

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Administración para el Desarrollo

Distribución del Dinero en Sociedad:

Una investigación basada en agentes computacionales

Cristian Paúl Hidalgo Robles

Pedro Romero, PhD., Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito

para la obtención del título de Economista

Quito, diciembre de 2013

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Administración para el Desarrollo

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Distribución del Dinero en Sociedad: Una investigación basada en agentes computacionales

Cristian Paúl Hidalgo Robles

Pedro Romero, PhD.
Director de Tesis

Magdalena Barreiro, PhD.
Decano del Colegio de
Administración para el Desarrollo

Quito, diciembre de 2013

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma: _____

Nombre: Cristian Paúl Hidalgo Robles

C. I.: 1723353445

Fecha: Quito, diciembre de 2013

DEDICATORIA

A mis padres y a mi hermana Gaby que son mi apoyo sin importar las circunstancias. A Bárbara por ser mi inspiración y mi aliento de cada día.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó gracias al apoyo de varias personas. De Pedro Romero y Diego Grijalva que dirigieron mi trabajo de tesis. A los profesores que plantearon nuevas ideas en mi mente para desarrollarlas posteriormente: Jaime, Sebastián, Franklin, Wilson y Juan Fernando. En el área de filosofía Germán y Jorge Luis. A la clase de Seminario de Investigación II y mis compañeros que aportaron valiosas ideas al estudio.

A Santiago Gangotena por abrirme las puertas a la Universidad.

RESUMEN

El estudio sobre la mecánica de la distribución del dinero ha estado presente en la academia por varios años. En la actualidad, métodos como la modelación de agentes en computadora nos permiten estudiar el problema como un fenómeno complejo, y por ende a entenderlo de una mejor manera. Este trabajo presenta una propuesta sobre el estudio de la distribución estadística del dinero incluyendo las variables como: el crédito bancario, el crecimiento del dinero (basado en el efecto multiplicador), y la inequidad social. Los resultados son que la distribución en una sociedad con crédito es menos desigual, que la cantidad de dinero puede tener variaciones muy altas cuando cambia el porcentaje de depósitos que los bancos mantienen en reserva, y que la inequidad social no cambia la estructura de la distribución del dinero.

ABSTRACT

Academic studies for the understanding of money mechanics have been available for many years. Nowadays however, we use methods such as agent-based computer modeling to help us treat this problem as complex phenomena, and thus comprehending it in a better way. This work presents an analysis about statistical money distribution, by designing a computer program which includes variables such as: loans, money growth (based on the money-multiplier) and social inequality. The results are that societies with banking loans are less unequal than those who don't have it. Also, that the total amount of money changes substantially when the authorities change the reserve-ratio of bank-deposits. And finally, that inequality is a common property of the statistical distribution of money.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----------|
| Resumen | 7 |
| Abstract | 8 |
| 1 Introducción | 13 |
| 1.1 Antecedentes: La historia del estudio de la moneda..... | 14 |
| 1.2 El Problema..... | 15 |
| 1.3 Hipótesis..... | 17 |
| 1.4 Pregunta de investigación | 19 |
| 1.5 Objetivos | 19 |
| 1.5.1 General..... | 19 |
| 1.5.2 Específicos..... | 19 |
| 1.5.3 El propósito del estudio | 19 |
| 1.5.4 El significado del estudio..... | 20 |
| 1.6 Definición de términos..... | 20 |
| 2 REVISIÓN DE LA LITERATURA..... | 21 |
| 2.1 Fuentes | 21 |
| 2.1.1 Artículos Académicos sobre Distribución del Dinero | 21 |
| 2.1.1.1 Conservación de la Energía de Dragulescu y Yakovenko (2002) | 21 |
| 2.1.1.2 Modelo “Venta de Garaje” de Ispolatov et al. (1998) | 22 |
| 2.1.1.3 Modelo “El ganador lo toma todo” de Chakraborti (2000) | 23 |
| 2.1.2 Literatura sobre Ciencias de la Complejidad..... | 24 |
| 2.1.3 Ejemplos de Programación en NetLogo | 25 |
| 2.1.3.1 Modelo de Distribución de la Riqueza | 25 |
| 2.1.3.2 Flujo de Efectivo | 26 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3 | METODOLOGÍA..... | 28 |
| 3.1 | Justificación de la metodología seleccionada | 28 |
| 3.2 | Herramienta de Modelación: NetLogo..... | 28 |
| 3.3 | Descripción metodológica del modelo..... | 30 |
| 3.3.1 | Base de la Programación del Modelo | 30 |
| 3.3.2 | Variaciones para la primera hipótesis..... | 31 |
| 3.3.3 | Variaciones para la segunda hipótesis..... | 32 |
| 3.3.4 | Variaciones para la tercera hipótesis..... | 32 |
| 3.4 | Supuestos del Modelo..... | 32 |
| 3.5 | Recolección de datos..... | 32 |
| 4 | ANÁLISIS DE DATOS | 33 |
| 4.1 | Hipótesis Uno: La Variable Crédito | 33 |
| 4.2 | Hipótesis Dos: Efecto multiplicador del dinero | 41 |
| 4.3 | Hipótesis 3: Inequidad..... | 43 |
| 5 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 47 |
| 5.1 | Respuesta a la pregunta de investigación | 47 |
| 5.2 | Implicaciones y Recomendaciones de Política Monetaria | 48 |
| 5.3 | Limitaciones del estudio y recomendaciones para estudios futuros..... | 49 |
| 6 | BIBLIOGRAFÍA..... | 51 |
| 7 | ANEXOS..... | 54 |
| 7.1 | Códigos de Programación en NetLogo | 54 |
| 7.1.1 | Modelo Réplica de Dragulescu & Yakovenko (2000) | 54 |
| 7.1.2 | Modelo con Variable Crédito | 55 |
| 7.1.3 | Modelo con Variables Crédito e Inequidad | 59 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1: Modelo Distribución de Riqueza (Wilensky, 1998b) | 26 |
| Figura 2: Modelo Distribución de Efectivo (Wilesky, 1998a)..... | 27 |
| Figura 3: Histograma. Réplica de modelo de Dragulescu & Yakovenko (2002)..... | 34 |
| Figura 4: Curva de Lorenz. Réplica de modelo de Dragulescu & Yakovenko (2002)... | 34 |
| Figura 5: Distribución ajustada; Modelo réplica de Dragulescu Yakovenko (2000)..... | 35 |
| Figura 6: Gráfico Q-Q de Dragulescu y Yakovenko | 37 |
| Figura 7: Histograma. Modelo con crédito..... | 37 |
| Figura 8: Curva de Lorenz. Modelo con crédito | 38 |
| Figura 9: Modelo con crédito ajustado a ecuación <i>Boltzmann-Gibbs</i> | 39 |
| Figura 10: Gráfica Q-Q. Modelo con crédito | 40 |
| Figura 11: Cantidad total de dinero. Modelo Flujo de Efectivo vs. Modelo con crédito. | 42 |
| Figura 12: Histograma. Modelo con crédito, sin variable inequidad | 44 |
| Figura 13: Histograma. Modelo con variables crédito e inequidad..... | 45 |
| Figura 14: Curva de Lorenz. Modelo con crédito, sin variable inequidad | 46 |
| Figura 15: Curva de Lorenz. Modelo con variables crédito e inequidad | 46 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Prueba Kolmogorov Smirnov. Modelo Dragulescu-Yakovenko | 36 |
| Tabla 2: Test Kolmogorov-Smirnov para modelo con crédito..... | 39 |
| Tabla 3: Comparación crecimiento de dinero Wilensky vs. Modelo propuesto | 42 |

1 INTRODUCCIÓN

Desde que se empieza a estudiar a la economía, una de las preguntas más frecuentes que se hacen los estudiantes es: ¿por qué unas personas tienen más dinero que otras? ¿qué hace que la distribución del dinero sea de una y no de otra manera? El análisis sobre la dinámica del dinero ha estado presente por siglos. En la Edad Media, las personas ya se preguntaban qué efectos tenía en su moneda las decisiones que tomaban sus gobernantes. Basaban sus conclusiones en observaciones, métodos matemáticos, entre otros. En la actualidad la interrogante sigue siendo la misma, pero a diferencia de antes, se cuenta con herramientas como la modelación de agentes computacionales que permite acercarse más a la realidad sobre la distribución del dinero. En el presente estudio, se realiza un nuevo análisis sobre la distribución del dinero utilizando agentes computacionales, y se determinan sus implicaciones al momento de hacer política monetaria.

