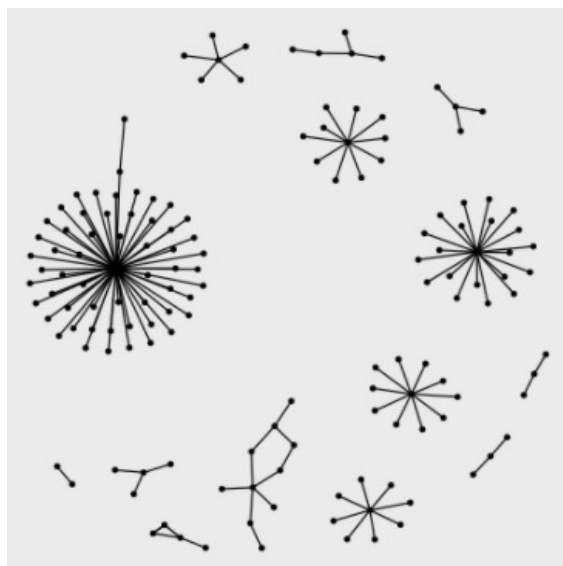
A partir del análisis de una transacción específica de la muestra sin y con restricciones, se puede indicar que es posible obtener una cadena única de registros entre dos fechas determinadas.

Análisis de transacciones de la muestra de la DLT

DLT sin restricciones. En esta sección se contabiliza el crecimiento poblacional de la DLT sin imponer las restricciones del modelo. El resultado se va a comparar con el crecimiento de la DLT con las restricciones. De esta manera, se puede comparar el valor de la cadena en el caso real y a partir de las imposiciones del modelo OLG. En primer lugar, se realiza un análisis de red de la cadena de bloques sin restricciones. En la Figura 2.4 se puede observar las transacciones de la cadena de bloques entre direcciones durante el inicio de la cadena, en el mes de enero de 2009. En la Figura 2.5 se observan las transacciones acumuladas hasta febrero de 2009 inclusive.

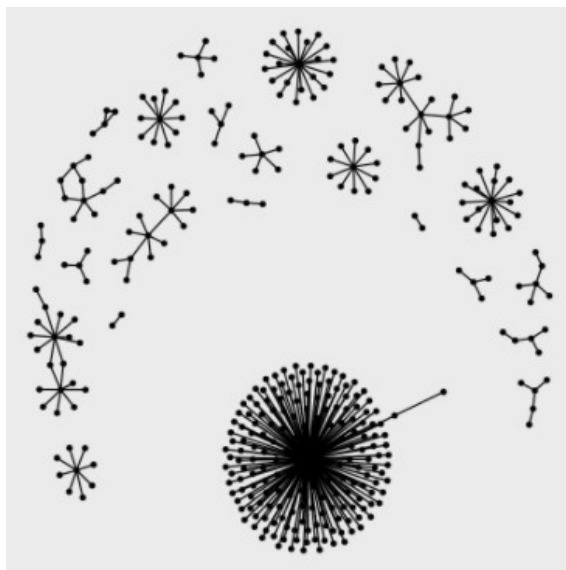
Se observa una red donde, en general, no se producen cadenas de transacciones. Sino que abundan las figuras en forma de estrella, donde una única dirección efectúa transacciones con otras, siendo que estas últimas no operan con ninguna dirección.

Figura 2.4: Red de transacciones de la cadena de bloques de bitcoin, ene-09.



Fuente: elaboración propia en base a datos de la cadena de bloques de bitcoin

Figura 2.5: Red de transacciones acumuladas de la cadena de bloques de bitcoin, entre ene-09 y feb-09



Fuente: elaboracion propia en base a datos de la cadena de bloques de bitcoin

En función de estos datos, se buscará estimar el valor de la cadena a partir de la tasa de crecimiento promedio de las direcciones de jóvenes. Para esto, se agrupan las direcciones por mes y se cuenta su cantidad total. La variación mensual de la serie sin restricciones se puede observar en la Figura 2.6, var.Joven.x.

DLT con restricciones. En esta sección se imponen las condiciones del modelo.

En primer lugar, se impide que las personas puedan «resucitar». Para eso, se imponen condiciones sobre los datos tanto para las direcciones que aparecen como jóvenes como para las que aparecen como viejos. La serie con las variaciones del recuento de jóvenes que cumplen con esta condición se puede observar en el Gráfico

En segundo lugar, se filtra a los viejos que aparecen por primera vez. Al igual que para el caso de los jóvenes, se impide que los viejos aparezcan más de una vez en diferentes períodos para evitar que puedan «resucitar».

Se unieron las dos operaciones en una única base donde tanto jóvenes como viejos aparecen sólo una vez. Además, se impone la condición que los jóvenes realicen intercambios con los viejos. En caso de que ese intercambio no ocurra, se elimina

al joven de la base. De esta manera, se construye la base OLG final. Es decir, se imponen dos condiciones a los datos. En primer lugar, que las direcciones solo aparezcan en un bloque de salida (cómo jóvenes) y en un bloque como entrada (como viejos). En segundo lugar, se impuso la condición que los viejos hayan tenido que nacer previamente. Finalmente, se impuso que los viejos tengan que hacer uso de su registro.

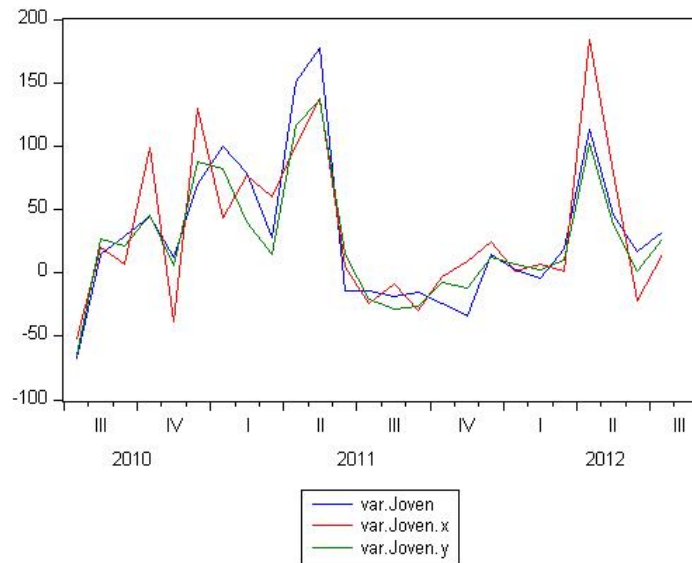
Comparación del valor de red con el precio en términos de dólares

El modelo postula que la tasa de crecimiento de la red determina el valor de la red en el tiempo.

En esta sección se evalúa la proximidad de cada una de las series obtenidas respecto al valor de la red en términos de dólares, es decir, de su precio. Para el caso de análisis, el valor de la red es el valor de mercado de bitcoin. Los datos de precios de la red en términos de dólares se obtienen del sitio coinmetrics.io.

Análisis gráfico. En la Figura 2.6 se observa la variación mensual de la cantidad de jóvenes de cada una de las especificaciones y de la variación del precio de la red en términos de dólares. Como se observa, la evolución de las series de crecimiento son similares a la serie de variación de precio.

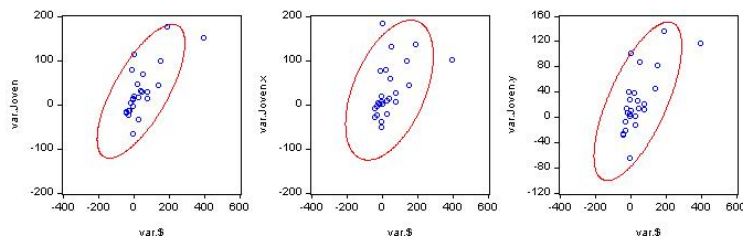
Figura 2.6: Variación mensual de la cantidad de jóvenes según la especificación de la red adoptada



Notas. En el gra co se observa la variacion mensual de la cantidad de jovenes de cada una de las especi caciones. Las variaciones de las especi caciones son muy similares. Fuente: elaboracion propia en base a datos de la cadena de bloques de bitcoin.

Análisis de correlación. Si se efectúa un análisis de correlación de las variaciones mensuales de crecimiento de cada una de las especificaciones de red, se observa que la mayor correlación corresponde a la especificación que incluye las condiciones del modelo (ver Figura 2.7). La correlación para la red que cumple las condiciones del modelo es 0.8, seguido por la red que cumple con la condición de no «resucitar» con un valor de 0.75 y, en tercer lugar, la red sin restricciones, con un valor de correlación de 0.5. En este sentido, se puede indicar que el valor de red se encuentra asociado principalmente a la red que cumple con las condiciones del modelo. De manera intuitiva, el valor de la red se encuentra asociado a la participación de nuevas direcciones.

Figura 2.7: Correlación entre la variación mensual del precio de la red en términos de dólares y la variación mensual de cada una de las redes especificadas



Notas. La mayor correlacion se obtiene para la red que cumple las condiciones del modelo. Fuente: elaboracion propia en base a datos de la cadena de bloques de bitcoin

Resultados

Los resultados de la evaluación empírica muestran que la cadena de transacciones a la cuál se imponen las condiciones del modelo OLG es la que presenta un mayor grado de correlación con el precio de la cadena (asociado al valor de bitcoin).

2.6. Conclusiones del capítulo

La conclusión principal general es que bitcoin es una tecnología funcionalmente equivalente al dinero. Se confirma la conjetura propuesta.

La evaluación conceptual corrobora la conjetura a partir de la introducción de la DLT en el modelo de generaciones superpuestas. En el modelo, cada persona tiene un par de encuentros. Cuando se es joven, uno se encuentra con un viejo. Cuando se es viejo, uno se encuentra con un joven. Cada encuentro es una oportunidad de intercambio. Los jóvenes tienen bienes, los viejos no tienen nada. Se produce intercambio porque cuando al individuo le toque ser viejo, ninguna persona joven estará dispuesta a intercambiar con dicho individuo si no intercambié con un viejo cuando era joven. La utilidad de la DLT es servir de registro público perfecto y gratuito de transacciones. La posibilidad de inclusión de esta tecnología de manera directa en el modelo permite concluir que la misma puede funcionar como un sistema

de registros público y, por lo tanto, como memoria. De esta manera, se puede asociar la tecnología DLT como dinero.

La evaluación empírica corrobora la conjetura. La evaluación empírica muestra que se puede aproximar los resultados del modelo a partir de los datos de la DLT. Se construyó una cadena de operaciones que simula al modelo teórico efectuando un recorrido por las transacciones de la cadena desde un período determinado hacia otro período. De esta manera, la evaluación empírica permitió identificar una única cadena de intercambios entre los actores de la DLT de bitcoin que pueda volver en el tiempo hasta identificar el momento inicial del sistema. En este sentido, se pudo identificar a la DLT de bitcoin con el sistema de registros público.

La contribución principal es definir a bitcoin como una tecnología equivalente al dinero. A partir de recuperar el concepto clásico de dinero como memoria de Kocherlakota, 1998, la investigación propuso que, a través de un modelo Overlapping Generations Model (OLG), el sistema sobre el que se construye bitcoin, la tecnología de red distribuida (DLT), puede funcionar como equivalente tecnológico al dinero. Si bien este resultado es sugerido por Shin, 2021, el trabajo es conceptual y no presenta un modelo. El resultado de definir a bitcoin como un equivalente funcional al dinero, se contrapone a las consideraciones de la literatura académica y la literatura especializada. La literatura actual, a partir de la definición funcional de dinero (medio de pago, reserva de valor y unidad de cuenta) indica que bitcoin presenta características de oferta que dificultan que el mismo pueda funcionar de manera equivalente al dinero fiduciario.

La contribución complementaria es la construcción de un indicador que asocia las transacciones en la cadena de bloques de bitcoin con su precio. Si bien algunas consultoras financieras están desarrollando indicadores de similares características (ver, por ejemplo, Coinmetrics), estos desarrollos no se basan en un marco teórico económico.

Una de las limitaciones del modelo es que se asumió que la DLT es una tecnología confiable sin modelar de manera explícita el mecanismo de consenso, PoW. Dentro de las limitaciones del modelo, se encuentra la falta de inclusión de incertidumbre, la falta de articulación con explicaciones desde la teoría de juegos y la restricción

del modelo a dos generaciones.

En futuras investigaciones se podría modelar los procesos de consenso con la introducción explícita de un token que permita que la tecnología de red distribuida sea confiable. Se podría tomar como referencia el trabajo pionero de Auer y col., 2021. Además, en futuros trabajos se debería incluir incertidumbre en el modelo. También sería relevante asociar el modelo OLG propuesto con las explicaciones desde la teoría de juegos. Desde el punto de vista empírico, en futuros trabajos se debería evaluar el modelo incorporando situaciones de intercambio entre individuos de una misma generación (mismo bloque, en la DLT) y con más de dos generaciones (bloques no consecutivos en la DLT). Además, sería deseable estimar los resultados hasta la actualidad.

Capítulo 3

Demanda de activos digitales

3.1. Introducción

Los motivos de demanda de bitcoin se encuentran asociados a sus características de oferta. Bitcoin no tiene valor intrínseco, por lo que, dada su oferta predeterminada, su valor depende de las opiniones respecto a que pueda funcionar como tecnología monetaria. La importancia de las opiniones en la demanda de bitcoin se puede observar, por un lado, en la suba mayor al quince por ciento luego de que el 28 de enero de 2021 Elon Musk etiquetara su cuenta con *hashtag* Bitcoin en su biografía de Twitter¹. Por otro lado, se han observado disminuciones significativas en el valor de bitcoin como respuesta a las advertencias de los reguladores sobre sus riesgos. En agosto de 2021, las consideraciones del presidente de la SEC sobre las posibles regulaciones de criptoactivos generó una caída en el precio próxima al diez por ciento². El mismo efecto generó las advertencias del IMF sobre el uso de bitcoin como moneda nacional (Tobias & Weeks, 2021)³.

En este contexto, la investigación busca responder a la pregunta de si es posible que la demanda de bitcoin se encuentre asociada a las opiniones de un grupo de actores influyentes del mercado y reguladores y al comportamiento de otro grupo de

¹(\Bitcoin spikes 20% after Elon Musk adds #bitcoin to his Twitter bio", s.f.)

²(\Oversight of the U.S. Securities and Exchange Commission: Wall Street's Cop Is... (EventID=114113) - YouTube", s.f.).

³Para un análisis detallado de las consecuencias de los anuncios de regulaciones en el precio de bitcoin ver, por ejemplo, Auer y Claessens, 2018.

seguidores.

Se construye un modelo generaciones superpuestas con dos activos monetarios (dinero fiduciario y bitcoin) y dos actores (influyentes y seguidores). Los actores influyentes funcionan como líderes de opinión respecto a la utilidad de cada activo y sus opiniones son replicadas por el grupo de seguidores⁴. Para la evaluación empírica se construye de un indicador que de cuenta de las expectativas de un grupo de actores influyentes y un grupo de seguidores en base a mensajes de la red social Twitter. Para identificar a los actores influyentes se realiza un análisis de red para agrupar a los nodos centrales.

El capítulo se organiza de la siguiente forma. En la segunda sección, se desarrolla el marco de referencia donde se define y caracteriza los motivos de demanda de bitcoin. En la tercera sección se construye el modelo de generaciones superpuestas incorporando la influencia de actores de mercado y de reguladores en la demanda de bitcoin. En la cuarta sección se evalúa empíricamente el modelo a través de la construcción de un índice. Finalmente, se exponen los resultados de la investigación.

3.2. Literatura existente

3.2.1. Literatura teórica

Parte de la literatura vincula dichos motivos con las funciones tradicionales del dinero. Según Yermack, 2013 los activos digitales no cumplirían con la función de reserva de valor ni unidad de cuenta debido a que su precio es muy volátil⁵. Tampoco cumpliría con la función de medio de cambio debido a que se efectúan pocas transacciones y que se utilizan para la especulación. Por estas razones, los activos digitales tendrían un bajo nivel de demanda. Otro grupo de documentos introducen

⁴De manera alternativa, se propone una explicación desde la teoría de juegos con un juego simultáneo con información perfecta. En este juego existe la posibilidad de equilibrios múltiples bajo problemas de coordinación. El análisis desde la teoría de juegos se encuentra en el ??

⁵Yermack indica que volatilidad del tipo de cambio entre Bitcoin y dólares en 2013 fue de 142 por ciento, en un orden de magnitud mayor que las volatilidades del tipo de cambio de las otras monedas respecto al dólar. El oro, una alternativa plausible a estas monedas como depósito de valor, tuvo una volatilidad del 22 por ciento en el año 2013.

activos digitales en un marco de generaciones superpuestas y asumen que la demanda de dichos activos se encuentra determinada por las expectativas que dichos activos vayan a tener valor en el futuro.

Un grupo de documentos introducen activos digitales en un marco de generaciones superpuestas y asumen que la demanda de dichos activos se encuentra determinada por las expectativas que dichos activos vayan a tener valor en el futuro. Garratt y Wallace, 2018 analizan los motivos por los que bitcoin puede tener un valor positivo. Los autores muestran que dicho valor positivo depende de las expectativas de los agentes en que bitcoin sea aceptado como medio de pago y reserva de valor. Recientemente, al igual que Garratt y Wallace, Biais y col., 2020 utilizan un modelo de generaciones superpuestas para evaluar el valor de bitcoin llegando a las mismas consideraciones. De manera similar a dichos documentos, la presente investigación considera que la demanda de los activos digitales se vincula a la expectativa respecto a su valor futuro. Sin embargo, la investigación propone que dicha expectativa se encuentra vinculada a la opinión de un grupo especial de agentes: los actores influyentes. La investigación propone que este grupo de actores influyentes se divide, a su vez, en dos grupos. Por un lado, actores de mercado que promocionan los activos digitales ⁶ y, por otro lado, los reguladores del sistema financiero actual ⁷. Además, la presente investigación sugiere la existencia de otro grupo particular de agentes: los seguidores. Este grupo de agentes tiene la función de amplificar el mensaje generado por los actores influyentes.