Ha habido modelos que ya han intentado plantear el mismo problema. No obstante, estos estudios han estado más enfocados a las áreas de las matemáticas y las ciencias de la computación que a la economía. Ahora se quiere plantear una perspectiva más económica, y establecer modelos que analicen preguntas como: ¿qué sucede si la cantidad de dinero varía de un período a otro? O, ¿cuánto crece el dinero si se permite el crédito con una cierta cantidad de reserva para los bancos? Y también, ¿qué sucede si hay personas que tienen mayores posibilidades de intercambiar que otras? El objetivo de analizar estas preguntas es explicar de mejor manera el problema de la distribución del dinero, y arrojar resultados que nos ayuden a entender la realidad.

1.1 Antecedentes: La historia del estudio de la moneda

A pesar de que la humanidad ha acuñado moneda durante más de 2,600 años, no ha sido capaz de entender cómo se distribuye el dinero en la población. Muchas teorías han surgido intentando explicar los efectos asociados a cambios significativos en la moneda. El primero en hacerlo fue Oresme, quien en la Edad Media teorizaba de forma crítica que cuando los príncipes adulteraban la moneda, lo que en realidad hacían era extraer riqueza de sus súbditos. Otra propuesta fue la de Juan Bodino, quien en el siglo XVI decía que la abundancia de metales en un determinado pueblo hacía que los precios locales aumenten. También criticó el hecho que los monarcas disminuyan la cantidad de oro y plata en las monedas, lo cual se conoce con el nombre de “envilecimiento de la moneda” (Roll, 2010).

En el siglo XVIII, Richard Cantillon en su obra *Essai sur la nature du commerce en général*¹ hizo un análisis detallado sobre los efectos del aumento de la cantidad de moneda. Él decía que existe un incremento gradual en los precios cuando la cantidad de circulante sube, lo cual provoca un efecto redistributivo en la riqueza. Lo que sucede es que mientras la capacidad adquisitiva de un grupo de personas se eleva (debido a que están más cerca de a la fuente de creación del dinero), la de otro disminuye. Esto se da porque la demanda de bienes del primer grupo crece, provocando una subida general de precios (Cantillon, 2011). Esta propuesta es aplicable hasta el día de hoy, con la diferencia que en lugar de los acuñadores de moneda de la época ahora existen bancos centrales, y en lugar de minas de oro existe dinero impreso y política monetaria.

En siglos posteriores, aparece el debate clásico entre la neutralidad versus no-neutralidad del dinero. Milton Friedman y otros autores defendían la tesis que los

¹ Ensayo sobre la naturaleza del comercio en general.

cambios en la moneda son neutrales con respecto a las variables económicas reales². Mientras que otros autores como John M. Keynes decían que los cambios pueden ser “reales” y afectar a variables como el empleo y la producción. A partir de este debate se generará un gran número de teorías y propuestas para políticas de ambas escuelas. Aún en la actualidad no existe un consenso sobre la neutralidad o no del dinero (Roll, 2010).

Hoy en día, las principales herramientas que se utilizan para estudiar el problema del dinero son las matemáticas y la econometría, y más recientemente, la modelación de agentes con computadora. La ventaja de esta última es que permite plantear problemas con mayor complejidad, incluir una considerable cantidad de variables y reproducir un modelo en múltiples iteraciones. A través del uso de algoritmos y agentes computarizados se pueden emular reglas sobre la actividad económica que permitan obtener resultados potencialmente más cercanos a la realidad.

1.2 El Problema

Existen modelos que buscan entender la distribución estadística del dinero basando su análisis en agentes computacionales (Chakraborti & Chakrabarti, 2000; Chakraborti, 2002; Dragulescu & Yakovenko, 2002; Dragulescu & Yakovenko, 2000; Ispolatov, Krapivsky, & Redner, 1998; Wilensky, 1998a; Xi, Ding, & Wang, 2005). Estos estudios aproximan de diferentes maneras el problema, y brindan propuestas acerca de cómo funciona la mecánica de distribución del dinero (su análisis se presentará más adelante en la revisión de la literatura). No obstante, se observa que desde una perspectiva económica existen ciertas limitaciones en los modelos, pues no toman en cuenta variables que pueden ser decisivas al momento de obtener una distribución del dinero. Entre ellas tenemos el crédito, o la ruptura de conservación del

² Con “variables reales” se refiere a las variables macroeconómicas corrientes quitados el efecto de la inflación.

dinero en el tiempo, el crecimiento de la suma de dinero, que considere el efecto multiplicador; y tercero la inequidad social entre agentes al momento de intercambiar bienes y servicios. Cada una de estas tres variables son examinadas en detalle a continuación:

En primer lugar se analiza el crédito y la no-conservación del dinero. Una regla muy común en los modelos ya existentes sobre distribución estadística del dinero es en efecto la conservación del dinero (Dragulescu & Yakovenko (2002), Dragulescu & Yakovenko (2000), Chakraborti (2002)). Según esta condición, cuando se da lugar una transacción entre agentes, la cantidad de dinero en posesión de estos agentes cambia, mas la cantidad total de dinero en la economía no. Es decir:

Ecuación 1

$$M = m_1 + m_2 = m'_1 + m'_2$$

Donde m es la cantidad de dinero individual de los agentes y M es la cantidad total del dinero que se mantiene constante a lo largo del tiempo.

El problema con esta regla es que es difícil que se cumpla en la realidad, si se considera elementos como la entrada y salida de divisas, el crédito, la impresión de dinero, etc. Todos ellos alteran el monto total de M . A fin de estudiar los cambios en la distribución cuando se rompe con la condición de la conservación, se toma el crédito como una variable representativa para agregar al análisis. Porque cuando hay crédito, la cantidad de dinero se altera puesto que los prestamistas toman el dinero que esté excedente y lo recirculan en la economía.

Otro parámetro que debe ser reconsiderado en los modelos existentes es el efecto multiplicador del dinero. Una vez que se ha tomado en cuenta que la cantidad de dinero puede cambiar, se debe entender el efecto multiplicador detrás de este cambio. La cantidad de dinero no varía multiplicándose por una constante, sino que atraviesa un proceso que llega a un umbral de crecimiento (revisar hipótesis más adelante). Un

modelo que toma en cuenta este fenómeno es el de Uri Wilensky (1998a), pero que lastimosamente no ha sido verificado.

Finalmente, un tercer ámbito que puede ser tomado en cuenta es la inequidad social. Elementos como: ubicación geográfica, educación, acceso a la tecnología, conexiones personales; son condiciones que hacen que unos agentes puedan vender y comprar más que otros. Los estudios distribución de dinero que se conocen no toman en consideración esta variación. En la mayoría de casos las distribuciones son aleatorias con igual oportunidad para todos los agentes.

En definitiva, la propuesta de este estudio es modelar una distribución del dinero que incluya todas las variables que se ha mencionado en párrafos anteriores, y analizar las implicaciones económicas de sus resultados.

1.3 Hipótesis

Se plantean tres hipótesis a partir de los cambios que se realizarán a los modelos existentes sobre distribución de dinero. La primera está relacionada con la conservación del dinero y el crédito, la segunda con el crecimiento del dinero, y la tercera con la inequidad.

La primera hipótesis es que al introducir la variable crédito, la distribución del dinero se hace menos desigual. El crédito hace que la cantidad de dinero en la economía aumente, al reutilizar el dinero que la gente ahorra a través de los bancos. Los bancos otorgan préstamos al público, con lo cual redistribuyen dinero de las personas que tienen un saldo positivo en sus cuentas a quienes tienen déficit (Mishkin, 2012). En modelos anteriores (Chakraborti, 2002; Wilensky, 1998a) los agentes están programados para no transar si su riqueza es menor o igual a cero ($w \leq 0$). Esto hace que una cantidad muy pequeña de la población llegue a tener control sobre un gran porcentaje del dinero (incluso en algunos modelos un sólo agente llega a poseer toda la

riqueza del modelo). Por ende, se espera que al permitir el crédito y la redistribución del dinero a través de los bancos, distribución del circulante se haga menos desigual.

La segunda hipótesis es que al permitir que una nueva cantidad de dinero circule en la economía, se genera un efecto multiplicador. Cuando los bancos prestan circulante, lo hacen en una razón de $(1 - r)$ del total de depósitos de sus clientes, donde r es el nivel de reserva que tienen que mantener³. En primera instancia, la cantidad de dinero en la economía aumenta $(1 - r)$ siempre que $0 < r < 1$. En segunda instancia, cuando este dinero se transfiere a otras personas, se deposita en otras cuentas y se sigue transfiriendo, el dinero termina multiplicándose por una razón de $1/r$. (Federal Reserve Bank of Chicago, 1994).

La tercera hipótesis está relacionada con la inequidad. Al introducir una condición que haga que ciertos agentes puedan vender más que otros, se espera que la distribución del dinero se haga mucho menos uniforme. Esta variable de inequidad social representa las diferencias entre agentes en situaciones como: condición social, geografía, educación, etc. Al marcar esta diferencia se espera que el ingreso de la población privilegiada aumente, y que por esta razón la distribución del modelo presente mucha más inequidad que otros.

Una vez que se hayan analizado las tres hipótesis, se podrá concluir si la distribución obtenida en el modelo es consistente o no con los modelos ya conocidos. En caso de que se mantenga, quiere decir que las propuestas de estudio anteriores son consistentes a los cambios. Caso contrario, se estará brindando una nueva propuesta al estudio de la distribución del dinero.

³ En muchas ocasiones esta proporción es regulada por la ley. En la mayoría de bancos este porcentaje es del 10% (Federal Reserve Bank of Chicago, 1994)

1.4 Pregunta de investigación

En relación a los modelos ya existentes sobre la distribución estadística del dinero que utilizan agentes computacionales, ¿cuáles son los cambios en la distribución una vez que se incluyen las variables: crédito, efecto multiplicador e inequidad?

1.5 Objetivos

1.5.1 General

Estudiar los cambios en la distribución del dinero al realizar un modelo que incluya a las variables: crédito, efecto multiplicador del dinero, e inequidad social; en relación a modelos ya existentes en la literatura.

1.5.2 Específicos

- ❖ Programar un sistema de distribución del dinero en base a algoritmos.
- ❖ Comparar entre la distribución de dinero de un modelo programado con crédito y el modelo de la distribución de la energía de *Boltzmann-Gibbs*⁴.
- ❖ Encontrar y determinar cuál es el crecimiento total del dinero en base a la modelación.
- ❖ Identificar las implicaciones económicas del nuevo modelo.
- ❖ Realizar recomendaciones sobre la política monetaria en base al modelo.

1.5.3 El propósito del estudio

El presente estudio quiere robustecer el análisis de la distribución del dinero. De esa manera, se puede proponer medidas de política monetaria más precisas. Con este modelo además se quiere superar la dificultad de obtener datos empíricos de los

⁴ Modelo sobre la distribución de la energía en un espacio cerrado. Véase en revisión de la literatura el modelo de Dragulescu y Yakovenko (2002).

estudios relacionados con el dinero. También se quiere entender de mejor manera la dinámica del dinero, y la interacción de los agentes cuando compran, venden bienes, y piden dinero en préstamo.

1.5.4 El significado del estudio

Existen pocos modelos de distribución de dinero que se analicen por medio de la programación. De estos, la gran mayoría son propuestos por expertos en matemáticas, física y ciencias computacionales. Por ello, el presente estudio quiere contribuir con un enfoque más económico a las teorías sobre la distribución del dinero. A su vez plantea un análisis más profundo sobre las implicaciones de política monetaria y otras regulaciones que se deducen de la estructura de la dinámica del dinero.

1.6 Definición de términos

En el presente estudio se utilizan algunos términos cuyos significados pueden ser confundidos si se los utiliza en distintos contextos. Algunos de estos términos son:

- Agente: componentes individuales de un sistema complejo.
- Sistema Complejo: Una red de compuesta de pequeñas unidades de análisis (agentes) relativamente simples, sin un control central, que exhiben un comportamiento colectivo complejo (Mitchell, 2006).
- Suma de Dinero: En este modelo la cantidad total de dinero es la suma entre los activos de un agente, definidos como el dinero en su billetera, más su cuenta de ahorros.
- Distribución del dinero: Es la distribución de función de probabilidades de la cantidad de dinero que poseen agentes en una economía.
- Crecimiento del dinero: La variación de la cantidad total del dinero en una economía de un período a otro.

- Modelos computacionales: Modelos cuya herramienta de análisis fueron modelos programados en computadora, con *software* como NetLogo, Phyton, Starlogo, etc.

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Fuentes

Para la investigación se consideraron tres diferentes tipos de fuentes: artículos académicos sobre el estudio de la distribución del dinero, literatura relacionada con las ciencias de la complejidad, y ejemplos de programación en NetLogo.

2.1.1 Artículos Académicos sobre Distribución del Dinero

2.1.1.1 *Conservación de la Energía de Dragulescu y Yakovenko (2002)*

Adrian Dragulescu y Victor Yakovenko de la Universidad de Maryland proponen en su “Mecánica Estadística del Dinero” una analogía entre la distribución del dinero y la distribución de la energía. Siguiendo la ecuación de *Boltzmann-Gibbs*⁵, la energía se distribuye en un espacio cerrado siguiendo la función:

Ecuación 2

$$P(\varepsilon) = C e^{\frac{-\varepsilon}{T}}$$

donde ε es energía, T es la temperatura del espacio y C es una constante. De la misma manera, el dinero se distribuiría entre la gente considerando que la energía equivale al dinero, y la temperatura al ingreso promedio. La ecuación se reescribiría:

⁵ *Boltzmann-Gibbs* es una ley de distribución estadística que mide los estados de un sistema en física, química y matemáticas. Para el caso de la energía, se mide la función de probabilidades de la distribución de la energía en un espacio cerrado.

Ecuación 3

$$P(m) = e^{-m/T}/T$$

Donde m es dinero y T es el ingreso promedio de los agentes económicos. La cantidad de dinero se conservaría igual que la energía porque cuando dos agentes hacen una transacción, el dinero sólo cambia de manos, mas la suma de sus billeteras no cambia: $m_1 + m_2 = m'_1 + m'_2$.