3.2.2. Literatura empírica

Algunos trabajos como el de Hamza, 2020 estudian cómo el comportamiento de influenciadores de criptoactivos, en particular sus opiniones y los argumentos que presentan en Twitter, pueden hacer fluctuar el precio de bitcoin. Estos autores utilizan el análisis de sentimientos de mercado para analizar la influencia de los tweets

⁶Esta propuesta se vincula a las ideas introducidas por Menger quien distingue actores influyentes en el mercado de activos líquidos Menger, 1892, sección VI.

⁷Dentro de la teoría monetaria clásica, la idea del regulador como quien determina el valor de un activo monetario se ve influenciada por las propuestas de los referentes de la escuela histórica alemana Knapp, 1924.

de líderes. Los autores buscan contrastar la conjetura respecto de que el sentimiento de los líderes de opinión sobre las criptoactivos puede utilizarse para predecir los precios. La presente investigación, al igual que este documento, analiza la opinión de un grupo de influenciadores de la red social Twitter. La recopilación de datos se efectúa mediante la misma herramienta codificada en Python, Get Old Tweets. A diferencia, la presente investigación efectúa la lista de influenciadores a través del análisis de métricas de red. Otro trabajo que tiene el mismo objetivo es el de Yamamoto y col., 2020. La evaluación empírica se efectúa con métodos de aprendizaje automático.

Otros estudios empíricos como el de Kallinterakis y Wang, 2019 muestran que el comportamiento en manada (*herding*) de criptomonedas es significativo, con mayor intensidad durante los mercados alcistas, baja volatilidad y días de gran volumen. Otro estudio empírico, Hotar, 2020, también busca demostrar la existencia de comportamientos en manada en las interacciones entre agentes.

Auer y Claessens, 2018 indican que, aunque a menudo se cree que las criptomonedas operan fuera del alcance de la regulación nacional, en realidad sus valoraciones, volúmenes de transacciones y bases de usuarios, reaccionan intensamente a las noticias sobre iniciativas de las autoridades reguladoras. Los autores concluyen que las noticias sobre posibles prohibiciones generales de las criptomonedas o su sujeción a la legislación sobre valores son las que tienen un mayor efecto negativo sobre las valoraciones, seguidas de las noticias sobre la lucha contra el blanqueo de capitales y la financiación del terrorismo y las relativas a restricciones de la interoperabilidad de las criptomonedas con los mercados regulados. La presente investigación coincide que las medidas de los reguladores son uno de los factores determinantes en el nivel de adopción de los activos digitales. Sin embargo, este documento sugiere que hay dos grupos de actores influyentes. Por un lado, los reguladores y, por otro, los actores de mercado. Además, este trabajo efectúa el análisis de datos a partir de información de las redes sociales en lugar de noticias.

Otro grupo de documentos estiman la demanda de activos digitales en función de la información generada en las redes sociales. Esta literatura utiliza el análisis de sentimientos de mercado como herramienta para evaluar los movimientos en el precio de

las monedas (Matta y col., 2015; Stenqvist & Lönnö, 2017). La presente investigación se asocia a la literatura de análisis de sentimientos de mercado. Pero, a diferencia de esta literatura, se analiza solamente el sentimiento del grupo de actores influyentes. Un grupo de estudios buscan relacionar dicha demanda con factores estructurales como inflación, remesas, control de capitales, avance de las tecnologías (Hileman, 2014; Yechen y col., 2016). En particular, un grupo de estudios empíricos estructurales asume que las mismas son un grupo especial de activos financieros y lo relaciona con otros activos en busca de correlaciones (Brière y col., 2015; Eisl y col., 2015). La presente investigación reconoce los aportes del enfoque estructural, pero se asocia a la literatura de análisis de sentimientos de mercado.

Otros documentos construyen una estimación de costos y beneficios de los activos digitales a partir de los eventos ocurridos en el ecosistema (Biais y col., 2020). A diferencia de dicho documento, el presente proyecto genera un índice de beneficios aproximados por la demanda de bitcoin en función de la información obtenida en redes sociales, en particular, a partir de un análisis de red de Twitter.

3.3. Motivos de demanda de bitcoin

3.3.1. Creencias

Creencias. La demanda de un activo como activo monetario depende de las expectativas en torno a que dicho activo pueda cumplir en el futuro con las funciones de medio de pago, reserva de valor y unidad de cuenta.

En este sentido, por un lado, bitcoin se asemeja a las formas de dinero fiduciario actuales⁸. Y, por otro, bitcoin se diferencia de los activos monetarios con valor intrínseco, como el oro, cuya demanda se encuentra vinculada, además, a su utilidad como bien de uso.

⁸Como se indico en la seccion anterior, los activos fiduciarios dependen de la con anza que puedan generar en los actores de demanda.

Creencias en los modelos OLG Una característica fundamental del OLG es que es necesario que los individuos quieran mantener el activo monetario de un período a otro. El activo monetario no tiene valor intrínseco. Es decir, no se puede derivar utilidad de su consumo. Por lo tanto, su valor deriva de su utilidad para facilitar el intercambio. El modelo asume que las personas de distintas generaciones creen que el activo tendrá un valor positivo en el siguiente período. Es decir, el valor que una persona otorga a una unidad de dinero monetario en el momento t , E_t , depende de lo que una persona cree que será el valor de una unidad de dinero fiduciario en el momento $t+1$, E_{t+1} . Por una lógica similar, el valor de una unidad de dinero fiduciario en $t+1$, depende de las creencias de una persona sobre el valor del dinero en el periodo $t+2$. Y así sucesivamente. Por lo tanto, el valor de un activo monetario en cualquier momento depende de una cadena infinita de expectativas sobre sus valores futuros Champ y Freeman, 2004.

3.3.2. Actores influyentes y seguidores

El presente documento considera que la demanda de los activos digitales se vincula a la expectativa sobre el cumplimiento de las funciones del dinero en el futuro. De manera complementaria, se propone que dicha expectativa se encuentra vinculada a la opinión de un grupo de actores influyentes y al comportamiento de un grupo de seguidores.

Actores influyentes. La creencia respecto al cumplimiento de las funciones del dinero en el futuro estará asociada a las consideraciones de un grupo de influenciadores. Esta situación se puede asociar al concepto de dinero inteligente. Este concepto refería originalmente a las apuestas en un juego hechas por apostadores de trayectoria de éxitos. Por lo general, estos apostadores tenían un profundo conocimiento del deporte al que estaban apostando, con información interna que el público en general no podía acceder. Actualmente, el dinero inteligente mantiene su significado. Hace referencia a las inversiones de personas que tienen más información, conocimiento y poder analítico, por lo que generalmente pueden detectar y prever tendencias antes que otros. En los mercados tradicionales, estos actores pueden ser grandes inversores

institucionales. Estos actores se pueden dividir en dos grupos: actores de mercado (inversores, desarrolladores, periodistas) y reguladores. Para el caso del activo digital, se espera que en una primera etapa sean los actores influyentes de mercado los que generen mayor repercusión en el sistema. Mientras que la influencia de los reguladores se espera para una segunda etapa, a medida que el sistema pueda ir tomando cierto volumen relevante⁹. Estos actores influyentes determinan las expectativas del resto de los agentes.

Definición 3.3.1 (Influenciadores) Actores que cuentan con más información y mejor capacidad de análisis que el resto de los demandantes del mercado. Son quienes determinan la tendencia de precios en el largo plazo.

Seguidores. Keynes señala al final de la sección V del capítulo 12 de la Teoría General que ((La sabiduría mundana enseña que es mejor para la reputación fracasar convencionalmente que para tener éxito de forma no convencional)). Si todos cometen el mismo error es poco probable recibir algún reproche por ello. Sin embargo, si un individuo se equivoca tomando una opinión contraria a la de la mayoría, entonces es probable que reciba la recriminación del resto. Los seguidores son los actores que imitan el comportamiento de los actores influyentes. Con su comportamiento pueden amplificar las acciones de los influenciadores pudiendo exacerbar las variaciones de precio. Sus acciones pueden estar asociadas a comportamiento en manada o de imitación. El comportamiento en manada es común en finanzas, debido a que las emociones suelen jugar un rol determinante y las personas consideran que hay otros que tienen más información y mejor capacidad para analizarla. Para el caso de las monedas, esta situación se vuelve más intensa debido a que los individuos generalmente reconocen que no entienden la naturaleza del dinero, ni las fuerzas que dan valor al mismo. Un caso reciente de este tipo de comportamientos se puede encontrar en el precio de las viviendas entre 2003 y 2007. Las personas vieron que los precios aumentaban y sintieron la necesidad de entrar al mercado. El ejemplo histórico más

⁹Para un estudio acerca de los efectos de los anuncios de regulaciones sobre los activos digitales ver, por ejemplo, Auer y Claessens, 2018. Los autores indican que las noticias sobre posibles prohibiciones generales de las criptomonedas o su sujeción a la legislación sobre valores son las que tienen un mayor efecto negativo.

famoso lo representan los tulipanes holandeses. El mercado de bitcoin presentó un desempeño similar cuando su precio pasó de mil dólares aproximadamente a principios de 2017, para llegar a cerca de 20 mil dólares a fines de ese mismo año, cayendo a 5 mil a principios de 2018. Menger consideraba que el ((descubrimiento)) de un activo monetario no es simultáneo para todos los individuos. La adopción generalizada de los intercambios indirectos resulta de un proceso de imitación de las acciones de un grupo de actores influyentes. Descubrimiento e imitación son las fuerzas que transforman la economía de trueque directo en una economía de trueque indirecto y más tarde en una economía monetaria.

Definición 3.3.2 (Seguidores) Los seguidores son los agentes que imitan el comportamiento de los actores influyentes. El comportamiento de los seguidores se encuentra asociado al comportamiento en el precio de corto plazo. En términos de expectativas e información, los seguidores presentan expectativas con información incompleta.

Definición 3.3.3 (Motivos de demanda de bitcoin) La demanda de bitcoin se encuentra asociada a la opinión de un grupo de actores influyentes y al comportamiento de un grupo de seguidores.

3.4. Modelo de demanda con la introducción de actores influyentes

Economía con un activo monetario fiduciario

Entorno. Se tiene una economía estándar de generaciones superpuestas con una moneda fiduciaria, $500\mathcal{C}$. En el marco tradicional del modelo de generaciones superpuestas los bienes no pueden trasladarse entre períodos y no hay capacidad de trabajar cuando uno es viejo. Por lo tanto, la demanda del activo monetario responde a la necesidad de los jóvenes de consumir en el próximo período. Es decir, el motivo de demanda de los pesos responde a la necesidad de contar con una reserva de valor entre \mathcal{C} y \mathcal{C}_s y un medio de pago en \mathcal{C}_s . El modelo estándar de generaciones superpuestas asume que existe un mercado hipotético entre las generaciones y

asume que el activo monetario tendrá valor en el siguiente período. En este mercado hipotético los jóvenes consumen parte de los bienes recibidos e intercambian el resto por dinero con los viejos. El dinero funciona como un sistema de registros entre ambas generaciones. Por lo tanto, la demanda del activo fiduciario será la cantidad de jóvenes del período en función de la cantidad de ingresos no consumidos, $\#_c^{1-c} = 2^c$.

Mercado monetario. Determinación del valor del activo monetario. En esta economía con un solo activo monetario, el valor del dinero se determina por la condición de equilibrio del mercado monetario.

$$E_c^{580C} = \#_c^{580C} \sim 580C \quad 2_{1-c}^{580C}$$

Creación de una nueva moneda digital

Entorno. Un grupo de ciudadanos del país intenta crear una nueva moneda, 386 . En esta primera etapa, la nueva moneda sólo es aceptada por el grupo reducido de entusiastas que la crearon.

Mercado monetario. Determinación del valor de cada activo. El valor de los activos se determinan de manera independiente en cada uno de sus mercados monetarios. Al igual que la demanda del dinero $580C$, la demanda de dinero digital responde a la posibilidad de mantener un sistema de registros en el tiempo.

$$E_c^{580C} = \#_c^{580C} \sim 580C \quad 2_{1-c}^{580C}$$

$$E_c^{386} = \#_c^{386C}; \sim 386 \quad 2_{1-c}^{386}$$

Demanda de activos monetarios. Los actores demandan activos monetarios para poder consumir en el próximo período (función de medio de pago). Para esto, los actores necesitan que los activos monetarios mantengan un registro invariante en el tiempo. Se asume que tanto el activo fiduciario como el activo digital permiten el

registro de operaciones en iguales condiciones ¹⁰.

En una siguiente etapa, un grupo de ciudadanos del país decide abandonar el uso del activo fiduciario y comenzar a utilizar el activo digital. Esta sustitución de activos responde a las expectativas de este grupo de ciudadanos respecto a la capacidad de cada activo de funcionar como medio de pago en los siguientes períodos¹¹. Se define $_c$ como la fracción de ciudadanos que deciden mantener saldos en bitcoin.

$$E_c^{580C} \text{ " } \frac{580C}{c} = 11 \quad _c \# \frac{580C}{c} \sim \frac{580C}{2_{1c}^{580C}}$$

$$E_c^{386} \text{ " } \frac{386}{c} = \# \frac{386}{c} \sim \frac{386}{2_{1c}^{386}} \quad _c \# \frac{580C}{c} \sim \frac{580C}{2_{1c}^{580C}}$$

Introducción de controles sobre la tenencia de activos

Entorno. Mientras una mayor cantidad de ciudadanos quieran mantener saldos en el activo digital (es decir, se tiene un mayor valor de $_c$), mayor será el valor de dicho activo y menor el valor del activo fiduciario. En el caso que la fracción de ciudadanos que decidan mantener saldos en bitcoin sea demasiado alta, el gobierno local podría restringir la tenencia de bitcoin. Se define $_c$ como la fracción de ciudadanos alcanzados por los controles a la tenencia de bitcoin.

Mercado monetario. Determinación del valor de cada activo monetario

Por lo tanto, en la determinación del valor de cada activo habrá que tener en cuenta los controles impuestos por el gobierno a la tenencia del activo digital.

$$E_c^{580C} \text{ " } \frac{580C}{c} = _c \# \frac{580C}{c} \sim \frac{580C}{2_{1c}^{580C}} \quad 11 \quad _c \# \frac{580C}{c} \sim \frac{580C}{2_{1c}^{580C}}$$

$$E_c^{386} \text{ " } \frac{386}{c} = \# \frac{386}{c} \sim \frac{386}{2_{1c}^{386}} \quad 11 \quad _c \# \frac{580C}{c} \sim \frac{580C}{2_{1c}^{580C}}$$

En el caso de que el gobierno realice un control generalizado a la tenencia del activo digital (es decir, se tiene un mayor valor de $_c$) disminuye la fracción de ciudadanos

¹⁰Como se indico en el capitulo 2, esta idea se encuentra asociada a la de dinero como proceso de memoria social de Kocherlakota.

¹¹Si bien un cambio en la creencia respecto al cumplimiento futuro de las funciones del dinero es suiciente para explicar los cambios en la demanda de dinero en el modelo, se podrá considerar que el grupo de ciudadanos que cambia encuentra ventajas relativas en el registro del activo digital.

que podrán elegir libremente entre los activos.

3.4.1. Introducción de actores influyentes y seguidores

De los ciudadanos que puedan elegir libremente, la fracción de ciudadanos que elija el activo digital y, por lo tanto, el activo fiduciario, estará asociada al comportamiento de un grupo de actores influyentes y de un grupo de seguidores¹².

Influenciadores y seguidores. De los ciudadanos que puedan elegir libremente, la fracción de ciudadanos que elija bitcoin estará asociada al comportamiento de un grupo de actores influyentes y de un grupo de seguidores. Se define, por lo tanto, el parámetro de grado de influencia como:

$$\beta = (\alpha \gamma)^{\beta}$$

siendo γ un parámetro que indica el interés del grupo de actores influyentes y α una función que indica el comportamiento de imitación de los seguidores. El parámetro γ depende, a su vez, del interés de actores influyentes de mercado y del regulador. La función α amplifica el interés reflejado por parte de los influenciadores.

Si los influenciadores tienen una opinión positiva respecto al activo digital, los seguidores imitarán ese interés reforzando el interés general en dicho activo. De esta manera, el comportamiento de los imitadores puede generar incrementos en la volatilidad del activo¹³. Por definición, los valores de β pueden estar entre cero y uno. Esto implica que, para valores relativamente moderados de los actores influyentes, un valor elevado de β generará valores de β próximos a sus extremos. De esta manera, se busca captar los cambios repentinos que puede tener la valoración del activo ante cambios de dirección de la valoración de los actores influyentes y de su posterior amplificación por parte de los seguidores.

¹²Esta idea se puede modelar a partir de teoría de juegos a través de estrategias interdependientes de los actores influyentes. Para un análisis a partir de la teoría de juegos Sección A.2.

¹³Este comportamiento de los seguidores podría ser útil para generar un marco conceptual para corridas bancarias o, de manera más general, sustitución entre activos de manera repentina.

En síntesis, un grupo de actores son los que generan la información y otro la amplifica¹⁴.