Sus conclusiones son que el dinero se distribuye siguiendo la ley de *Boltzmann-Gibbs* siempre que se siga la condición de conservación del dinero. Si se rompe la simetría, los resultados del modelo difieren de la distribución *Boltzmann-Gibbs* (A. Dragulescu & Yakovenko, 2000). Para introducir la variable crédito, contabilizan los pasivos de los agentes como dinero negativo con el fin de que la conservación del dinero se siga cumpliendo; y si el agente se declara en banca rota, los pasivos son asumidos por el banco. Según la evidencia empírica que se presenta, la mitad de la riqueza se distribuye efectivamente de la forma *Boltzmann-Gibbs*, mientras la cola sigue una distribución de Pareto o *power-law* (Dragulescu & Yakovenko, 2002).

2.1.1.2 Modelo “Venta de Garaje” de Ispolatov et al. (1998)

Ispolatov, Krapivsky y Redner de la Universidad de Boston aproximan el problema de la distribución del dinero utilizando un esquema de intercambio de activos, mas no de bienes. En él, cuando los agentes adquieren algo lo hacen a cambio de un activo que tiene valor (puede ser dinero). Al final del día tienen en su bolsillo la diferencia entre el valor del activo que entregaron y el que recibieron. De esta manera, si un agente compró un bien cuyo valor es el mismo que el activo por el que lo cambió, entonces el monto de la transacción fue cero.

Plantean dos tipos de transacciones, una aleatoria (“random”) y otra con condiciones codiciosas (“greedy”) (Ispolatov et al., 1998). En el tipo aleatorio, los agentes que están intercambiando activos tienen la misma probabilidad de ganar o de perder. A este modelo se le da el nombre también de venta-de-garaje o *yard-sale model* (Hayes, 2002), puesto que todos los agentes ponen sus productos a disponibilidad, y al final del día se analiza el patrimonio con el que cada uno terminó. En el tipo de intercambio codicioso, el agente con mayor riqueza siempre gana en una transacción. Esto sería como asumir que el agente con mayor riqueza tiene mayor poder de negociación. El resultado para el esquema de transacción aleatoria es una distribución de tipo Gauss, mientras que para el esquema codicioso, el resultado es que al final del día, toda la riqueza se acumula en un solo agente al igual que en el modelo de Chakraborti (véase más adelante) (Ispolatov et al., 1998).

La conclusión de este modelo es que en el modelo aleatorio se llega a un equilibrio con una distribución de campana, mientras que con el tipo de intercambio codicioso la función de la distribución colapsa y se observa la acumulación de la riqueza en un solo agente.

2.1.1.3 *Modelo “El ganador lo toma todo” de Chakraborti (2000)*

Anirban Chakraborti del *Saha Institute of Nuclear Physics* propone una situación similar a la de Dragulescu y Yakovenko (véase más atrás). Plantea asimismo un esquema de conservación del dinero, donde las transacciones de los agentes no alteran la cantidad total y el monto que cada agente posee no puede ser negativo. No introduce el crédito, pero sí incluye al ahorro en sus modelos. Obtiene resultados distintos dependiendo de las reglas que diseña:

Primero representa un esquema de transacciones aleatorias con y sin ahorro. El resultado de la distribución para ambos casos es de tipo *Boltzmann-Gibbs*, al igual que la conclusión del modelo de Dragulescu y Yakovenko (2002) (Chakraborti, 2002).

En segundo lugar presenta un modelo con ahorro. Los agentes tienen una tasa de propensión marginal de ahorro, representada por ' λ ', donde cada iteración guardan esa proporción de su ingreso. La distribución que obtiene es de tipo Gaussiana.

En un último modelo, Chakraborti plantea que los agentes invierten una cantidad mínima de dinero en cada iteración para que participen del intercambio con otros agentes. En el corto plazo, el resultado es un *power-law* con exponente cercano a uno, mientras que en el largo plazo, la función colapsa y el 99% de los agentes llega a tener riqueza cero.

La conclusión del modelo de Chakraborti es que al programar a los agentes para que inviertan una cantidad mínima, toda la riqueza se acumulará eventualmente en un solo individuo. El agente que tiene poco dinero tiene que seguir invirtiendo hasta que su ingreso caiga a cero, por lo tanto dejará de participar del mercado. Entonces, cuando la función tiende a infinito, habrá un ganador que lo tomará todo (Hayes, 2002).

2.1.2 Literatura sobre Ciencias de la Complejidad

Las ciencias de la complejidad analizan sistemas interconectados a partir del comportamiento de unidades con reglas de funcionamiento relativamente simples, pero que al ser agregadas generan características y fenómenos altamente complejos. (Mitchell, 2011). En este tipo de sistemas son difíciles de aproximar mediante las teorías reduccionistas clásicas, porque su desagregación no explica la conducta del todo. Ejemplos de sistemas complejos son: las conexiones neuronales del cerebro, una colonia de termitas, el clima, el sistema nervioso, el mercado de valores, la evolución de una especie, y por supuesto también la economía:

Las economías son sistemas complejos en donde los componentes “simples y microscópicos” son la gente (o compañías) que compra y vende bienes, y el comportamiento colectivo es el comportamiento complejo y difícil de predecir de los mercados (Mitchell, 2011)⁶.

En el caso de la distribución de dinero, los componentes “simples” serían las personas que quieren intercambio de bienes y servicios haciendo uso de su dinero, y cuando no lo tienen, acceden a un banco por créditos. El resultado colectivo de estas interacciones es la distribución de dinero. Este se mide a través de una distribución de probabilidad del dinero que posee cada persona.

De esta manera, se utiliza el enfoque de los sistemas complejos para tratar el tema de la estadística del dinero. Sin este tipo de enfoque, sería más difícil plantear y entender el problema. Se puede entender los procedimientos que hacen a una persona intercambiar su dinero, pero al agregar este comportamiento se vuelve complejo.

2.1.3 Ejemplos de Programación en NetLogo

2.1.3.1 Modelo de Distribución de la Riqueza

Wilensky (1998b) representa un mundo donde se cumple la ley de Pareto. Este mundo está dividido en coordenadas donde crece grano con una cierta capacidad de regeneración. Estos granos son cosechados y acumulados por la gente en el modelo, que deambula buscando los mejores granos para cosechar. La riqueza de la gente está medida en la cantidad de granos que tiene acumulada. En cada iteración, las personas pueden cosechar, consumir y acumular el grano. Al final de cada período, se obtiene

⁶ Traducción al español.

una distribución de la posesión del grano. Considerando que inicialmente todos tienen la misma riqueza, el resultado es que la distribución termina siempre desigual.

Se concluye que independientemente de los parámetros que se establezca para el modelo, siempre habrá desigualdad. Utiliza histogramas y gráficos sobre desigualdad para mostrar su hipótesis. (Wilensky, 1998b).

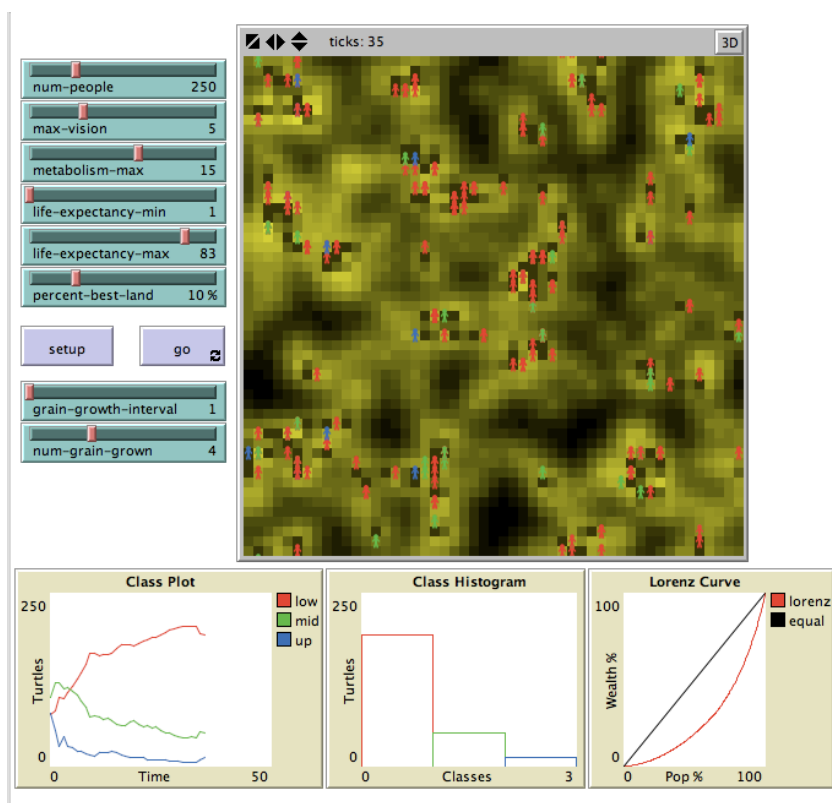


Figura 1: Modelo Distribución de Riqueza (Wilensky, 1998b)

2.1.3.2 Flujo de Efectivo

Es un modelo que analiza la relación entre porcentaje de reserva de los bancos y la cantidad de dinero. También estudia la posesión de dinero de cada uno de los agentes. Define la cantidad de dinero que tiene una persona como la sustracción entre ahorros y préstamos de la gente.

Los agentes se reparten aleatoriamente en el espacio e intercambian unos con otros al encontrarse en el mismo lugar. En el modelo hay un único banco que retiene los

depósitos de toda gente, y, tomando en cuenta el porcentaje de reserva que tiene que mantener, presta a las personas que necesitan dinero. Así por ejemplo, a un nivel de reserva del 100%, no existen préstamos para la gente; y a un nivel de reserva r tal que $0 < r < 1$, la cantidad de dinero se multiplica.

Al final de cada período se mide la distribución, y se concluye que existe una estrecha relación entre el porcentaje de reserva, la cantidad total del dinero, y la distribución del dinero que posee cada agente. Con un nivel de reserva de 100% la distribución tiene una forma exponencial, mientras que a un nivel de reserva común la distribución tiene forma más parecida a la de campana (Wilensky, 1998a).

En conclusión se determina que la cantidad de dinero en una economía cambia en relación a la proporción de reserva de los bancos, multiplicando la cantidad inicial de dinero por $1/r$. La distribución del dinero también se altera con un cambio en r , pero sus conclusiones no son discutidas a profundidad, pues el autor categoriza al modelo como no-verificado (Wilensky, 1998a).

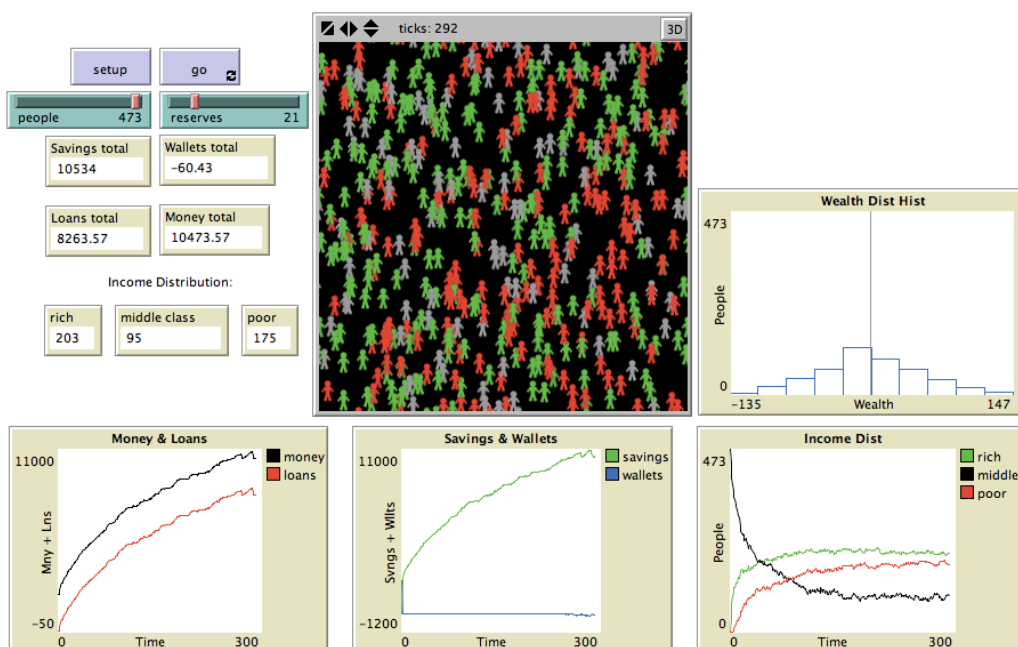


Figura 2: Modelo Distribución de Efectivo (Wilesky, 1998a)

3 METODOLOGÍA

La herramienta para la elaboración del modelo es el *software* NetLogo. Este programa permite modelar sistemas complejos y exportar datos para su posterior análisis. La metodología que se usa para el presente estudio es cuantitativa, porque a través de experimentos, se obtiene información medible y cuantificable, que se ajusta a funciones matemáticas, se analiza estadísticamente y se compara a otras series de datos. Al final, se deducen las implicaciones económicas de los resultados.

3.1 Justificación de la metodología seleccionada

La distribución de dinero es un fenómeno difícil de medir. Implica conocer los movimientos de las cuentas de cada una de las personas en un sistema: cuando compran, venden, retiran de sus ahorros, o adquieren un préstamo. Una observación empírica de este fenómeno implicaría tener información de cuentas privadas, préstamos y compras de la gente, lo cual no sólo es ilegal, sino también difícil de recolectar. Afortunadamente, hoy en día tenemos la herramienta de la modelación computacional que hace que modelemos el comportamiento de agentes sin necesidad de acceder a información ilícita. Basta con programar reglas de funcionamiento para cada agente, y medir los resultados.

3.2 Herramienta de Modelación: NetLogo

El software NetLogo (Wilensky, 1999) “es un lenguaje de programación multi-agentes y un ambiente de programación para la simulación de fenómenos complejos. Está diseñado tanto para la investigación como para la educación”⁷ (Tisue & Wilensky, 2004). Además se utiliza en una amplia gama de disciplinas, como genética, física,

⁷ Traducción al español.

química y biología. También en sociología, epidemiología y economía. Es muy útil para representar fenómenos complejos naturales y sociales. Su utilidad es ampliamente reconocida.

El software funciona de la siguiente manera: Una serie de agentes llamadas “tortugas” interactúan en un espacio delimitado por coordenadas denominadas “parches”. Las tortugas y los parches actúan individualmente según los parámetros asignados por el programador. Actúan de forma autónoma y concurrente, mientras el espectador observa los cambios y monitorea los resultados.

Existen comandos predefinidos con los cuales las tortugas y los parches trabajan. Por ejemplo, se ordena a una tortuga que se mueva a un parche contiguo, o se pide a un conjunto de parches que se pinten de un determinado color. Luego vienen los procedimientos, que son operaciones más complicadas, como: si no hay otras tortugas en el espacio contiguo, trasladarse hacia él; o también, si una tortuga pasa por este parche, pintarse de color azul. Finalmente se pueden medir los comandos y procedimientos realizados, para obtener datos que se puedan utilizar en el análisis.