A continuación, se sintetizan las ecuaciones del modelo.

$$E_c^{580c} = \frac{580c}{c} = \frac{\#_c^{580c}}{\#_c^{580c}} \sim 580c \quad \frac{2^{580c}}{1-c} \sim 1 \quad c^0 \cdot 1 \quad -c^0 \#_c^{580c} \sim 580c \quad \frac{2^{580c}}{1-c}$$

$$E_c^{386} = \frac{386}{c} = \frac{\#_c^{386}}{\#_c^{386}} \sim 386 \quad \frac{2^{386}}{1-c} \sim 1 \quad c^0 \#_c^{580c} \sim 580c \quad \frac{2^{580c}}{1-c}$$

$$-c = (1 - c^0)$$

La evaluación conceptual corrobora la conjetura introduciendo en el modelo OLG la ecuación donde la demanda relativa del activo digital es función del comportamiento de un grupo de actores influyentes y del comportamiento de un grupo de seguidores. Si los influenciadores tienen una opinión positiva respecto al activo digital con relación a sus posibles funciones monetarias, los seguidores imitarán ese interés reforzando el interés general en dicho activo. De esta manera, el comportamiento de los imitadores puede generar incrementos en la volatilidad del activo.

3.5. Medición de las opiniones de un grupo de actores influyentes y de un grupo de seguidores y su asociación con el valor de bitcoin

Para la evaluación empírica se construye de un indicador que de cuenta de las expectativas de un grupo de actores influyentes y un grupo de seguidores en base a mensajes de la red social Twitter. Para identificar a los actores influyentes se realiza un análisis de red para agrupar a los nodos centrales.

¹⁴Las medidas de pol tica destinadas a moderar las corridas deber an tener en cuenta la distincion entre esos dos grupos de actores. Por un lado, podr a buscar evitar el mensaje negativo por parte de los in uenciadores (grupo reducido en cantidad pero de gran peso relativo en termino de sus opiniones) o podr a buscar evitar la ampli cacion masiva de dicho mensaje por parte de los seguidores (grupo amplio en cantidad de agentes pero de menor peso relativo en termino de sus opiniones).

La conjetura empírica indica que existe una asociación entre el valor de β y el valor del activo digital. Se espera que niveles elevados de β estén asociados a incrementos en el valor del activo digital. Para evaluar empíricamente la función β , se deberá estimar sus dos componentes. Por un lado, el interés de los actores influyentes y, por otro, la amplificación generada por los seguidores¹⁵.

3.5.1. Metodología

El universo en estudio es la demanda total global de bitcoin desde sus inicios en enero de 2009 a la actualidad, enero de 2022. De manera intencional y por criterio subjetivo se selecciona como muestra la totalidad de tweets desde el inicio del sistema bitcoin, en enero de 2009, hasta abril de 2013. Esta selección responde, por un lado, a la factibilidad técnica de la disponibilidad de información y a las posibilidades de procesamiento de los datos con herramientas computacionales tradicionales. Y, por otro lado, a la posibilidad de analizar los momentos iniciales de bitcoin como posible activo monetario.

El modelo propuesto indica que la demanda de bitcoin se encuentra asociada a un grupo de actores influyentes y a un grupo de seguidores. Estas variables no son observables. Para aproximar la influencia de un grupo de actores se estimarán las opiniones de actores influyentes de la red social Twitter. Para aproximar el comportamiento de los seguidores se realizarán estimaciones de la topología de red de los mensajes en la red Twitter.

Los datos de precios de bitcoin se tomarán del sitio Coinmetrics. La recopilación de datos de tweets se efectúa mediante la misma herramienta codificada en Python, GetOldTweets. Para cada tweet se incluyen los siguientes campos de datos: fecha creacion tweet, id del tweet, id usuario, id usuarios mencionados y texto del tweet.

Para el análisis de los datos, en primer lugar, se realiza una descripción de los datos

¹⁵Como el modelo asume la existencia de dos activos monetarios, la estimación del interés relativo por uno asume que, por diferencia, se está encontrando el interés relativo del otro. El supuesto es que el individuo siempre elige algún activo monetario debido a que es la única manera de poder consumir en el siguiente periodo.

a nivel global y a nivel local. En segundo lugar, se efectúa correlaciones entre el precio de bitcoin y las variables estimadas para las opiniones de los actores influyentes y para el grupo de seguidores. En tercer lugar, se propone una descomposición de varianza. En cuarto lugar, se efectuará un análisis de componentes principales. Finalmente, se estimará una regresión entre el precio y las variables estimadas seleccionadas.

3.5.2. Resultados

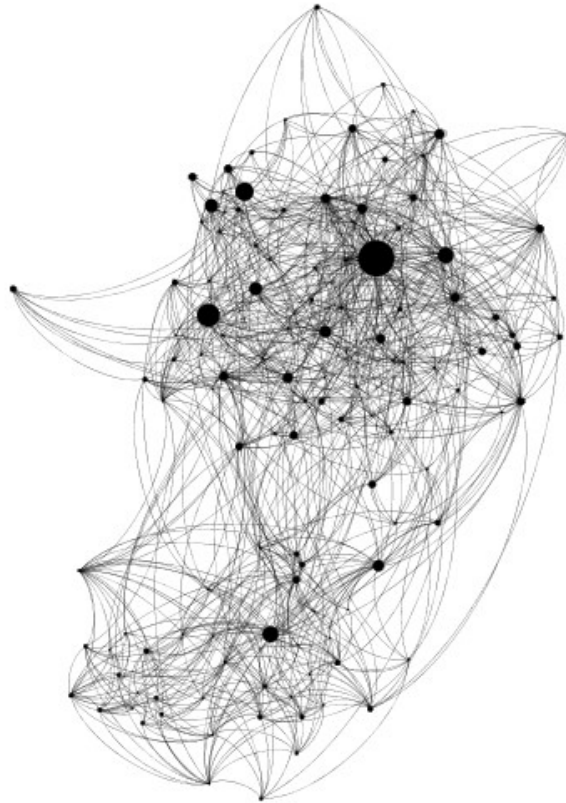
Para la estimación de las opiniones de los actores influyentes y del grupo de seguidores, se genera una base de datos con los mensajes que mencionan la palabra bitcoin. Se selecciona como muestra la totalidad de tweets desde el primer registro de precio de bitcoin, en julio de 2010, hasta abril de 2013. Durante el período analizado, se relevaron un total de 516.532 de tweets que contienen la palabra bitcoin.

Estimación de las opiniones del grupo de influyentes

Se seleccionan mensajes a partir de los actores influyentes del sistema. Se propone que estos actores generan la información relevante y que el resto de la red la amplifica. Para la selección de actores influyentes se hace uso de la teoría de redes (grafos). Mediante la misma, se vincula los usuarios que generan el mensaje con aquellos que son mencionados en dicho mensaje (mediante la arrobación del tweet). Esta situación implica que cada mensaje puede generar una o más relaciones entre usuarios. Para generar la lista de actores influyentes se computan métricas de centralidad. Se propone utilizar la métrica de PageRank¹⁶. El supuesto subyacente es que un actor es tan importante como los actores con los que se conecta. Un ejemplo de los actores centrales de red durante el año 2012 se encuentra en Figura 3.1.

¹⁶El algoritmo PageRank mide la importancia de cada nodo dentro del grafo, basándose en el número de relaciones entrantes y la importancia de los nodos fuente correspondientes.

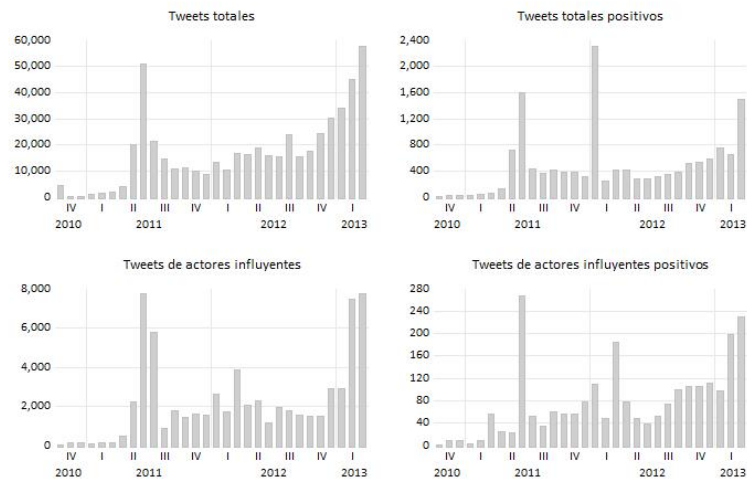
Figura 3.1: Actores influyentes durante el 2012.



Notas. El tamaño del nodo indica el grado de importancia en función al algoritmo PageRank. Para mejorar la visualización, se aplica un filtro K-core (algun vértice en el subgrafo toca k o menos de las aristas del subgrafo). Fuente: construcción propia en base a API Twitter y procesamiento mediante Gephi.

Del total de actores en un mes (nodos de la red) se selecciona el diez por ciento más relevante. A partir de esos actores centrales, se genera la serie de mensajes producidos por los mismos. La serie de tweets de los usuarios influyentes tiene un comportamiento similar a la serie de tweets totales con un coeficiente de correlación de 0.89. La nueva serie de datos tiene un total de 67.213 tweets.

Figura 3.2: Tweets totales, totales positivos, de actores influyentes y de actores influyentes positivos.



Notas. Los gráficos muestran la sumatoria mensual de tweets. En el panel de arriba a la izquierda se muestra el total de tweets. En el panel de arriba a la derecha se muestra el total de tweets positivos. Debajo a la izquierda se muestra el total de tweets de actores influyentes y debajo a la derecha de esos actores los tweets positivos. Se observa una asociación entre los valores, con una reducción considerable de la dimensión de la muestra para los casos de filtros de actores influyentes y mensajes positivos. En valores absolutos. Fuente: construcción propia en base a API Twitter

Una posible interpretación de la nueva serie es que con menos de quince por ciento de la información total se puede reflejar la parte más relevante del comportamiento global. El hecho que exista correlación, pero no sea perfecta, permite considerar la posibilidad que haya un núcleo de actores que genera la información nueva. Siendo que luego dicha información es replicada por el resto de la red. Esto sugiere que los actores influyentes podrían generar tendencias y que podrían influir en la demanda de bitcoin.

Luego de hacer el filtro de actores influyentes, se propone un segundo filtro en relación con el tipo de mensaje del tweet. Se construye la serie para los tweets positivos¹⁷ de los actores influyentes con un total de 2.318, lo que representa menos

¹⁷Las señales positivas propuestas son: feel, happy, great, love, awesome, lucky, good.

del 0.5 por ciento del total de tweets¹⁸.

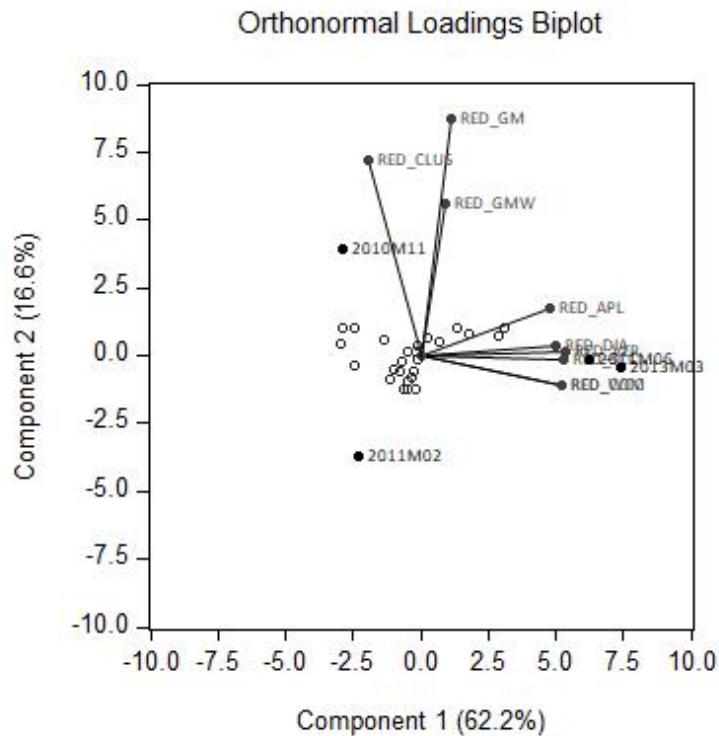
Estimación del comportamiento del grupo de seguidores

Se espera que una red más conectada propague con mayor rapidez los mensajes de los actores influyentes. Dentro de las métricas de red propuestas se encuentran el número de nodos (la cantidad de actores total de la red), el número de enlaces (la cantidad de interacciones de los nodos entre sí), el grado medio (la cantidad de enlaces promedio de cada actor), la densidad y el coeficiente de agrupamiento (como medida de las interacciones cruzadas entre los actores) y la cantidad de comunidades (agrupamientos entre actores). De manera complementaria, se computa la cantidad de retweets totales mensuales.

Análisis de componentes principales (ACP) Esta técnica se usa para reducir la dimensionalidad de las variables de interés y poder trabajar en un entorno de series de tiempo con esas variables. En la Figura 3.3 se puede observar que las métricas asociadas a la cantidad de comunidades de la red (RED-VER: enlaces; RED-APL: distancia media; RED-DIA: diámetro de la red; RED-SCC y RED-WCC: componentes conexos) se encuentran asociadas en el primer componente. Mientras que las métricas asociadas al grado medio (RED-GM: grado medio; RED-GMW grado medio ponderado RED-GM y RED-CLUS: coeficiente de agrupamiento) se encuentran asociados en el segundo componente.

¹⁸Se construyo una serie con tweets negativos, pero no resulto relevante para la investigacion. Las señales negativas propuestas son los siguientes terminos: sad, bad, upset, unhappy, nervous, crisis, uncertainty.

Figura 3.3: Análisis de componentes principales de las métricas de red.



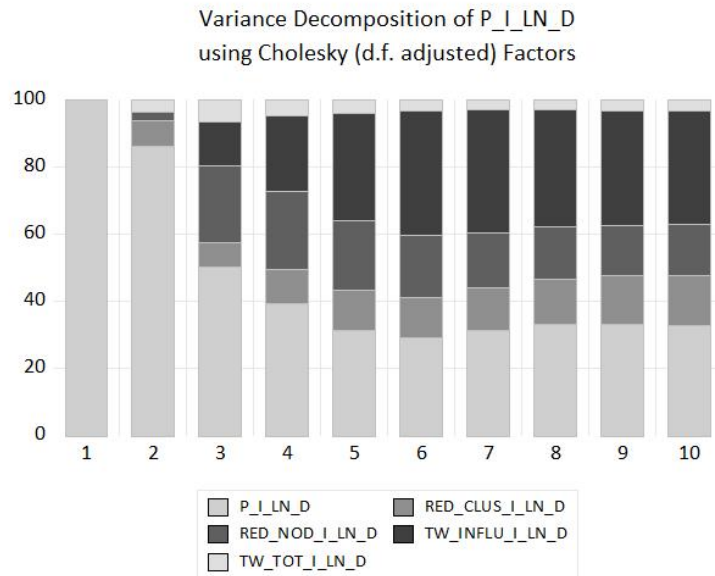
Notas. Las métricas asociadas a la cantidad de comunidades de la red (RED-VER: enlaces; RED-APL: distancia media; RED-DIA: diámetro de la red; RED-SCC y RED-WCC: componentes conexos) se encuentran asociadas en el primer componente. Mientras que las métricas asociadas al grado medio (RED-GM: grado medio; RED-GMW grado medio ponderado RED-GM y RED-CLUS: coeficiente de agrupamiento) se encuentran asociados en el segundo componente. Fuente: construcción propia en base a API Twitter

Asociación entre las variables que estiman la opinión de los actores influyentes, el comportamiento de los seguidores y el precio de bitcoin

Luego de estimar las variaciones asociadas a las opiniones de los actores influyentes a través del uso del algoritmo PageRank y estimar el comportamiento del grupo de seguidores a través de las métricas de red, se propone evaluar la asociación entre dichas estimaciones y el precio de bitcoin. Para estimar las relaciones entre variables se transforman las variables para obtener las variaciones interanuales.

Descomposición de varianza. Como una primera aproximación al estudio de los posibles determinantes se utiliza la metodología Modelos vectoriales autoregresivos (VAR). Ésta metodología permite considerar un conjunto de variables asociadas a los movimientos del precio de bitcoin sin una especificación previa de cómo se relacionan entre sí. Esta situación puede ser de utilidad al considerar variables que pueden cumplir tanto el rol de determinante como de efecto de los mismos (Aguirre & Giupponi, 2013). Esto resulta útil para el presente estudio debido a que podría tratarse de variables que se determinan de manera simultánea. Las variables incluidas son: el precio de bitcoin, los tweets de los actores influyentes, los nodos de red y el coeficiente de agrupamiento (a partir del análisis de componentes principales) y los tweets totales. Todas las variables se encuentran en variaciones interanuales. La descomposición de varianza informa, en distintos momentos del tiempo, cuánto de la variación observada de una variable -en este caso, el precio de bitcoin- puede ser explicado por los shocks en las demás variables del sistema. En este ejercicio se encuentra que al finalización del primer trimestre, además del propio precio de bitcoin, los factores más relevantes son los tweets de los actores influyentes y los nodos de la red. Es relevante notar que los tweets totales representan una proporción menor de la explicación (ver Figura 3.4).