Adicionalmente, se pueden fijar variables a las tortugas, parches, al espacio del modelo, y a otros agentes. Por ejemplo, se puede establecer en un modelo, un porcentaje de personas con una determinada característica (digamos, una enfermedad). También se puede asignar la capacidad de difusión de esta propiedad hacia otros agentes, y la capacidad de resistencia de los agentes a la misma. El resultado puede convertirse en el estudio de la distribución de una enfermedad en una población definida.

NetLogo es una herramienta útil para aproximar fenómenos complejos puesto que permite agregar una serie de comandos y procedimientos que son simples en principio, pero que al ser ejecutados por una serie de agentes de forma concurrente y autónoma, los resultados pueden asemejarse mucho a los de la realidad. Por esta razón,

se ha escogido este instrumento para aproximar el problema de la distribución del dinero.

3.3 Descripción metodológica del modelo

A continuación se explicarán las reglas y procedimientos que fueron utilizados para realizar la modelación de la distribución del dinero en la población, utilizando las variables que fueron explicadas en el problema de la investigación (véase sección 1.2).

3.3.1 Base de la Programación del Modelo

En el modelo propuesto, las tortugas o agentes se dividen en personas y bancos. Las personas son agentes que intercambian bienes, ahorran dinero y solicitan créditos. Representan unidades productivas capaces crear y consumir bienes y servicios. Por ejemplo, una persona puede ser una empresa que vende bienes y adquiere servicios de sus proveedores; o puede ser un hombre asalariado que ofrece su fuerza de trabajo y adquiere bienes de consumo. Los bancos en cambio son agentes que participan en el modelo captando los saldos positivos de las personas y redistribuyéndolos a quienes necesitan en forma de créditos. Las personas escogen un banco en el que tienen su cuenta de depósitos, y un banco (que puede ser el mismo) al que solicitan créditos. Esta distinción se hace con el fin de denotar si existe alguna diferencia entre tener un modelo con un solo banco o con varios bancos.

Todas las personas inician con la misma cantidad de dinero. Una vez que inicia el conteo de iteraciones, las personas se desplazan por el espacio buscando vender y adquirir bienes (suponiendo que todas las tortugas tienen algo que comprar, y algo que ofrecer). Cada vez que un agente se encuentra con otro en el mismo parche, se realiza un intercambio. Aleatoriamente, una de las tortugas se vuelve el “vendedor”, y automáticamente la otra se vuelve el “comprador”. Se acuerda un monto de transacción (un pequeño porcentaje de la cantidad total de dinero en la población) y la transferencia

de dinero se efectúa. Se contabiliza solamente el intercambio de dinero, mas no la adquisición del bien.

Cada vez que se realiza un intercambio, las personas verifican el saldo en su billetera. Si este saldo es positivo, depositan en su cuenta de ahorros. Si es negativo, y el saldo de su cuenta es positivo, retiran dinero de su cuenta. Si el saldo es negativo y no tienen ahorros suficientes para cubrir su déficit, piden un préstamo al banco.

Los bancos funcionan de la siguiente manera: cada banco recibe los depósitos de sus clientes; verifican el nivel de reserva que deben mantener en su bóveda y lo guardan; ofrecen el resto a su público en préstamos. Después cobran los préstamos que fueron otorgados. Si no tienen el dinero suficiente para dar un crédito, el banco cierra sus operaciones hasta recobrar los créditos, y luego sigue normalmente con sus actividades.

Existen algunos parámetros que pueden ser alterados por el observador antes y después de ejecutado el modelo. Uno de ellos es cambiar el porcentaje de reserva que mantienen los bancos. De esta manera, controla la cantidad de dinero en la economía (a menor porcentaje de reserva, mayor la cantidad de dinero en la economía). También puede alterar la cantidad de personas en el modelo, la cantidad de bancos, la suma inicial con la que los agentes empiezan el modelo, que tienen de dinero y el número de bancos en el sistema.

3.3.2 Variaciones para la primera hipótesis

Para la primera hipótesis, se modela una réplica del modelo de Dragulescu y Yakovenko (2000) en base a las especificaciones de este artículo. La cantidad de dinero se mantiene constante en todos los períodos, los agentes se agrupan de dos en dos en cada iteración para intercambiar, y existe un solo banco en el modelo.

Después se toma la programación del nuevo modelo y se realizan experimentos con los mismos parámetros para estudiar las variaciones. El principal cambio es agregar crédito en un esquema de no conservación de la cantidad de dinero.

3.3.3 Variaciones para la segunda hipótesis

Para la segunda hipótesis se utiliza una variación del modelo de Wilensky (1998a). El cambio que se hace es aumentar la cantidad de bancos para analizar de mejor manera el crecimiento del dinero. Luego se toma al nuevo modelo y se compara resultados con los mismos parámetros.

3.3.4 Variaciones para la tercera hipótesis

La variación que se hace en el análisis de la tercera hipótesis es asignar a un segmento de la población para que al encontrarse con otros agentes, tenga mayores posibilidades de vender y por lo tanto ganar más dinero que otros. Es un esquema un tanto similar a las transacciones codiciosas de Ispolatov et al. (1998). Al final, se compara con otros modelos la distribución que tiene dado el cambio propuesto.

3.4 Supuestos del Modelo

Los supuestos intentan reducir la complejidad de modelar el comportamiento del dinero, intentando no alejarse de la realidad económica para obtener resultados creíbles. Se asume que los montos de las transacciones reflejan el precio de un bien cualquiera, y que los préstamos se solicitan sólo cuando el agente tiene un saldo negativo en su billetera y en sus ahorros.

3.5 Recolección de datos

NetLogo dispone de una herramienta de análisis de comportamiento que permite generar datos de los modelos que ya fueron programados. Esto hace posible la medición, observación y comparación de los modelos que han sido programados.

Gracias a esta herramienta se puede observar tendencias, ajustar ecuaciones, realizar cambios en las variables para comprobar que la programación fue bien hecha, y demostrar que los resultados son coherentes. Adicionalmente se puede comparar con los resultados de otros modelos y sacar conclusiones.

Las variables que se van a medir en los experimentos son: dinero en posesión de los agentes para realizar una distribución estadística, distribución de activos de las personas, cantidad total de dinero en cada iteración y diferentes ingresos de los distintos segmentos de la población.

4 ANÁLISIS DE DATOS

4.1 Hipótesis Uno: La Variable Crédito

Se comparan dos distribuciones cuya principal diferencia es si incluye o no la variable crédito. Se analizan dos de los varios experimentos que fueron ejecutados, porque el resto muestra resultados similares. La primera distribución a examinar es la réplica del modelo de Dragulescu & Yakovenko (2000); la segunda es una variación a este modelo que incluye al crédito y rompe con la conservación del dinero en la economía. Al final se demuestra que en ambos casos la función se ajusta gráficamente a a función *Boltzmann-Gibbs*, pero que los tests de similitud apuntan a lo contrario.

En los gráficos subsiguientes se puede observar los resultados del modelo de la reproducción de Dragulescu. En la Figura 3 se observa el histograma de la distribución con los siguientes parámetros: número de iteraciones $t = 4 * 10^4$, ingreso inicial de los agentes $m_0 = 1,000$ (representado en la línea negra que cruza la gráfica), número de agentes $N = 500$. La cantidad de dinero total durante todo el modelo es de $M = 500 * 10.000 = 5 * 10^5$. En la Figura 4 se observa la curva de Lorenz para medir la desigualdad de la distribución, que tiene un coeficiente de Gini de 0,7 donde valores más cercanos a cero significan menor desigualdad.

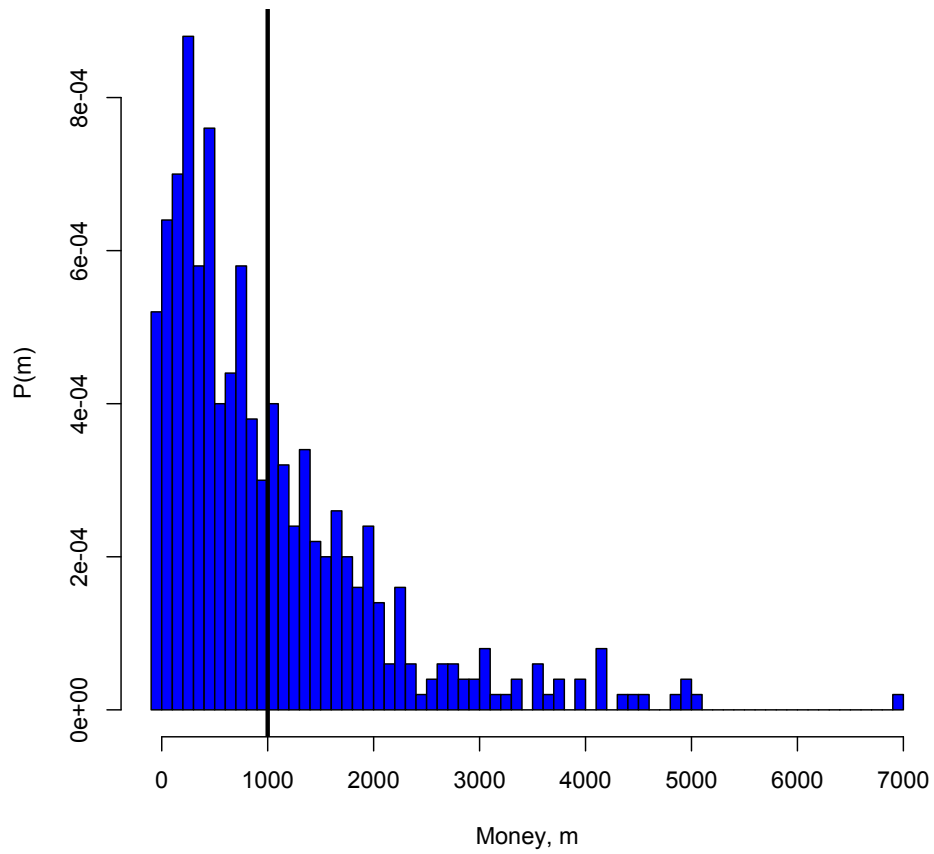


Figura 3: Histograma. Réplica de modelo de Dragulescu & Yakovenko (2002)
 $N = 500$; $t = 4 \cdot 10^4$; $M = 5 \cdot 10^5$
 Elaboración: Autor

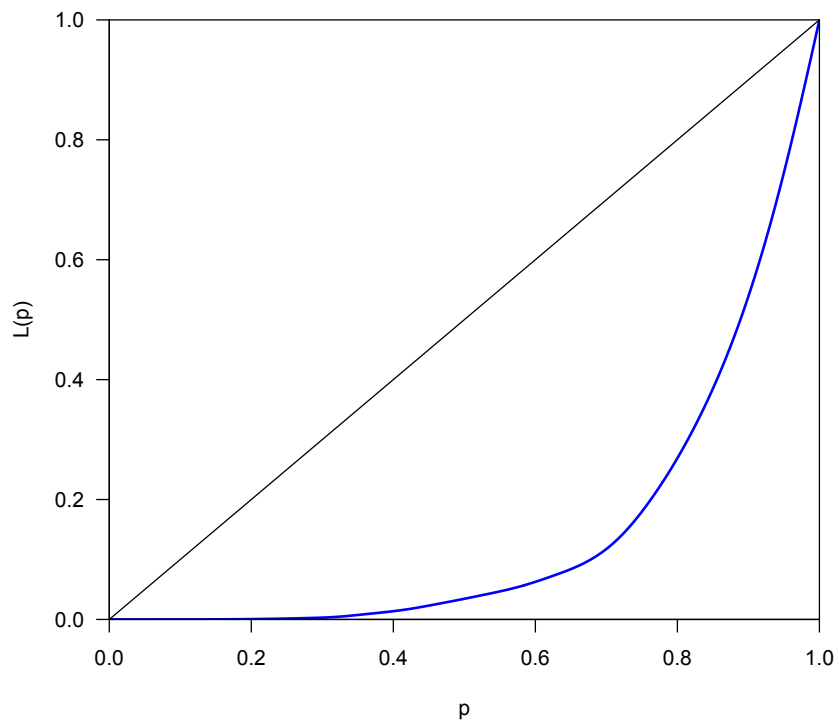


Figura 4: Curva de Lorenz. Réplica de modelo de Dragulescu & Yakovenko (2002)
 Elaboración: autor

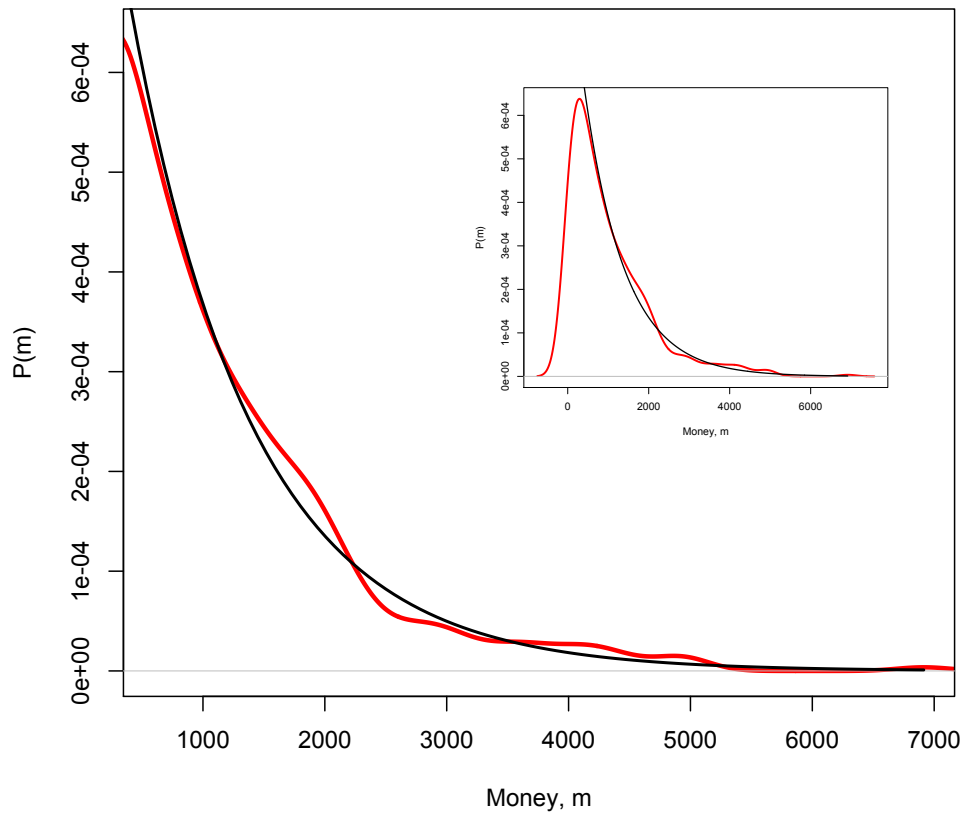


Figura 5: Distribución ajustada; Modelo réplica de Dragulescu Yakovenko (2000)
Línea roja: distribución del modelo; línea negra: Boltzmann-Gibbs.
Elaboración: autor

En la Figura 5 se observa una parte de la misma distribución (en el recuadro interno se observa la distribución completa con valores negativos) ajustada a la ecuación *Boltzmann-Gibbs*. La ecuación es la siguiente :

Ecuación 4

$$P(m) = C * e^{\frac{-m}{1.000}}$$

Donde 1,000 es el valor que toma el ingreso promedio T_m y $C = 1/1.000$. Se excluye valores negativos para poder ajustar a la función exponencial. Estos valores son consecuencia de la regla del modelo que hace que los agentes intercambien un porcentaje del total de ingresos de todos los agentes del modelo. Su exclusión no altera los resultados del modelo.