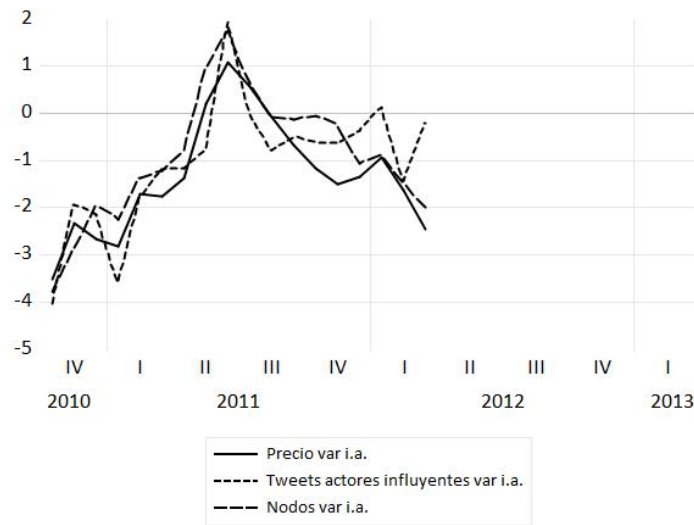
Figura 3.4: Factores que explican la varianza en del precio de bitcoin. Descomposición de varianza.



Notas. Al analizar del primer trimestre, además del propio precio de bitcoin, los factores más relevantes son los tweets de los actores influyentes (TW-INFLU-I-LN-D) y los nodos de la red (RED-NOD-I-LN-D). Fuente: construcción propia en base a API Twitter.

Análisis gráfico. Como siguiente aproximación, se analiza gráficamente el grado de asociación entre la variable seleccionada para aproximar la opinión de actores influyentes (tweet totales de influenciadores), la variable para estimar el comportamiento de los seguidores (cantidad de nodos) y el precio de bitcoin. Figura 3.5

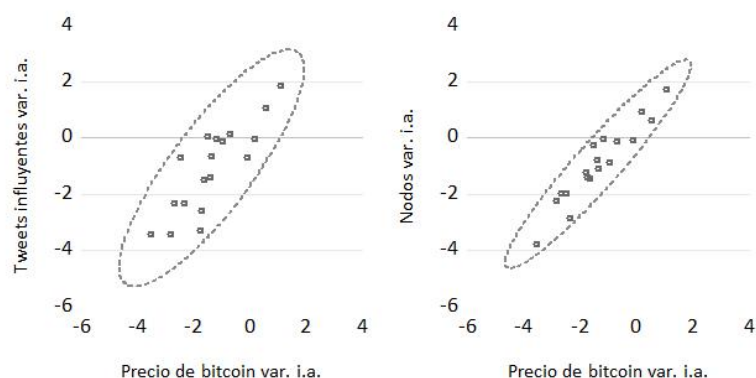
Figura 3.5: Evolución de las series de Tweets totales, actores influyentes y nodos de la red.



Notas. Análisis gráfico preliminar entre las variables para estimar la opinión de influencers y el comportamiento de los seguidores y el precio de bitcoin. Fuente: construcción propia en base a API Twitter.

Análisis de correlación. La correlación entre la variación i.a. del precio de bitcoin y la variación i.a. de los tweets de los influencers es de 0.82 y la correlación entre la variación del precio de bitcoin y la variación i.a. de los nodos es 0.94 (ver Figura 3.6)

Figura 3.6: Análisis de correlación entre el precio de bitcoin y el total de tweets y los tweets de actores influyentes



Notas. Todas las variables en var. i.a. Fuente: construcción propia en base a API Twitter.

3.6. Conclusiones del capítulo

La conclusión principal general es que la demanda de bitcoin se encuentra asociada al comportamiento de un grupo de actores influyentes y un grupo de seguidores. Se confirma la conjetura propuesta.

La evaluación conceptual corrobora la conjetura introduciendo en el modelo OLG la ecuación donde la demanda relativa del activo digital es función del comportamiento de un grupo de actores influyentes y del comportamiento de un grupo de seguidores. Si los influenciadores tienen una opinión positiva respecto al activo digital con relación a sus posibles funciones monetarias, los seguidores imitarán ese interés reforzando el interés general en dicho activo. De esta manera, el comportamiento de los imitadores puede generar incrementos en la volatilidad del activo.

La evaluación empírica corrobora la conjetura. El precio de bitcoin se encuentra explicado por los tweets de los actores influyentes y los nodos de red como proxy del comportamiento de los seguidores. Los coeficientes de la regresión son significativos y tienen el signo esperado. El R-cuadrado presenta un coeficiente elevado. La correlación entre la variación i.a. del precio de bitcoin y la variación i.a. de los tweets de los influyentes es de 0.82 y la correlación entre la variación del precio de bitcoin y

la variación i.a. de los nodos es 0.94. La descomposición de varianza indica que al finalización del primer trimestre, además del propio precio de bitcoin, los factores más relevantes son los tweets de los actores influyentes y los nodos de la red.

La contribución principal es asociar la demanda de bitcoin al comportamiento de un grupo de actores influyentes y de un grupo de seguidores. Este resultado se complementa a las consideraciones actuales que considera que la demanda de bitcoin depende de las creencias sobre su funcionamiento como medio de pago, reserva de valor y unidad de cuenta en el futuro. Desde el punto de vista empírico, la contribución principal es la propuesta de identificar actores influyentes y seguidores con técnicas de análisis de red.

La contribución complementaria es la construcción de un indicador que asocia los mensajes en la red social Twitter de un grupo de influyentes ponderado por la repercusión de dichos mensajes en un grupo de seguidores y el precio de bitcoin. Además, en el Anexo del capítulo 3, se propone una explicación alternativa al comportamiento de influenciadores y seguidores en el marco de la teoría de juegos.

Dentro de las limitaciones del modelo, se encuentra la falta de inclusión de incertidumbre, la falta de articulación con explicaciones desde la teoría de juegos. Las limitaciones de la evaluación empírica se encuentran en el análisis de sentimientos de mercado, donde se propone una evaluación inicial elemental, con una selección ad-hoc de palabras positivas y negativas.

En futuros trabajos sería deseable incorporar incertidumbre y una articulación con la teoría de juegos. En la evaluación empírica, sería conveniente incluir un análisis más desarrollado sobre sentimientos de mercado.



Capítulo 4

Implicancias de los activos digitales en la estabilidad financiera

4.1. Introducción

Dentro del contexto de las características monetarias de bitcoin y de sus motivos generales de demanda, su adopción a nivel país puede estar asociado a factores internos y externos. En el caso de países emergentes, un factor de adopción interno podría estar asociado a momentos de tensión financiera asociados a depreciaciones de la moneda local. De manera alternativa, un factor externo de adopción podría estar asociado a la percepción (global y local) de que bitcoin puede funcionar como reserva de valor en un marco de niveles de inflación históricamente elevados para las monedas de reserva. En ese marco, se propone responder a la pregunta sobre si un mayor nivel de adopción de bitcoin puede generar incrementos en la volatilidad del tipo de cambio entre pesos y dólares en Argentina.

Para la evaluación conceptual se construye un modelo de generaciones superpuestas incorporando tres activos monetarios: activo fiduciario local (pesos), activo fiduciario externo (dólar) y activo digital (bitcoin) en una economía emergente (Argentina). En el modelo se incorporan dos grupos de actores. Por un lado, los ciudadanos alcanzados por restricciones del gobierno a la tenencia del activo fiduciario externo

y, por otro lado, los ciudadanos libres a la tenencia de cualquier activo.¹ Para la evaluación empírica se aproxima el interés de los ciudadanos argentinos en el activo digital en forma comparada al activo local y al extranjero, a partir de datos de Google Trends. Además, se analiza la posible asociación entre el tipo de cambio entre pesos y dólares y al interés asociado a bitcoin.

El capítulo se organiza de la siguiente forma. En la segunda sección, se desarrolla el marco de referencia donde se define el canal por donde bitcoin puede afectar la estabilidad financiera. En la tercera sección, se construye el modelo de generaciones superpuestas incorporando bitcoin a una economía emergente con control a la tenencia de activos fiduciarios externos. En la cuarta sección, se evalúa empíricamente el modelo a través estimaciones a partir de datos de GoogleTrends. Finalmente, se exponen los resultados de la investigación.

4.2. Literatura existente

Un grupo de documentos introducen bitcoin en modelos para estudiar sus implicancias en el bienestar, pero no en modelos de generaciones superpuestas. Fernández-Villaverde y Sanches, 2016 amplían el modelo de búsqueda de Lagos y Wright, 2005 y estudian las implicaciones para la estabilidad y el bienestar de un activo privado junto con un activo monetario respaldado por el gobierno.

Algunos documentos introducen activos digitales públicos (CBDC, *Central Bank Digital Currencies*) en modelos y analizan los riesgos para la estabilidad financiera. A diferencia de estos trabajos, el presente documento estudia un activo privado: bitcoin. Agur y col., 2018 se centran en las disyuntivas de diseño de los activos digitales públicos (CBDC). En particular, se concentran en estudiar si un CBDC debe hacerse más similar a los depósitos bancarios o al efectivo. La conclusión es que la introducción de un activo digital público podría amenazar la estabilidad financiera si es que se producen corridas bancarias. Otros documentos que analizan la introducción de un activo digital público son más optimistas. Brunnermeier y Niepelt, 2019 sostienen

¹El modelo se encuentra disponible en Matlab en el siguiente enlace: Implicancias de un incremento en la demanda de bitcoin en el tipo de cambio en una economía emergente

que los efectos no deseados en la intermediación bancaria y la estabilidad financiera de una CBDC dependerían de la política monetaria que se adoptara para la emisión de un CBDC y del compromiso del banco central de actuar como prestamista de última instancia. Chiu y col., 2019 muestran con un modelo de búsqueda con un mercado centralizado y otro descentralizado que una CBDC mejora la eficiencia de la intermediación bancaria limitando el poder de mercado de los bancos en el mercado de depósitos. Barrdear y Kumhof, 2016 proponen un modelo DSGE calibrado en base a los datos de los EE. UU. para estudiar las implicaciones domésticas de la emisión de CBDC. Examinan los beneficios de contar con un segundo instrumento de política monetaria que mejora sustancialmente la capacidad del banco central para estabilizar la economía. La presente investigación, a diferencia de estos documentos, construye un modelo de generaciones superpuestas y, como se mencionó, analiza un activo digital privado (bitcoin) en lugar de CBDC. Además, a diferencia de estos documentos, considera específicamente las implicancias para Argentina. El documento de Andolfatto, 2018 utiliza un modelo de generaciones superpuestas, pero al igual que los documentos mencionados, introduce un activo público (CBDC) en lugar de un activo privado (bitcoin). Esta CBDC otorga intereses. El documento concluye que dicho activo reduce los beneficios del sector bancario, pero no conduce necesariamente a la desintermediación bancaria. Señala que, de hecho, un CBDC puede conducir a una expansión de los depósitos bancarios si las fuerzas de la competencia incentivan a los bancos a aumentar sus tasas de interés para atraer depósitos y superar al CBDC.

El trabajo de Barrdear y Kumhof, 2016 efectúa una estimación empírica del impacto de la introducción de una CBDC en EEUU. Hasta el momento, no se conocen trabajos que evalúen empíricamente las implicancias de la introducción de bitcoin en Argentina.

4.3. Implicancias para la estabilidad financiera de la introducción de activos digitales

4.3.1. Canales de transmisión de riesgos

Existen una serie de canales por los cuáles un incremento en la demanda de bitcoin puede afectar a la estabilidad financiera.

Efecto riqueza. Si bitcoin se utilizara como reserva de valor generalizada², una variación moderada de su valor podría causar fluctuaciones significativas en la riqueza de los usuarios (Krugman, 2013a, 2013b). Ese efecto riqueza puede ser lo suficientemente importante como para afectar a las decisiones de gasto y a la actividad económica. Los efectos riqueza pueden ser particularmente pronunciados en las economías emergentes (EME), donde la probabilidad de que los activos digitales se conviertan en una reserva de valor común puede ser mayor que en las economías avanzadas (EA) (Financial Stability Board, 2020).

Inversores institucionales. Si la exposición de los inversores institucionales o las instituciones financieras se incrementa, podría cambiar la escala y la naturaleza del sistema de activos digitales. En particular, si las instituciones financieras desempeñaran múltiples funciones dentro del sistema de activos digitales (International Monetary Fund, 2020). Por ejemplo, como revendedores, proveedores de billeteras digitales, administradores o custodios de activos. Esto puede ser una fuente de riesgos de mercado, riesgo de crédito y riesgo operacional.

Consumidores. Existen dos tipos de riesgos. El primero está vinculado a la seriedad con la que se realiza la operatoria del *exchange*³, es decir, que el *exchange* haga lo que reflejan sus cuentas ficticias. Teniendo en cuenta que los *exchanges* no están

²Lo que podr a estar asociado a una disminucion en su volatilidad o un aumento de la volatilidad del resto de los activos.

³Los exchanges de criptomonedas son plataformas digitales que permiten intercambiar monedas digitales por dinero fiat y/u otras criptomonedas o mercancías

regulados, este riesgo no es despreciable. El segundo tipo de riesgo es que alguien pueda entrar al sistema del *exchange* y desviar fondos ⁴.

Desintermediación. Un activo digital fácilmente convertible podría desplazar los depósitos bancarios, lo que llevaría a la desintermediación del sector bancario. Esta desintermediación podría generar problemas en la eficiencia de asignación del crédito.

Riesgo operacional. Desde la perspectiva de la infraestructura, la adopción generalizada de un activo digital implicaría una dependencia de su tecnología y a que la misma pueda dar respuesta a las exigencias operacionales. Si los activos digitales se utilizan para los pagos de manera generalizada, cualquier interrupción del sistema podría tener repercusiones importantes en la actividad económica y el funcionamiento del sistema financiero (International Monetary Fund, 2020).

Riesgos macrofinancieros. Estos riesgos pueden surgir especialmente si, con el tiempo, los hogares y las empresas de algunas economías (por ejemplo, las EME) llegan a mantener una parte importante de su riqueza en activos digitales en lugar de en las monedas locales, tanto en efectivo o en depósitos bancarios. Durante los períodos de tensión, los hogares de algunos países podrían llegar a considerar los activos digitales como una reserva de valor segura respecto de las monedas fiduciarias. Esta situación podría tener un efecto desestabilizador en los tipos de cambio y en la intermediación de los bancos comerciales (Financial Stability Board, 2020).

Para el presente documento se analizarán los riesgos asociados al canal macrofinanciero. En particular, a las posibles implicancias sobre el tipo de cambio.

⁴Un *exchange* puede usar un truco criptográfico que se llama "prueba de reservas" para dar a los usuarios cierta seguridad respecto al manejo de los bitcoins. El objetivo es demostrar que se mantiene un 25 por ciento de reservas fraccionarias, por ejemplo, o incluso un encaje del 100 por ciento. La forma de hacer la prueba es que el *exchange* se genere una transacción a sí mismo por el valor que dice tener en bitcoins. La cadena de bloques se encargará de decir si la transacción es válida o no.

4.3.2. Sustitución monetaria

Las implicancias sobre el tipo de cambio se encuentran asociadas a las demandas relativas de los activos monetarios. En caso de suceder un proceso de sustitución entre un activo y otro, las consecuencias serán una variación en la relación de precios de dichos activos.

Sustitución monetaria. Bitcoin podría competir con el dinero en efectivo y con los depósitos bancarios. En países emergentes, bitcoin también podría competir contra el dólar como reserva de valor.

Sustitución asimétrica. Proceso de sustitución donde el activo fiduciario local puede ser sustituido por los otros dos activos, pero no se observa el proceso inverso. Este proceso de sustitución asimétrica es propio de los modelos donde se analizan economías de países emergentes (Arce-Catacora, 1997; Ramirez-Rojas, 1985)

4.4. Modelo introduciendo a bitcoin en una economía emergente con controles a la tenencia de activos

4.4.1. Entorno

El modelo es un modelo estándar de generaciones superpuestas donde las personas viven por dos períodos, $\ell = 2^5$. Existe un único bien, \sim . Las personas reciben una asignación de bienes de consumo no almacenables cuando son jóvenes y ningún bien cuando son viejos y desean consumir en los dos períodos. Las futuras generaciones quieren consumir bienes en los dos períodos de su vida pero solo tienen bienes en el primer período. Esto motiva la introducción de activos monetarios almacenables que permiten el intercambio⁶. Se asume que hay libre intercambio de bienes. Se supone

⁵Excepto los viejos iniciales.

⁶Esta es la característica de los modelos monetarios de generaciones superpuestas: los activos monetarios derivan su utilidad de permitir el intercambio a diferencia de los modelos que suponen

que los viejos pueden intercambiar los activos monetarios sin restricciones. Se supone que aplica la ley de precio único. Finalmente, se asume que no hay crecimiento de la población y que el consumo es estacionario.

La economía es una economía emergente con tres activos monetarios, $\theta = 3$: pesos, *OAB*; dólares, *DB3* y bitcoin, *1C2*. Se asume que el gobierno puede producir sin costo el activo fiduciario local y que nadie más puede producirlo. Se asume que existe una oferta local propia de dólares y de bitcoin⁷. Este supuesto implica que el valor de cada activo monetario se determina por su oferta y demanda local. En la economía emergente se observa un proceso de sustitución asimétricas. Es decir, los ciudadanos del país emergente desean mantener parte de sus saldos monetarios en activos externos, pero no sucede lo inverso.

Va a existir un precio, tipo de cambio, $4_c^{\theta-\theta}$, al que los activos monetarios se pueden intercambiar. Se asume que en la economía emergente existen controles sobre la tenencia de dólares. La demanda por saldos monetarios de los residentes del país emergente se particiona entre los diferentes activos monetarios a partir de restricciones impuestas por el gobierno local y por las preferencias de los ciudadanos.

4.4.2. Mercado monetario. Determinación del valor de cada activo

Se define E_c^{OAB} como el valor de una unidad del activo fiduciario local en términos de bienes, E_c^{DB3} como el valor de una unidad del activo monetario fiduciario externo en términos de bienes y E_c^{1C2} como el valor de una unidad del activo digital en términos de bienes. Es decir, E_c^{OAB} , E_c^{DB3} y E_c^{1C2} representan la cantidad de bienes al que se tiene que renunciar para obtener una unidad del activo fiduciario local, del activo fiduciario extranjero o del activo digital, respectivamente.

Las regulaciones del gobierno y las restricciones voluntarias implican que cada activo tendrá su propia oferta y demanda que, de manera independiente, determinarán el

que el dinero otorga utilidad directa de su consumo (modelos de dinero en la función de utilidad).

⁷La oferta de dólares proviene de la acumulación de este activo por los ciudadanos locales en periodos anteriores. La oferta de bitcoin surge de la posibilidad de oferta local por parte de mineros residentes en la economía.

valor de dichos activos.

Se define una oferta local de activos fiduciarios locales, externos y digitales, $\$$, $\DB3 y $\1C2 , respectivamente⁸.

La demanda en el país emergente de cada persona de activos monetarios es el número de bienes que cada individuo elige vender por activos monetarios, que es igual a los bienes de la dotación que la persona no consume cuando es joven, $\sim^{OAB} \mathcal{Z}_{1\mathcal{C}}^{OAB}$. Por lo tanto, la demanda total de dinero de todas las personas de la economía emergente en el momento \mathcal{C} es, $\#_{\mathcal{C}}^{OAB} \sim^{OAB} \mathcal{Z}_{1\mathcal{C}}^{OAB}$.

Esta demanda por saldos monetarios en el país emergente se va a particionar en diferentes demandas. Esta partición va a responder a restricciones asociadas a regulaciones del gobierno y a preferencias de los individuos.

Por un lado, las personas demandarán saldos monetarios para hacer pagos en pesos, $\%_1^{OAB}$. El coeficiente $\%_1^{OAB}$ dará cuenta de esta partición, por lo que $\%_1^{OAB} = \frac{1}{\#_{\mathcal{C}}^{OAB} \sim^{OAB} \mathcal{Z}_{1\mathcal{C}}^{OAB}}$ representará la demanda del activo fiduciario local como medio de pago asociada a la necesidad de efectuar pago de impuestos en la moneda local.

Por otro lado, las personas del país emergente demandarán saldos monetarios reales como reserva de valor, $\mathcal{U}_1^{OAB} = \frac{1}{\#_{\mathcal{C}}^{OAB} \sim^{OAB} \mathcal{Z}_{1\mathcal{C}}^{OAB}}$. La función de reserva de valor estará asociada a la búsqueda del activo que tenga el mayor rendimiento relativo. Sobre esta demanda especulativa, el gobierno local impone control a la tenencia del activo fiduciario externo, \sim^{β} , donde \sim_1^{OAB} son las personas alcanzadas por la restricción. Las personas alcanzadas por la restricción podrán mantener saldos en pesos, $\mathcal{U}_{1\sim_1}^{OAB}$ o en bitcoin, $\mathcal{U}_{1\sim_1}^{11} \sim_1^{OAB}$. Las personas no alcanzadas por la restricción, \sim_1^{OAB} , pueden elegir entre mantener saldos en pesos, $\mathcal{d}_1 \sim_1^{OAB}$, dólares, $\mathcal{X}_1 \sim_1^{OAB}$, o bitcoin, $\mathcal{V}_1 \sim_1^{OAB}$.

Por lo tanto, el mercado de activos monetarios para cada activo quedará determinado de cómo:

⁸Esta caracterización es una de las claves del modelo. Se propone que en la economía emergente existe una oferta propia de cada activo monetario. Esta caracterización no desconoce que el valor del activo fiduciario externo y del activo digital tienen un componente global. Sin embargo, a fines del objetivo propuesto, se asume que se puede prescindir de dicha relación global.

Cuadro 4.1: Parámetros de demanda por saldos monetarios en el país emergente

	$\#_c^{OAB} \sim_{OAB}$		$2_{1c}^{OAB \circ}$	
	11		°	
	-***		11 °	
	U	U^o	d	X
	11	U^o	d	X
				V

* Demanda como medio de pago. ** Demanda como reserva de valor. *** Ciudadanos alcanzados por las restricciones **** Ciudadanos no alcanzados por las restricciones

$$E_c^{OAB} \text{ " } \frac{OAB}{c} = \%_1^{OAB} \text{ } \sim_{-1} 11 \quad U_1^o \text{ ' } \frac{OAB}{1} \text{ } \sim_{-1} 11 \quad -1^o d_1 \text{ ' } \frac{OAB}{1}$$

$$\text{ " } \frac{DB3}{1} E_1^{DB3} = 11 \quad -1^o X_1 \text{ ' } \frac{OAB}{1}$$

$$\text{ " } \frac{1c2}{1} E_1^{1c2} = -1 U_1 \text{ ' } \frac{OAB}{1} \text{ } \sim_{-1} 11 \quad -1^o V_1 \text{ ' } \frac{OAB}{1}$$

A partir de las condiciones anteriores se puede obtener el valor de cada uno de los activos monetarios:

$$E_1^{OAB} = \frac{\%_1^{OAB} \text{ } \sim_{-1} 11 \quad U_1^o \text{ ' } \frac{OAB}{1} \text{ } \sim_{-1} 11 \quad -1^o d_1 \text{ ' } \frac{OAB}{1} \text{ } \sim_{-1} 11 \quad -1^o}{\text{ " } \frac{OAB}{1}}$$

$$E_1^{DB3} = \frac{\text{ ' } \frac{OAB}{1} X_1 \text{ } \sim_{-1} 11 \quad -1^o}{\text{ " } \frac{DB3}{1}}$$

$$E_1^{OAB} = \frac{\text{ ' } \frac{OAB}{1} - 1 U_1 \text{ } \sim_{-1} 11 \quad -1^o \quad \%_1^{OAB} \text{ } \sim_{-1} 11 \quad -1^o d_1 \text{ ' } \frac{OAB}{1} \text{ } \sim_{-1} 11 \quad -1^o}{\text{ " } \frac{OAB}{1}}$$

El valor de cada uno de los activos monetarios depende del ratio entre la demanda de dinero y la oferta de dinero.

El tipo de cambio se puede definir en términos de unidades de un activo respecto

de otro⁹. Por lo tanto, el tipo de cambio entre el activo fiduciario local y el activo fiduciario externo, $4_c^{OAB \cdot DB3}$ son las cantidades de unidades de *DB3* que pueden ser adquiridas con una unidad del activo fiduciario local *OAB*. De esta forma:

$$4_c = \frac{U_1 \cdot \frac{d_1 \cdot V_1}{X_1} \cdot \frac{1}{1}}{U_1 \cdot \frac{d_1 \cdot V_1}{X_1} \cdot \frac{1}{1}}$$

El tipo de cambio entre el activo fiduciario local y el externo depende, en primer lugar, de la oferta local de dichos activos. En segundo lugar, de los parámetros de restricciones asociadas al pago de impuestos y al control a la tenencia de activos, \cdot . Y, finalmente, de las preferencias de los ciudadanos, $d_1 \cdot X_1 \cdot V_1 \cdot U_1$

El efecto en el tipo de cambio entre pesos y dólares de un incremento en la demanda de bitcoin de los ciudadanos del país emergente tiene dos componentes.

Por un lado, se produce una depreciación del tipo de cambio si incrementa la preferencia por bitcoin de los ciudadanos alcanzados por el control a la tenencia de dólares (incremento de U_1).

Por otro lado, se produce una apreciación del tipo de cambio si se incrementa la preferencia por bitcoin de los no alcanzados por los controles que estaban demandando dólares (se incrementa V_1 con una caída en X_1).

4.4.3. Tasas de rendimiento y dinámica del tipo de cambio

Se define $\#_c^{OAB} = \frac{\#^{OAB}}{\#_c}$ y como la tasa de crecimiento de los individuos del país emergente. Además, se define $\#_c^{OAB} = \frac{\#^{OAB}}{\#_c}$, $\#_c^{DB3} = \frac{\#^{DB3}}{\#_c}$ y $\#_c^{1C2} = \frac{\#^{1C2}}{\#_c}$ como las tasas de crecimiento de los activos monetarios. Además, se restringe el problema a un equilibrio estacionario donde la demanda de cada individuo es constante en el tiempo, $2_{1c} = 2_{1c,1} = 2_1 =$. Por último, se define que la demanda del activo fiduciario local para pagos es constante en el tiempo, $c =$ y que la restricción a la tenencia del activo fiduciario externo tampoco varía en el tiempo, $_c = _$. De este modo, se tiene que la tasa de rendimiento de cada uno de los activos se define como:

⁹Si los individuos (viejos) son libres de intercambiar dinero, los individuos solo estarán indiferentes entre las dos opciones de activos solo si $E_c^{\$} = 4_c E_c^-$.

$$\frac{E_2^{OAB}}{E_1^{OAB}} = \frac{{}_1^{OAB} U_2 \quad 1^\circ \quad \%_1^{OAB} \quad {}_1^{OAB} d_2 \quad 1^\circ \quad 1^\circ}{I_{OAB} \quad {}_1^{OAB} U_1 \quad 1^\circ \quad \%_1^{OAB} \quad {}_1^{OAB} d_1 \quad 1^\circ \quad 1^\circ}$$

$$\frac{E_2^{DB3}}{E_1^{DB3}} = \frac{{}_2^{OAB} X_2}{{}_1^{OAB} X_1 I^{DB3}}$$

$$\frac{E_2^{1C2}}{E_1^{1C2}} = \frac{{}_1^{OAB} U_2 \quad {}_1^{OAB} V_2 \quad 1^\circ \quad 1^\circ}{I_{1C2} \quad {}_1^{OAB} U_1 \quad {}_1^{OAB} V_1 \quad 1^\circ \quad 1^\circ}$$

De esta manera, se puede definir la dinámica del tipo de cambio entre unidades del activo fiduciario local y del externo como:

$$\frac{E_2^{OAB} E_1^{DB3}}{E_1^{OAB} E_2^{DB3}} = \frac{X_1 I^{DB3} \quad \%_1^{OAB} \quad {}_1^{OAB} d_2 \quad {}_1^{OAB} U_2 \quad {}_1^{OAB} d_2}{X_2 I_{OAB} \quad \%_1^{OAB} \quad {}_1^{OAB} d_1 \quad {}_1^{OAB} U_1 \quad {}_1^{OAB} d_1}$$

La dinámica del tipo de cambio se determina a partir de los cambios en el valor de los activos monetarios que, a su vez, están determinados por la tasa de suministro de los activos monetarios, de la población, de las restricciones del gobierno y de las restricciones voluntarias en la tenencia de activos.

En el caso de que sea constante en el tiempo la tasa de emisión de los tres activos ($\dot{\rho} = \rho$), la población, ($\dot{\#}_c^{OAB} = \#^{OAB_0}$), la preferencia para hacer pagos con el activo local ($\rho_c = \rho$) y las regulaciones del gobierno, ($\rho_c = \rho$), la evolución del tipo de cambio entre el activo fiduciario local y el externo dependerá, por un lado, del cambio en la preferencia relativa entre los tres activos, (d , X y V) y, por otro lado, de la preferencia relativa entre el activo local y el activo digital (U y $(1-U)$).

En este escenario, un incremento en la preferencia relativa por el activo digital tendrá efectos contrapuestos sobre el tipo de cambio. Si disminuye la preferencia por el activo local de los ciudadanos alcanzados por la restricción (se incrementa ρ) o de los ciudadanos no alcanzados por restricciones (disminuye d), se producirá una variación negativa del tipo de cambio. Si, en cambio, el incremento en la preferencia relativa del activo digital se contrapone solo a una disminución en la preferencia relativa por el activo fiduciario externo de los ciudadanos no alcanzados por la restricción (disminuye X con un incremento de V), el tipo de cambio tenderá a apreciarse.

Bajo este escenario, el tipo de cambio entre pesos y dólares no depende de la tasa de creación constante del activo digital.

4.4.4. Simulación numérica

Se suponen los siguientes valores iniciales de las variables del mercado monetario.

$${}^{\prime\prime} \frac{OAB}{1} = 100; \# \frac{OAB}{1} = 100; \sim \frac{OAB}{1} = 100; 2 \frac{OAB}{1} = 50;$$

$${}^{\prime\prime} \frac{DB3}{1} = 10$$

$${}^{\prime\prime} \frac{1C2}{1} = 1$$

Se asume que no hay crecimiento de las tasas de emisión ni de la población.

$$= \frac{\rho}{\rho} = 1$$

$$I \frac{\rho}{\rho} = 1$$

Se definen los siguientes valores de los parámetros de demanda de saldos monetarios.

$$= 0.5; = 0.6; U_1 = U_2 = 0.1; d_1 = d_2 = 0.1; X_1 = X_2 = 0.8; V_1 = V_2 = 0.1$$

Como los parámetros no varían entre los períodos, la tasa de rendimiento será igual a uno, de igual manera que la dinámica del tipo de cambio.

Si se incrementa la cantidad de personas que quieren mantener saldos monetarios en bitcoin ($V_2 = 0.6$) y se reduce la tenencia del activo fiduciario externo ($V_2 = 0.3$), se producirá una reducción del valor del activo fiduciario externo ($E_2^{DB3} = 3.8$) con una correspondiente apreciación del tipo de cambio entre el activo local y el externo ($\frac{E_2^{OAB} E_1^{DB3}}{E_1^{OAB} E_2^{DB3}} = \frac{8}{3}$). Si, en cambio, el incremento en la demanda por bitcoin reduce la tenencia del activo local (ya sea de personas alcanzadas o no por la restricción a la tenencia del activo fiduciario externo), el tipo de cambio se depreciará.

4.5. Estimación de la asociación entre el nivel de adopción de bitcoin y el tipo de cambio AR-S/USD

Para la evaluación empírica se aproxima el interés de los ciudadanos argentinos en el activo digital en forma comparada al activo local y al extranjero, a partir de datos de Google Trends. Además, se analiza la posible asociación entre el tipo de cambio entre pesos y dólares y al interés asociado a bitcoin.

El modelo sugiere que un incremento en la demanda de bitcoin presenta diferentes efectos dependiendo del grupo de actores. Si el incremento representa una sustitución del activo fiduciario externo, el tipo de cambio se aprecia. Mientras que si el incremento representa una sustitución del activo fiduciario local, el tipo de cambio se deprecia. En la presente sección, se busca estimar los coeficientes de demanda de cada uno de los activos monetarios, U , d , X y V .

4.5.1. Metodología

El universo corresponde a la demanda de bitcoin, dólar informal y pesos en Argentina y datos de volatilidad del tipo de cambio nominal informal entre pesos y dólares (2009-2022). Como muestra se tomarán datos entre 2019 y 2021.

Hasta el momento, no se cuenta con datos oficiales sobre la demanda de bitcoin en Argentina. Se propone aproximar la demanda relativa de bitcoin, dólar informal y pesos en Argentina a través de las búsquedas en Google Trends¹⁰¹¹. En particular, se

¹⁰Google Trends normaliza los datos de búsqueda para facilitar las comparaciones entre terminos. Los resultados de las búsquedas se normalizan en funcion de la hora y la ubicacion de una consulta mediante el siguiente proceso: cada punto de datos se divide por el total de búsquedas de la geografía y el rango de tiempo que representa para comparar la popularidad relativa. De lo contrario, los lugares con mayor volumen de búsquedas estar an siempre en los primeros puestos. Los numeros resultantes se escalan en un rango de 0 a 100 basado en la proporcion de un tema con respecto a todas las búsquedas sobre todos los temas.

¹¹En el Seccion C se encuentra una estimacion alternativa a partir de los datos informados por operadores locales

realizan búsquedas para el término bitcoin, dólar blue y plazo fijo¹². Google Trend permite construir series de datos identificando por país. Además, Google Trend ofrece series con las búsquedas relativas respecto al total de búsquedas. Este índice relativo permite generar una serie de datos con la evolución relativa del interés en un país particular de un término. De esta manera, se puede construir una base de datos que refleje el interés relativo de bitcoin, el dólar y el activo local. Con estas estimaciones se logra aproximar los coeficientes de interés relativo de la ecuación $1 = \frac{c}{c_0} \frac{V}{V_0}$. Para el caso del tipo de cambio informal, se toman datos del diario *Ámbito Financiero*¹³.

Para recolectar los datos de GoogleTrends se programa un código en lenguaje R en la plataforma de procesamiento Kaggle. Se utiliza la librería GtrendsR. Se ejecuta la siguiente sentencia.

Listing 4.1: Código en R para extracción de datos de búsquedas en Google Trends

```

1 library(gtrendsR);
2 palabras_clave <- c('bitcoin', 'dolar blue', 'plazo fijo')
3 trends_ar_12M <- gtrends(palabras_clave, geo = 'AR',
4                           time = 'today+5-y')
5 write.xlsx(trends_ar_5y, file = 'trends_ar_5y.xlsx',
6           rowNames = TRUE)

```

Para el análisis de los datos se realiza un análisis de correlación entre la demanda de bitcoin en Argentina y la volatilidad del tipo de cambio entre pesos y dólares. Previo al análisis de correlación, se efectúa un análisis de estacionalidad de las series.

¹²Para este objetivo no es posible tomar como fuente de datos los mensajes de Twitter porque no es posible aislar los mensajes por zona geográfica.

¹³De manera alternativa, se propone efectuar un relevamiento de datos a partir de los operadores locales. La desventaja de esta muestra es que no es posible relevar los datos de transacciones p2p (persona a persona), siendo que este tipo de operaciones se estima que representan una proporción creciente del intercambio. El caso más relevante puede ser la plataforma Binance, que permite realizar operaciones p2p entre usuarios del sistema.

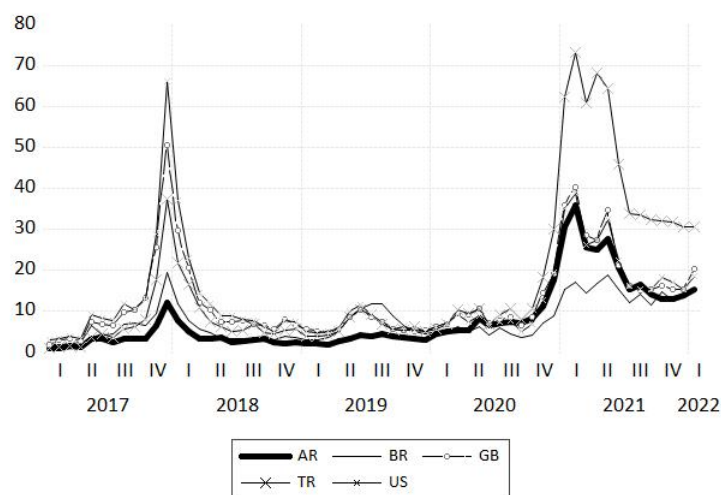
4.5.2. Resultados

Comparaciones entre países del nivel de interés por bitcoin

A lo largo del tiempo, se distinguen diferentes fases diferenciadas respecto al interés global por bitcoin medido a partir de las búsquedas en Google. Se distinguen dos momentos de incremento en dicho interés. En primer lugar, a finales de 2017 y comienzos de 2018. Y, en segundo lugar, a comienzos de 2021. En comparación con otros países emergentes (TR: Turquía; BR: Brasil) y avanzados (GB: Gran Bretaña, US: Estados Unidos), en los últimos cinco años el interés relativo por bitcoin en Argentina oscila en torno a la media. Sin embargo, se puede notar que tanto para Argentina como para Turquía, el interés relativo es mayor en el último auge que en el auge anterior (ver Figura 4.1)¹⁴.

¹⁴Al 26 de enero de 2022, Argentina se encuentra en la posición trece de interés por bitcoin comparado con el resto de los países, para una ventana de tiempo de un mes hacia atrás. Para una actualización del ranking ver, por ejemplo, la entrada de Kaggle Demanda de bitcoin en Argentina.

Figura 4.1: Interés comparado por bitcoin por países seleccionados



Notas. En comparación con otros países emergentes (TR: Turquía; BR: Brasil) y avanzados (GB: Gran Bretaña, US: Estados Unidos), en los últimos cinco años el interés relativo por bitcoin en Argentina oscila en torno a la media. Sin embargo, se puede notar que tanto para Argentina como para Turquía, el interés relativo es mayor en el último auge que en el auge anterior. Fuente: construcción propia en base a datos de GoogleTrend.

Evolución de la demanda relativa de bitcoin en Argentina

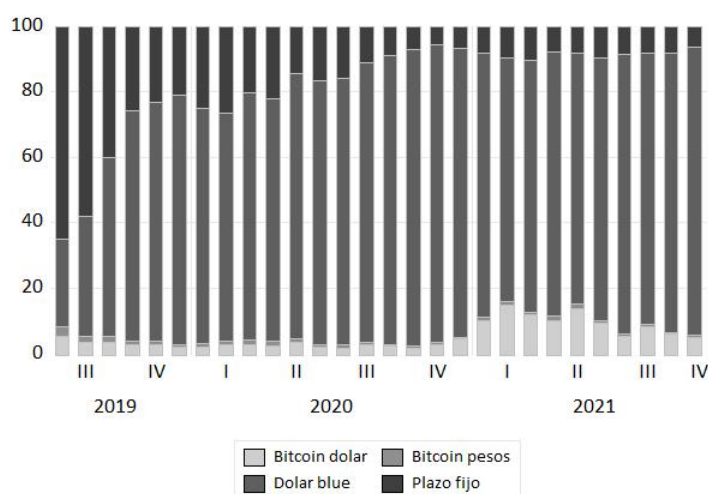
El modelo OLG propuesto considera que la demanda de bitcoin en Argentina es una demanda relativa que compite con otros activos monetarios, los pesos y los dólares. Por lo tanto, será necesario aproximar las demandas relativas de bitcoin, pesos y dólares. Para la estimación se propone recolectar información sobre el interés relativo por bitcoin, pesos y dólares en GoogleTrends.

La estimación de los datos se efectúa a través de una consulta en simultáneo, para dar cuenta de la estructura relativa de demanda. Las palabras de búsqueda son ((bitcoin dólar)), ((bitcoin pesos)), ((dólar blue)) y ((plazo fijo)). La distinción entre bitcoin dólar y bitcoin pesos es necesaria debido a que el modelo realiza una distinción que resulta fundamental para los resultados entre demanda de bitcoin por pesos o demanda de

bitcoin por dólares. Luego de construir las series de datos a partir de la información de GoogleTrends, se generan series relativas, para dar cuenta de la estructura del modelo.

Los resultados de la estimación se encuentran en la Figura 4.2. En la figura se observa, por ejemplo, para finales de 2019 y comienzos de 2020, un mayor interés relativo de pesos por sobre los otros dos activos. En particular, se observa un bajo interés relativo por dólares¹⁵. Es importante notar que, como se observó en la comparación con otros países, el interés relativo por bitcoin en Argentina se encuentra asociado al comportamiento global más allá de comportamientos idiosincráticos internos.

Figura 4.2: Interés relativo entre bitcoin, dólar y pesos en Argentina



Notas. En la figura se observa, por ejemplo, para finales de 2019 y comienzos de 2020, un mayor interés relativo de pesos por sobre los otros dos activos. En particular, se observa un bajo interés relativo por dólares. Es importante notar que, como se observó en la comparación con otros países, el interés relativo por bitcoin en Argentina se encuentra asociado al comportamiento global más allá de comportamientos idiosincráticos internos. Fuente: construcción propia en base a datos de GoogleTrend.

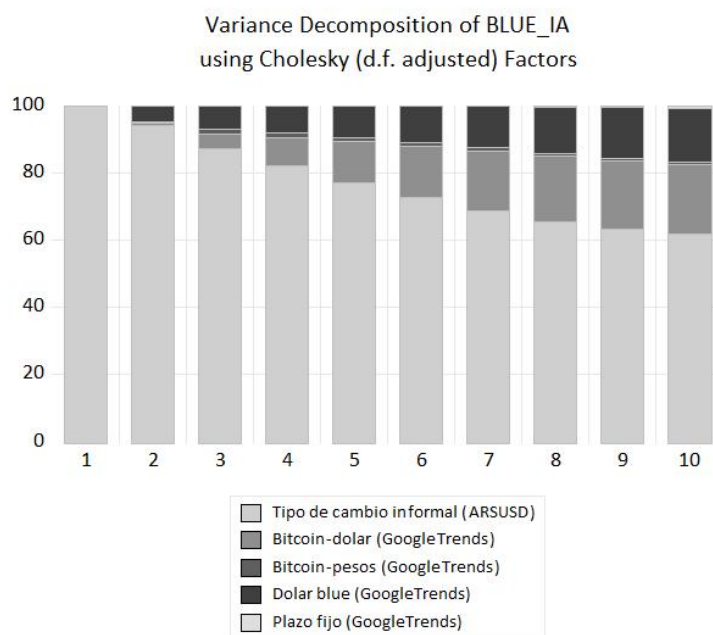
¹⁵ Este es un periodo con altas tasas de interés reales en plazos fijos en pesos.

Asociación entre las variables que estiman la demanda de bitcoin en Argentina y el tipo de cambio ARS/USD

Luego de estimar las demandas relativas de bitcoin (por pesos y dólares), dólar informal y pesos (plazo fijo), se propone analizar el nivel de asociación entre estas variables y el tipo de cambio ARS/USD. Para estimar las relaciones entre variables se transforman las variables para obtener las variaciones interanuales.

Descomposición de varianza. Como una primera aproximación al estudio de los posibles determinantes se utiliza la metodología Modelos vectoriales autoregresivos (VAR). Se incluyen las variables estimadas de demanda en términos de estructura relativa y el tipo de cambio. Todas las variables se encuentran en variaciones interanuales. La descomposición de varianza informa en distintos momentos del tiempo cuánto de la variación observada del tipo de cambio puede ser explicado por los shocks en las demás variables del sistema. En este ejercicio se encuentra que, además del propio precio relativo del tipo de cambio y del interés relativo por el mismo, las variable con mayor poder explicativo son la demanda relativa de bitcoin por dólares (ver Figura 4.3).

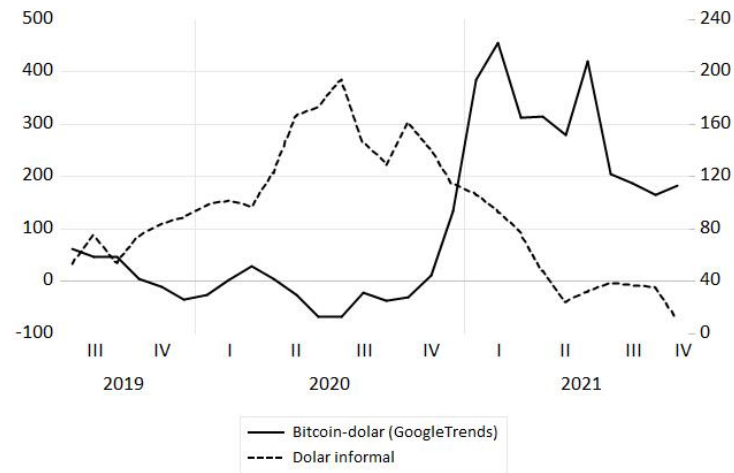
Figura 4.3: Factores que explican la varianza en el tipo de cambio informal ARS/USD. Descomposición de varianza



Notas. Además del propio precio relativo del tipo de cambio y del interés relativo por el mismo, las variables con mayor poder explicativo son la demanda relativa de bitcoin por dólares. Fuente: construcción propia en base a API twitter.

Análisis gráfico. Como siguiente aproximación, se analiza gráficamente el grado de asociación entre la variable seleccionada para aproximar la demanda de argentinos por bitcoin a cambio de dólares y el tipo de cambio (ver Figura 4.4).

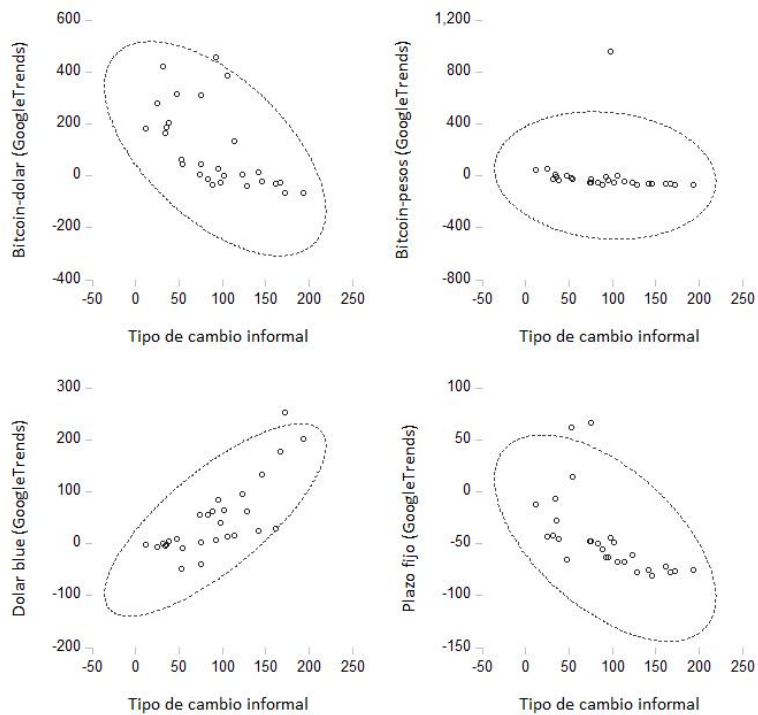
Figura 4.4: Asociación entre la variable para estimar demanda de bitcoin por dólares en Argentina y el tipo de cambio.



Notas. Es importante notar que la variable construida para estimar la demanda de bitcoin por dolares, es una demanda relativa respecto a la demanda del resto de los activos monetarios. En este sentido, el desempeño en el tiempo esta influenciado no solo por determinantes propios sino por la demanda relativa del resto. En esta instancia de disponibilidad de datos, se considera que los resultados son solo primeras aproximaciones iniciales. Fuente: construccion propia en base a API twitter.

Análisis de correlación. La correlación entre la variación i.a. del precio de bitcoin y la variación i.a. de los tweets de los influencers es de 0.82 y la correlación entre la variación del precio de bitcoin y la variación i.a. de los nodos es 0.94 (ver Figura 3.6)

Figura 4.5: Análisis de correlación entre las variables estimadas de demanda y el tipo de cambio



Notas. Todas las variables en var. i.a. Fuente: construcción propia en base a API twitter.

Análisis de regresión. A partir de los análisis anteriores, se propone construir un modelo de regresión donde el tipo de cambio esté explicado por las variables estimadas para la demanda de bitcoin por dólares y por las propias búsquedas de dólar informal en GoogleTrends (ver ??). Los coeficientes son significativos y presentan el signo esperado. El interés por demanda de bitcoin por dólares y el interés por demanda de pesos disminuye el tipo de cambio, mientras que el interés por demanda de dólares incrementa el tipo de cambio.

Figura 4.6: Modelo de regresión

Dependent Variable: BLUE_IA
 Method: Least Squares
 Date: 01/26/22 Time: 01:49
 Sample: 2019M08 2021M10
 Included observations: 27

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
BITCOIN_DOLAR_EST_IA	-0.102564	0.046431	-2.208962	0.0374
DOLAR_BLUE_EST_IA	0.268910	0.128618	2.090762	0.0478
PLAZO_FIJO_EST_IA	-0.510605	0.225426	-2.265067	0.0332
C	66.04327	11.60979	5.688583	0.0000

R-squared	0.690258	Mean dependent var	93.25765
Adjusted R-squared	0.649857	S.D. dependent var	49.53107
S.E. of regression	29.30895	Akaike info criterion	9.729616
Sum squared resid	19757.33	Schwarz criterion	9.921592
Log likelihood	-127.3498	Hannan-Quinn criter.	9.786701
F-statistic	17.08515	Durbin-Watson stat	0.725648
Prob(F-statistic)	0.000005		

Notas. Los coeficientes son significativos y presentan el signo esperado.

Fuente: construcción propia en base a API twitter.

4.6. Conclusiones del capítulo

La conclusión principal general es que, a partir del modelo propuesto, incrementos en la volatilidad de la demanda de bitcoin pueden generar incrementos en la volatilidad en el tipo de cambio entre pesos y dólares. Se confirma la conjetura propuesta desde la evaluación conceptual. Este resultado tiene como condición necesaria un incremento en el nivel de adopción generalizado de bitcoin en Argentina. Asociado a esta conclusión principal, el modelo concluye que el impacto en el nivel de tipo de cambio de un incremento en la demanda de bitcoin dependerá si el aumento en la demanda corresponde a ciudadanos que mantenían pesos o de ciudadanos que mantenían dólares. Un incremento de la demanda de ciudadanos que demandaban dólares generará una apreciación del tipo de cambio. Un incremento de la demanda de ciudadanos que demandaban pesos producirá una devaluación del tipo de cambio. Las simulaciones efectuadas a partir del modelo permiten dar cuenta de estos resultados.

La evaluación conceptual corrobora la conjetura. Un incremento en la volatilidad en la demanda de bitcoin puede afectar la volatilidad del tipo de cambio. De manera complementaria, el modelo indica que las implicancias sobre el tipo de cambio (entre el activo local y el fiduciario externo) dependerán de la preferencia por el activo digital de los ciudadanos alcanzados y los no alcanzados por las restricciones. Asumiendo que el activo local se usa para pagos mientras que el fiduciario externo y el digital se usan como reserva de valor, el tipo de cambio dependerá de la proporción de sustitución entre alcanzados y no alcanzados por las restricciones.

Bajo el estado actual de la investigación, no se puede corroborar la conjetura desde los datos. Los resultados econométricos encuentran una asociación significativa y esperada entre la variable estimada de demanda de bitcoin por dólares. Pero los resultados no son significativos ni los esperados para la variable estimada de demanda entre bitcoin y pesos. Se considera que los datos pueden utilizarse como una primera aproximación empírica al modelo, pero que será necesario contar con nuevas fuentes de información para poder efectuar un análisis concluyente.

La contribución principal es mostrar que en Argentina bitcoin puede competir no solo con los pesos (como medio de pago) sino también el dólar como reserva de valor. En caso de que las personas sustituyan dólares por bitcoin, el tipo de cambio entre pesos y dólares se apreciará.

La contribución complementaria es la construcción de un modelo OLG con sustitución monetaria asimétrica. En general, los estudios proponen una sustitución simétrica de activos entre países, lo cual podría ser una limitación en economías emergentes. Desde un punto de vista empírico, el trabajo es una de las primeras investigaciones que buscan evaluar las consecuencias de la mayor demanda de un activo digital en una economía emergente.

La principal limitación del modelo es que se trata de una economía cerrada donde la determinación de precios de los activos es interna. La principal limitación empírica es que los datos estimados no permiten distinguir entre agentes alcanzados o no por la restricción a la compra del activo fiduciario externo, por lo que se. La estimación asume que la sustitución observada se produce entre el activo digital y el activo fiduciario externo de personas no alcanzadas por la restricción a la tenencia del

activo fiduciario externo.

Los futuros modelos deberían contemplar una economía abierta donde los precios relativos de los activos tengan una asociación con los precios en el mercado global. Las estimaciones empíricas deberán contar con información de mayor precisión sobre el nivel de demanda de bitcoin en Argentina.

Capítulo 5

Conclusiones

Resultados generales

La investigación tuvo como objetivo general analizar las implicancias de un incremento en la demanda de bitcoin sobre la estabilidad financiera en Argentina. Para lograr dicho objetivo, se propuso estudiar la naturaleza monetaria de bitcoin. En particular, sus características de diseño de oferta y sus motivos de demanda.

La conclusión general de la investigación es que un mayor nivel de adopción en la demanda de bitcoin puede generar incrementos en la volatilidad del tipo de cambio en Argentina. Esta volatilidad responde a variaciones de demanda de bitcoin motivadas en las opiniones de los actores influyentes o en el comportamiento de los seguidores, en un contexto de oferta predeterminada en el tiempo.

Resultados específicos

El primer objetivo específico se propuso responder a la pregunta respecto a si bitcoin puede funcionar como dinero. La conclusión principal de este objetivo es que bitcoin puede funcionar como una tecnología equivalente al dinero. Este resultado es el resultado de la evaluación conceptual y de la evaluación empírica.

Para la evaluación conceptual se introdujo la DLT en un modelo de generaciones superpuestas. Se observó que la DLT funciona como un registro público perfecto y gratuito de las transacciones intergeneracionales del modelo. En este sentido, la

DLT funciona como memoria social. Y, a partir del concepto de dinero como una tecnología equivalente a la memoria, se puede concluir que la DLT es una tecnología equivalente al dinero.

La evaluación conceptual buscó corroborar que la DLT sea un proceso de memoria social. Para eso, se hizo un seguimiento de una transacción inicial en la cadena de bloques de bitcoin, para verificar su trazabilidad pública. Los resultados fueron favorables. De manera complementaria, se comparó el incremento de operaciones de la cadena bajo las restricciones del modelo (por ejemplo, se restringieron las operaciones a sólo una transacción por agente) con el valor de bitcoin. Se encontró una asociación entre el valor de la cadena y el precio de bitcoin. De esta manera, se corrobora que el valor del registro se asocia al crecimiento en su utilización, como postula el modelo.

El segundo objetivo se propuso responder a la pregunta sobre si la demanda de bitcoin se puede asociar a las opiniones de un grupo de actores influyentes y al comportamiento de un grupo de seguidores. La respuesta a la pregunta es que, efectivamente, se puede asociar la demanda de bitcoin a esos dos grupos de agentes, influyentes y seguidores.

En el modelo de generaciones superpuestas de dos activos, la demanda relativa de cada uno se encuentra representada por un parámetro. La evaluación conceptual propuso construir una nueva ecuación en el modelo que explique dicho parámetro. La nueva ecuación propone que el parámetro, llamado grado de influencia, dependa del comportamiento de un grupo de actores influyentes y de un grupo de seguidores. De esta manera, el grado de influencia varía en función a las opiniones positivas o negativas de los actores influyentes y del grado de imitación de dichas opiniones por parte de los seguidores.

El parámetro grado de influencia se evaluó empíricamente a través del análisis de mensajes de la red social Twitter. Para analizar las opiniones del grupo de actores influyentes, en primer, se generó una lista de actores principales a través del algoritmo PageRank. En segundo lugar, se analizó si los mensajes de esos actores correspondían a opiniones favorables o negativas sobre bitcoin. Para analizar el comportamiento del grupo de seguidores, se construyó una base de datos que dé cuenta

de las características estructurales de la red de mensajes. De esta manera, se buscó caracterizar momentos en el tiempo donde la red podía difundir mensajes de manera más o menos rápida. Luego de construir las variables para estimar la opinión de los actores principales y el comportamiento del grupo de seguidores, se estudió su comportamiento con relación al precio de bitcoin. Los resultados indicaron un alto grado de asociación entre las variables.

Finalmente, el tercer objetivo buscó responder de manera específica a la pregunta general de la investigación. Esto es, si una mayor demanda de bitcoin puede generar incrementos en el tipo de cambio. Como se indicó en la conclusión general, el resultado es que, efectivamente, un mayor nivel de adopción de bitcoin puede generar incrementos en la volatilidad del tipo de cambio. Como se señaló al inicio de las conclusiones, este resultado se debe a las características monetarias de oferta de bitcoin (en particular, a su oferta predefinida) y a los motivos de demanda, asociados a las opiniones de actores influyentes y grupos de seguidores.

El modelo conceptual construido para responder a la pregunta sugiere algunos resultados asociados relevantes. Por un lado, las consecuencias sobre el nivel de tipo de cambio entre pesos y dólares dependen del activo fiduciario intercambiado por bitcoin. Si los argentinos cambian pesos por bitcoin, el tipo de cambio se depreciará. Si cambian dólares por bitcoin, el tipo de cambio se apreciará. Las simulaciones del modelo permiten corroborar los resultados desde la dimensión conceptual. La evaluación empírica permite dar cuenta de estos resultados. Sin embargo, se considera que, para tener resultados empíricos concluyentes, se deberá contar con datos de demanda de bitcoin de fuentes oficiales.

Limitaciones y agenda futura

Desde el punto de vista conceptual, los modelos propuestos no incluyen incertidumbre y, para el caso del análisis de Argentina, consideran una economía cerrada. En futuros trabajos, se buscará incorporar incertidumbre a los modelos, a la vez que se trabajará sobre modelos de una economía emergente abierta. De esta manera, se podrá dar cuenta de dos características de bitcoin. Por un lado, la volatilidad de su precio. Y, por otro lado, su carácter de activo global. Además, se intentará construir

modelos que incluyan las ideas de interacción estratégica características de teoría de juegos.

Una de las principales limitaciones del estudio es no contar con datos oficiales sobre el intercambio de bitcoin por pesos y dólares. Se espera realizar nuevas estimaciones en la medida que haya mayor disponibilidad de información oficial.

Apéndice A

Análisis alternativo a partir de la teoría de juegos

A.1. Tecnología de red distribuida como contrato

El equilibrio de esta economía se puede pensar como un equilibrio de Nash. Un joven tiene dos opciones: no transferir nada a una persona vieja o transferir $\Phi = 2_2$. Si, por ejemplo, el joven toma $\Phi' = 2_2$ como la acción que va a elegir en el próximo período la próxima persona joven, entonces la transferencia del joven actual es la mejor respuesta. La DLT es el medio para hacer responsables a los jóvenes. No hay forma de ocultar las acciones cuando uno es joven. Las generaciones futuras conocen si alguien ha decidido no participar en el programa de transferencias intergeneracionales. Funciona como una especie de contrato: si una persona transfiere, recibirá una transferencia en el futuro. Elegir no transferir puede resultar un castigo: no recibir transferencia en el futuro y, por tanto, no poder consumir cuando se es viejo. Si no hay DLT es más probable que un joven no transfiera ningún bien a un anciano.

A.2. Análisis de las estrategias de los actores influyentes

La demanda relativa del activo digital se encuentra asociada al comportamiento de actores influyentes del mercado y al comportamiento del reguladores. Este comportamiento se puede explicar de manera alternativa en términos de teoría de juegos. Los jugadores son tres: actores influyentes del mercado, reguladores y seguidores. Las estrategias de los jugadores son dos: elegir bitcoin o elegir el activo fiduciario como activo monetario. Como el comportamiento de los seguidores corresponde a acciones de imitación, se puede excluir del análisis de las decisiones estratégicas del juego. El juego se puede considerar como un juego de coordinación con preferencias diferentes.

Se podría considerar un juego diferente, donde los seguidores también elijan entre bitcoin y el activo fiduciario. En ese caso, podría darse la situación en que tanto los seguidores como los actores influyentes de mercado elijan bitcoin pero que el regulador elija el activo fiduciario. Esta situación podría ser un equilibrio de Nash porque los seguidores y actores de mercado no tienen incentivos a cambiar de activo dado que se está utilizando para el intercambio y el gobierno puede tener una utilidad derivada de dicho intercambio. En ese caso, si el gobierno quiere que se deje de utilizar bitcoin, deberá imponer costos por el uso del activo digital que superen al beneficio derivado de su uso generalizado como medio de intercambio. Relacionado a esta caracterización del juego, un ejemplo histórico sobre el rol del regulador como fijador de reglas sociales es el caso del tipo de circulación de los autos en Argentina y en Suecia. En ambos casos, el gobierno modificó la norma social previa. En este caso, el regulador es el agente coordinador que posibilita solucionar el problema de equilibrios múltiples.

Estos comportamientos se relacionan a la idea expuesta por Keynes del concurso de belleza. En el Capítulo 12 de la Teoría General (Keynes, 2014), Keynes analiza las expectativas a largo plazo y los incentivos a la inversión. El concurso de belleza descrito por Keynes consiste en la elección de las seis caras más bonitas de un centenar de fotos publicadas por un diario de la época. El ganador sería aquel cuya

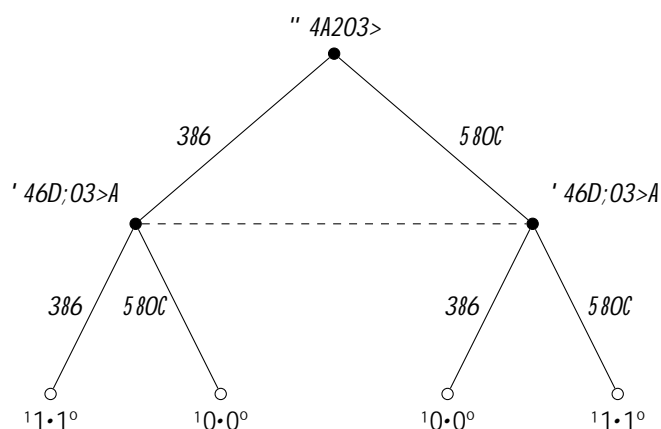
elección se acerque más al promedio de las preferencias de todos los participantes. Como resultado de este concurso, tal como describe Keynes: "Hemos alcanzado el tercer grado en el que dedicamos nuestra inteligencia a anticipar lo que la opinión promedio espera que sea la opinión promedio". El Concurso de Belleza es un juego simultáneo en el que los participantes deben pensar en la estrategia que el resto de los concursantes van a elegir para optimizar su elección, esta es la idea central para conseguir el Equilibrio de Nash, en el que cada jugador toma la mejor elección posible teniendo en cuenta la elección de los demás jugadores¹

Se puede analizar el juego como un juego simultáneo. Cada jugador desconoce el movimiento de los otros jugadores. Cada actor influyente genera reputación a medida que se repite el juego. Cada uno de los jugadores obtendrá un pago positivo $1 \cdot 1^\circ$ si puede coordinar el activo monetario seleccionado y pagos nulos en caso de no coordinar $0 \cdot 0^\circ$. Existen dos equilibrios posibles: $1386 \cdot 386^\circ$ y $15800 \cdot 5800^\circ$. Se está en presencia de un problema de coordinación. Bajo esta especificación del juego, un posible equilibrio es jugar la estrategia mixta $10 \cdot 5 \cdot 0 \cdot 5^\circ$. En ese caso, los pagos esperados $10 \cdot 5 \cdot 0 \cdot 5^\circ$ son menores a los pagos en caso de coordinar el activo seleccionado $1 \cdot 1^\circ$. La probabilidad de terminar en un equilibrio malo es del cincuenta por ciento. En la Figura A.1 se representa el juego en su forma extensiva. La línea punteada da cuenta del juego con información imperfecta. En este caso, representa la ignorancia del regulador respecto al nodo en que se encuentra.

En la matriz A.1 se representa el juego en su forma normal. Cada celda tiene una

¹Colin Camerer toma la idea del concurso de belleza introduce un experimento de un juego simultaneo que conduce a un unico equilibrio de Nash. El ejemplo de Camerer consiste en un juego simultaneo donde cada jugador debe elegir un numero del intervalo $[0,100]$. El ganador sera aquel que mas se acerque a la media de las elecciones del resto de jugadores multiplicada por p (en su ejemplo $p=0,7$). Al igual que describe Keynes en el Concurso de Belleza, en este ejemplo, los jugadores no elegirán el primer numero que se les ocurra, sino que pensarán en el numero que el resto de los jugadores elegira para tomar su decision. Suponiendo que todos los jugadores eligen el maximo dentro del intervalo, es decir 100, la mejor estrategia ser a elegir el 70 por ciento de 100, 70. Sin embargo, si tal y como expon a Keynes, pensamos que el resto de los jugadores sabe la eleccion del resto de jugadores, tomaran la misma decision y por tanto la media no ser a 100, sino 70 y la mejor decision ser a el 70 por ciento de 70, es decir 49. Si damos continuidad ad in nitum a esta re exion iterada, y alcanzamos el tercer, cuarto, quinto grado y as sucesivamente. Se concluye que el unico Equilibrio de Nash posible es 0.

Figura A.1: Juego entre influenciadores de mercado y reguladores. Forma extensiva



probabilidad de ocurrencia del veinticinco por ciento. Por lo tanto, existe una probabilidad del cincuenta por ciento de terminar en un equilibrio favorable o desfavorable. Se está en presencia de problemas de coordinación.

Cuadro A.1: Juego entre influenciadores de mercado y reguladores con mismos pagos. Forma normal

		Jugador 2	
		dig	fiat
Jugador 1	dig	1	0
	fiat	0	1

De manera alternativa, podría suceder que los pagos por utilizar un activo sean mayores para un agente que para el otro. En la matriz A.2 se observa que el pago por utilizar bitcoin es mayor para los actores influyentes de mercado y menores para el regulador $12 \cdot 1^\circ$ y, de manera inversa, los pagos por utilizar el activo fiduciario son mayores para el regulador que para los actores influyentes de mercado, $12 \cdot 1^\circ$. En ese caso, la probabilidad de terminar en un equilibrio malo aumenta.

Se está en presencia de equilibrios múltiples. En este contexto, se observa que es deseable la coordinación. Si los actores influyentes de mercado y los reguladores pudiesen ponerse de acuerdo en el activo seleccionado, los pagos serían mayores.

Cuadro A.2: Juego entre influenciadores de mercado y reguladores con pagos diferentes.

Forma normal

		Jugador 2			
		dig	fiat	dig	fiat
Jugador 1	dig	1	1	0	0
	fiat	0	0	1	1

Posibles investigaciones .En primer lugar, se podría analizar la posibilidad de aplicar un juego de fijador de agenda y veto. A priori, no hay un jugador que tenga mayor poder que otro para funcionar como coordinador externo. En este caso, el fijador de agenda podría ser el mercado y el actor de veto el regulador. Este juego se podría asociar a las ideas de Mises donde el mercado propone un activo como monetario y el Estado es quien acepta o no. En segundo lugar, se podría analizar la posibilidad de asociar con la idea de punto focal. Si bien no se tiene una solución al problema de coordinación, pueden aparecer puntos focales (Shelling). Es decir, podría surgir alguna situación por la cual un activo termina siendo más razonable que el otro. En tercer lugar, se podría plantear la idea de juego de coordinación entre el gobierno y los usuarios. Finalmente, se podría analizar a partir de las ideas de Nash no publicadas en su tesis original, las cuáles se pueden asociar a expectativas adaptativas, prueba y error.



Apéndice B

Códigos

B.1. Análisis de datos de la cadena de bloques

Lenguaje: R Plataforma: Kaggle

Listing B.1: Código en R construcción y análisis de datos de la cadena de bloques de bitcoin

```
1 library(plyr)
2 library(dplyr)
3 library(openxlsx)
4 library(data.table)
5
6 ## %%% [code]
7 db2009 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2009.csv', header =TRUE)
8 db2010 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2010.csv', header =TRUE)
9
10 ## %%% [code]
11 db201101 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2011-01.csv', header =TRUE)
12 db201102 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2011-02.csv', header =TRUE)
13 db201103 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2011-03.csv', header =TRUE)
14 db201104 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2011-04.csv', header =TRUE)
15 db201105 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2011-05.csv', header =TRUE)
16 db201106 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2011-06.csv', header =TRUE)
17 db201107 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2011-07.csv', header =TRUE)
18 db201108 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2011-08.csv', header =TRUE)
19 db201109 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2011-09.csv', header =TRUE)
20 db201110 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2011-10.csv', header =TRUE)
21 db201111 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2011-11.csv', header =TRUE)
22 db201112 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2011-12.csv', header =TRUE)
23 db201201 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2012-01.csv', header =TRUE)
24 db201202 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2012-02.csv', header =TRUE)
25 db201203 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2012-03.csv', header =TRUE)
26 db201204 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2012-04.csv', header =TRUE)
27 db201205 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2012-05.csv', header =TRUE)
28 db201206 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2012-06.csv', header =TRUE)
29 db201207 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2012-07.csv', header =TRUE)
30 db201208 = read.csv('../input/bitcoin-blockchain/2012-08.csv', header =TRUE)
31
32 ## %%% [code]
33 db <- rbind(db2009,
```

```

34         db2010 ,
35         db201101, db201102, db201103, db201104, db201105 ,
36         db201106, db201107, db201108, db201109, db201110 ,
37         db201111, db201112 ,
38         db201201, db201202, db201203, db201204, db201205 ,
39         db201206, db201207, db201208)
40
41 ## [code] {"_kg_hide-output": true}
42 colnames(db) = c("Hash", "Block", "Date", "Viejo", "Joven") # Renombrar columnas
43 db <- arrange(db, Date) # Ordenamiento
44 db$ID <- 1:nrow(db) # Clave ID
45 db$Mes <- sapply(db$Date, substring, 1, 7) # Extraer fecha mensual
46
47 ## [code] {"scrolled": false}
48 db.filter.a <- filter(db, Mes<2012-09) # Filtro de datos (operativo)
49 #db.filter.a <- db
50 db.filter.b <- db.filter.a # Copia de base para las vinculaciones posteriores
51
52 ## [markdown]
53 ## DLT sin restricciones
54
55 ## [code]
56 library(tidygraph)
57 library(igraph)
58 library(ggraph)
59
60 ## [code]
61 red.tot <- select(db.filter.a, "Viejo", "Joven", "Mes")
62 colnames(red.tot)<-c("From", "To", "Mes")
63
64 ## [code]
65 red.tot.200901 <- filter(red.tot, Mes<"2009-02")
66 g.tot.200901 <- graph_from_data_frame(red.tot.200901)
67 G.tot.200901 <- ggraph(g.tot.200901, layout = 'fr') +
68   geom_edge_link() +
69   geom_node_point()
70 G.tot.200901
71
72 ## [code]
73 red.tot.200902 <- filter(red.tot, Mes<"2009-03")
74 g.tot.200902 <- graph_from_data_frame(red.tot.200902)
75 G.tot.200902 <- ggraph(g.tot.200902, layout = 'fr') +
76   geom_edge_link() +
77   geom_node_point()
78 G.tot.200902
79
80 ## [code]
81 db.filter.a.sum <- db.filter.a %>%
82   group_by(Mes) %>%
83   summarize(Joven = n())
84 db.filter.a.sum
85
86 ## [markdown]
87
88 ## DLT con restricciones
89
90
91 ## [code]
92 db.filter.a.2 <- db.filter.a %>%
93   group_by(Joven) %>%
94   top_n(n=1, wt=desc(ID)) # Primera apreciación joven
95 db.filter.a.2.sum <- db.filter.a.2 %>%
96   group_by(Mes) %>%
97   summarize(Joven = n())
98 db.filter.a.2.sum
99

```

```

100 # %%% [markdown]
101
102 # %%% [code]
103 db.filter.b.2 <- db.filter.b %>%
104     group_by(Viejo) %>%
105     top_n(n=1, wt=desc(ID)) # Primera aparici n viejo
106
107 # %%% [markdown]
108
109 # %%% [code]
110 db.filter.ab <- merge(db.filter.a.2, db.filter.b.2, by = "ID")
111 db.filter.ab <- select(db.filter.ab, "ID", "Hash.x", "Block.x",
112     "Date.x", "Viejo.x", "Joven.x", "Mes.x")
113 colnames(db.filter.ab)<-c("ID", "Hash", "Block", "Date", "Viejo",
114     "Joven", "Mes")
115
116 # %%% [code]
117 db.filter.ab
118
119 # %%% [markdown]
120
121 # %%% [code]
122 db.filter.ab.2 <- db.filter.ab %>% # No muere joven
123     filter(Joven %in% Viejo)
124
125 # %%% [markdown]
126 # De esta manera, se construye la base OGM final.
127
128 # %%% [code]
129 db.filter.ab.2
130
131 # %%% [markdown]
132
133 # %%% [code]
134 db.filter.ab.2.sum <- db.filter.ab.2 %>%
135     group_by(Mes) %>%
136     summarize(Joven = n())
137 db.filter.ab.2.sum
138
139 # %%% [markdown]
140
141 # %%% [code]
142 db.count <- merge(db.filter.a.sum, db.filter.a.2.sum, by = "Mes") %>%
143     merge(db.filter.ab.2.sum, by = "Mes")
144 db.count

```

B.2. Evaluación empírica disponible en línea

Análisis de la cadena de bloques - Capítulo 1

Estimación de la demanda de bitcoin en Argentina con GoogleTrends - Capítulo 3

Correlación entre las volatilidades de los principales criptoactivos

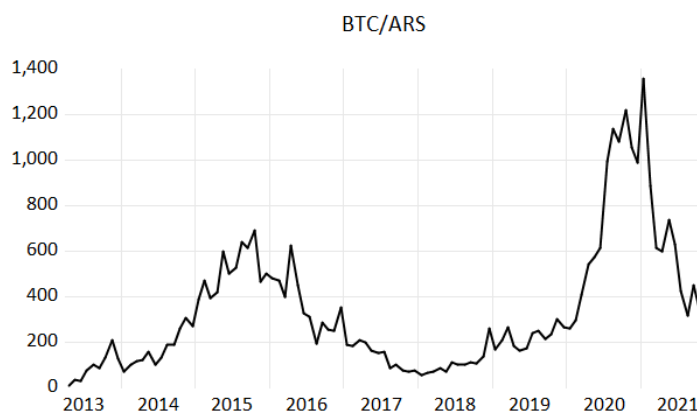
B.3. Evaluación conceptual disponible en línea

Modelo OLG introduciendo a bitcoin en Argentina

Apéndice C

Estimación alternativa de demanda de bitcoin en Argentina

Figura C.1: Cantidad de bitcoin intercambiados por pesos



Fuente: estimacion propia en base a operadores locales.

Datos (universo) Demanda de activos digitales en Argentina: intercambios entre activos digitales/ARS y activos digitales/USD realizados en los principales operadores de bitcoin en Argentina. Período (muestra) oct-2019 a oct-21.

Fuentes Operadores locales seleccionados (según disponibilidad). Técnicas de recolección APIs de cada operador. Una API es un conjunto de procedimientos que sirve para conectarse con la base de datos de cada operador.

Representatividad Se asume que los operadores relevados son representativos del universo y que la información que proveen refleja las operaciones que efectúan.

Limitaciones No se relevan las transacciones P2P (ejemplo operaciones en la plataforma Binance).

Bibliografía

- Aguirre, H. & Giupponi, E. (2013). *Determinantes y efectos de los flujos de capitales en Argentina (1994-2013)* (inf. téc.). Banco Central de la República Argentina. Buenos Aires.
- Agur, I., Mancini-Griffoli, T., Soledad Martinez Peria, M., Ari, A., Kiff, J. & Popescu, A. (2018). *Casting Light on Central Bank Digital Currency*, IMF. <https://www.imf.org/en/Publications/Staff-Discussion-Notes/Issues/2018/11/13/Casting-Light-on-Central-Bank-Digital-Currencies-46233>
- Ali, R. & Barrdear, J. (2014). Innovations in payment technologies and the emergence of digital currencies. *Bank of England Quarterly Bulletin*. <http://www.bankofengland.co.uk/publications/Documents/quarterlybulletin/2014/qb14q301.pdf>
- Andolfatto, D. (2018). Assessing the Impact of Central Bank Digital Currency on Private Banks. *The Economic Journal*. <https://doi.org/10.1093/ej/ueaa073>
- Arce-Catacora, L. A. (1997). Currency substitution in Bolivia.
- Auer, R. & Böhme, R. (2020). The technology of retail central bank digital currency. *BIS Quarterly Review*, (March), 85-100. <https://www.bis.org/publ/qtrpdf/r.qt2003j.pdf>
- Auer, R. & Claessens, S. (2018). *Regulación de las criptomonedas: evaluación de reacciones del mercado* (inf. téc.). <https://www.bis.org/publ/qtrpdf/r.qt1809f.es.pdf>
- Auer, R., Monnet, C. & Shin, H. S. (2021). Distributed Ledgers and the Governance of Money. *SSRN Electronic Journal*, 2021(92). <https://doi.org/10.2139/ssrn.3975959>
- Badev, A. I. & Chen, M. (2015). Bitcoin: Technical Background and Data Analysis. *Ssrn*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2544331>

-
- Bai, L., Fruehwirth, J., Cheng, X. & Macosko, C. W. (2015). Bitcoin Transaction Graph Analysis, 1-8. <http://arxiv.org/abs/1502.00165>
- Barrdear, J. & Kumhof, M. (2016). *The macroeconomics of central bank issued digital currencies* (inf. téc.). Bank of England. Londres. www.bankofengland.co.uk/research/Pages/workingpapers/default.aspx
- Biais, B., Bisiere, C., Bouvard, M., Casamatta, C. & Menkveld, A. J. (2020). Equilibrium Bitcoin Pricing. *SSRN Electronic Journal*, 0010. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3261063>
- Bitcoin spikes 20 % after Elon Musk adds #bitcoin to his Twitter bio. (s.f.). <https://www.cnbc.com/2021/01/29/bitcoin-spikes-20percent-after-elon-musk-adds-bitcoin-to-his-twitter-bio.html>
- Brière, M., Oosterlinck, K. & Szafarz, A. (2015). Virtual currency, tangible return: Portfolio diversification with bitcoin. *Journal of Asset Management*, 16(6), 365-373. <https://doi.org/10.1057/jam.2015.5>
- Brunnermeier, M. & Niepelt, D. (2019). On the equivalence of private and public money. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689-1699.
- Buterin, V. (2021). Why sharding is great: demystifying the technical properties. <https://vitalik.ca/general/2021/04/07/sharding.html>
- Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI). (s.f.). <https://ccaf.io/cbeci/index>
- Champ, B. & Freeman, S. (2004). *Modeling Monetary Economics* (2). Cambridge University Press.
- Chiu, J., Davoodalhosseini, M., Jiang, J. & Zhu, Y. (2019). Bank Market Power and Central Bank Digital Currency: Theory and Quantitative Assessment. www.bank-banque-canada.ca
- Davidson, S., De Filippi, P. & Potts, J. (2018). Disrupting Governance: The New Institutional Economics of Distributed Ledger Technology. *SSRN Electronic Journal*, 1-27. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2811995>
- Eisl, A., Gasser, S. M. & Weinmayer, K. (2015). Caveat Emptor: Does Bitcoin Improve Portfolio Diversification? *SSRN Electronic Journal*, 1-21. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2408997>

-
- European Central Bank. (2012). *Virtual Currency Schemes* (inf. téc.). European Central Bank. <https://doi.org/ISBN:978-92-899-0862-7>(online)
- European Central Bank. (2015). *Virtual currency schemes { a further analysis* (inf. téc. February). European Central Bank. Frankfurt am Main.
- Fernández-Villaverde, J. & Sanches, D. (2016). *Can currency competition work?*, NBER. <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2019.07.003>
- Financial Innovation Network. (2020). *Crypto-asset markets { updated assessment of risks to financial stability* (inf. téc. N.º 1). Financial Stability Board. <https://www.golder.com/insights/block-caving-a-viable-alternative/>
- Financial Stability Board. (2020). Addressing the regulatory, supervisory and oversight challenges raised by "global stablecoin" arrangements. (April), 67. <https://www.fsb.org/wp-content/uploads/P140420-1.pdf>
- Financial Stability Board. (2022). Crypto-assets and Global "Stablecoins". <https://www.fsb.org/work-of-the-fsb/financial-innovation-and-structural-change/crypto-assets-and-global-stablecoins/>
- Friedman, M. (1951). Commodity-Reserve Currency. *Journal of Political Economy*, 59, 203-232. http://www.jstor.org/stable/1826435?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents
- FSB. (2019). *Crypto-asset market monitoring: supplementary note on global stablecoin systems* (inf. téc.).
- Garratt, R. & Wallace, N. (2018). Bitcoin 1, Bitcoin 2,...: an Experiment in Privately Issued Outside Monies. *Economic Inquiry*, 56(3), 1887-1897. <https://doi.org/10.1111/ecin.12569>
- Haldane, A. (2015). How low can you go ?
- Haldane, A., Kumhof, M. & Barrdear, J. (2015). BoE/CCBS Chief Economists' Workshop Old Money, New Money 19. *BoE Chief Economists' Workshop*, (May).
- Hamza, S. (2020). The Effect of Tweets Made by Cryptocurrency Opinion Leaders on Bitcoin Prices. *Saudi Journal of Economics and Finance*, 4(12), 569-589. <https://doi.org/10.36348/sjef.2020.v04i12.005>
- Hileman, G. (2014). A ' History ' of ' Alternative ' Currencies ' .

-
- Hotar, N. (2020). Herd behavior in terms of social psychology: The example of crypto asset markets. *International Journal of eBusiness and eGovernment Studies*, 12(1), 1-12. <https://doi.org/10.34111/ijepeg.202012106>
- IMF. (2017). Financial Stability Reports in Latin America and the Caribbean.
- International Monetary Fund. (2020). *Digital Money Across Borders: Macroeconomic implications* (inf. téc. October).
- Kallinterakis, V. & Wang, Y. (2019). Do investors herd in cryptocurrencies – and why? *Research in International Business and Finance*, 50(1994), 240-245. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2019.05.005>
- Keynes, J. M. (2014). Los incentivos psicológicos y de negocios para la liquidez. *Teoría general del empleo, el interés y el dinero* (4 , pp. 189-202). Fondo de Cultura Económica.
- Knapp, G. F. (1924). *The state theory of money*. Macmillan & Co.
- Kocherlakota, N. R. (1998). Money Is Memory. *Journal of Economic Theory*, 81(2), 232-251. <https://doi.org/10.1006/jeth.1997.2357>
- Krugman, P. (2013a). Bitcoin Is Evil. <http://krugman.blogs.nytimes.com/2013/12/28/bitcoin-is-evil/>
- Krugman, P. (2013b). Bits and Barbarism. <http://www.nytimes.com/2013/12/23/opinion/krugman-bits-and-barbarism.html>
- Lagos, R. & Wright, R. (2005). A unified framework for monetary theory and policy analysis. *Journal of Political Economy*, 113(3), 463-484. <https://doi.org/10.1086/429804>
- Leong, L. T. (2020). Snapshot Samplings of the Bitcoin Transaction Network and Analysis of Cryptocurrency Growth. *arXiv*.
- Luther, W. J. & Olson, J. (2014). Bitcoin is Memory. *SSRN Electronic Journal*, 3(3), 22-33. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2275730>
- Matta, M., Lunesu, I. & Marchesi, M. (2015). Bitcoin Spread Prediction Using Social And Web Search Media. *DeCAT 2015 - Workshop on Deep Content Analytics Techniques for Personalized and Intelligent Services*, (JUNE).
- Mauss, M. (1969). Los orígenes de la noción de moneda. (1914), 1898-1901.
- Mauss, M. (2009). *Ensayo sobre el don: forma y función del intercambio en las sociedades arcaicas* (K. Editores, Ed.; Primera ed).

-
- McGinn, D., McIlwraith, D. & Guo, Y. (2018). Towards open data blockchain analytics : a Bitcoin perspective Subject Category :
- Mcleay, M., Radia, A. & Thomas, R. (2014a). Money creation in the modern economy. *Bank of England Quarterly Bulletin*, (1).
- Mcleay, M., Radia, A. & Thomas, R. (2014b). Money in the modern economy: an introduction. *Bank of England Quarterly Bulletin* *Quarterly Bulletin*.
- Menger, C. (1892). The Origins of Money. *The Economic Journal*.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. *Www.Bitcoin.Org*, 9. <https://doi.org/10.1007/s10838-008-9062-0>
- Oversight of the U.S. Securities and Exchange Commission: Wall Street's Cop Is... (EventID=114113) - YouTube. (s.f.). <https://www.youtube.com/watch?v=9CL5WfevHjI>
- Pasha Motamed, A. & Bahrak, B. (2019). Quantitative analysis of cryptocurrencies transaction graph. *arXiv*, 6.
- Ramirez-Rojas. (1985). Currency Substitution in Argentina, Mexico, and Uruguay (Substitution de monnaie en Argentine, au Mexique et en Uruguay. *IMF Staff papers*, 32(4), 629-667.
- Schnabel, I. & Shin, H. S. (2018). Money and trust: Lessons from the 1620s for money in the digital age. *BIS Working Papers*, (February).
- Shin, H. S. (2021). *Decentralisation in digital finance : possibilities and limits* (November).
- Stenqvist, E. & Lönnö, J. (2017). Predicting Bitcoin price fluctuation with Twitter sentiment analysis. *Diva*, 37. <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1110776%0Ahttp://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-209191>
- Tobias, A. & Weeks, R.-B. (2021). ¿Criptoactivos como moneda nacional? Un paso demasiado grande. <https://blog-dialogoafondo.imf.org/?p=16050>
- Yamamoto, H., Sakaji, H., Matsushima, H., Yamashita, Y., Osawa, K., Izumi, K. & Shimada, T. (2020). *Forecasting Crypto-Asset Price Using Influencer Tweets* (Vol. 926). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15032-7fn_g79

-
- Yechen, Z., Dickinson, D. & Jianjun, L. (2016). What Influences Bitcoin ' s Price ? -A VEC Model Analysis. *Proceedings of the Fourth European Academic Research Conference on Global Business, Economics, Finance and Banking (EAR16Swiss Conference)*, (July), 1-8.
- Yermack, D. (2013). Is Bitcoin a Real Currency? An Economic Appraisal. *National Bureau of Economic Research*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Zambre, D. & Shah, A. (2013). *Analysis of Bitcoin Network Dataset for Fraud* (inf. téc.). Stanford.