Para probar que la distribución se ajusta efectivamente a la ecuación, se realiza un test Kolmogorov-Smirnov, bajo la hipótesis nula de que los datos que arroja el

modelo provienen o se ajustan a la ecuación *Boltzmann-Gibbs*. Si el valor p del test es lo suficientemente bajo, se rechaza esta hipótesis. Los resultados fueron:

| | |
|---|--------------------|
| Prueba Kolmogorov-Smirnov | |
| D = 0.1738 | Valor p = 4.59e-07 |
| Hipótesis alternativa: valores independientes | |

Tabla 1: Prueba Kolmogorov Smirnov. Modelo Dragulescu-Yakovenko

Se concluye que los datos no están relacionados entre sí, puesto que el valor p se ubica dentro de un nivel de significancia (menor al 1%). Finalmente, para corroborar el test se elabora una gráfica de Quantile-Quantile (Figura 6) para comparar los datos de la distribución con los puntos de la ecuación. La línea punteada azul contiene la distribución Q-Q, y la línea negra es una recta de 45° a la que se deberían ajustar los datos.

Ahora se analiza la distribución del nuevo modelo, en la cual se permite que el saldo de los agentes sea temporalmente negativo, rompiendo la conservación del dinero y abriendo oportunidad al crédito. El histograma de la distribución se observa en la Figura 7:

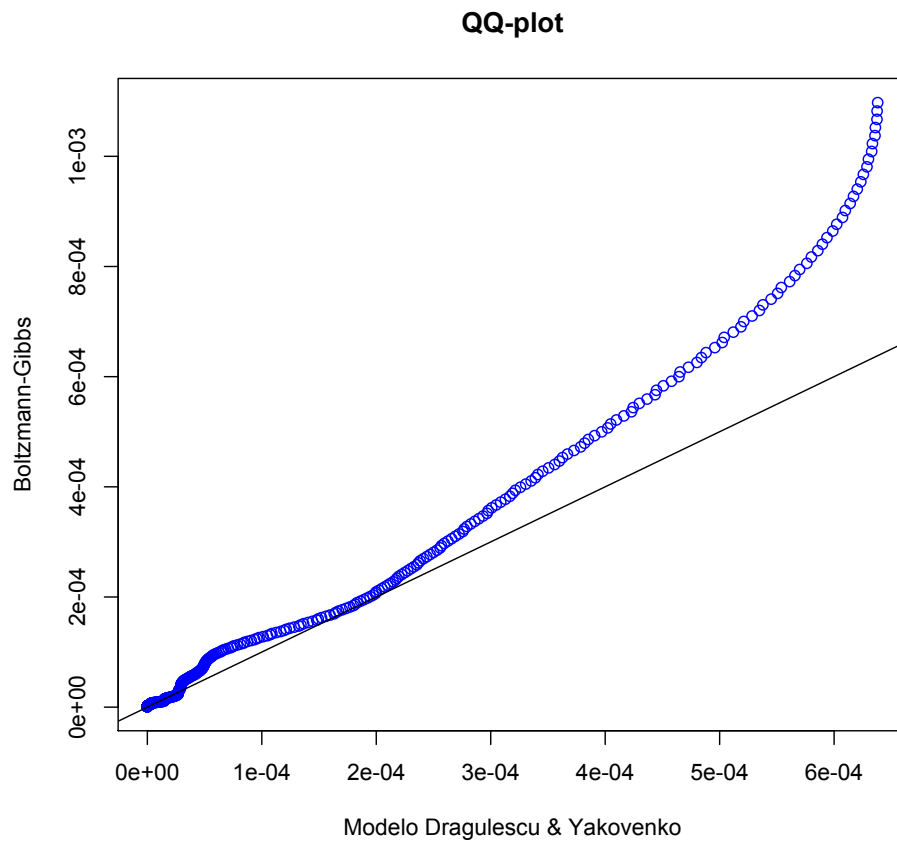


Figura 6: Gráfico Q-Q de Dragulescu y Yakovenko
 Elaboración: autor

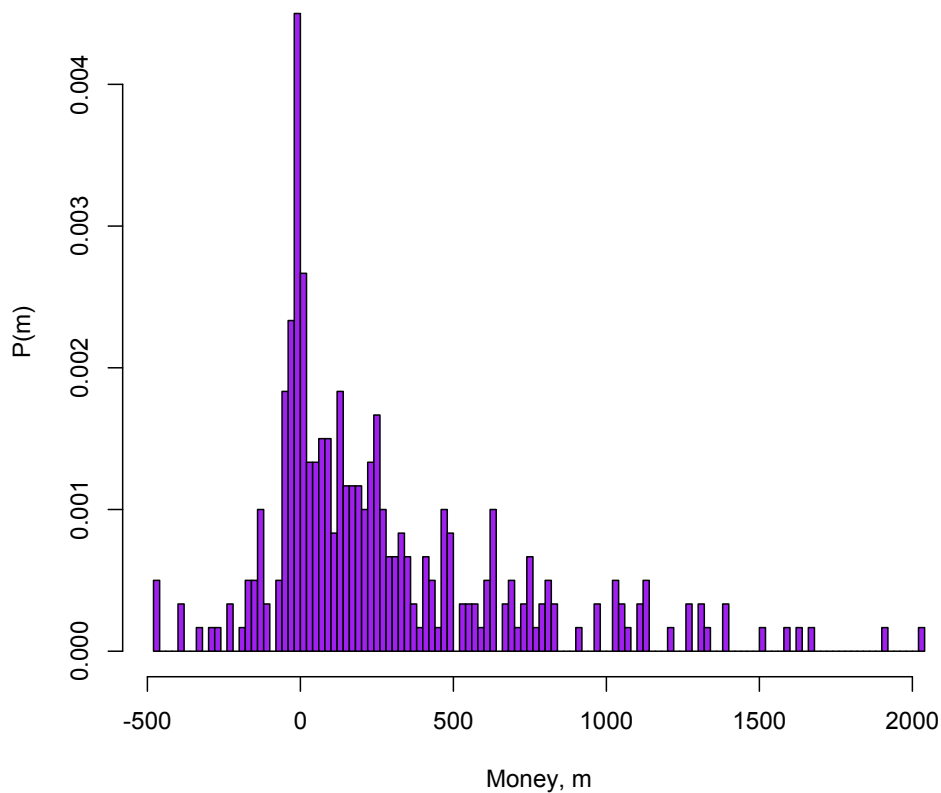


Figura 7: Histograma. Modelo con crédito
 $N = 300$; $t = 4 \cdot 10^4$; $M\text{-inicial} = 300 \cdot 10$
 Elaboración: autor

Se puede apreciar que a diferencia de la anterior, en esta distribución hay más saldos negativos. Esto es porque se permite un esquema de este tipo para que funcione el crédito. También se observa que los picos de población con ingresos muy bajos son menos frecuentes. Esto quiere decir que hay menos probabilidad de que una persona tenga bajos ingresos que en el modelo sin crédito. Efectivamente, el coeficiente de Gini de esta distribución es menor a la anterior, con 0,61. En la Figura 8 se puede observar la curva de Lorenz de esta distribución, que muestra menos desigualdad que el modelo de réplica anterior.

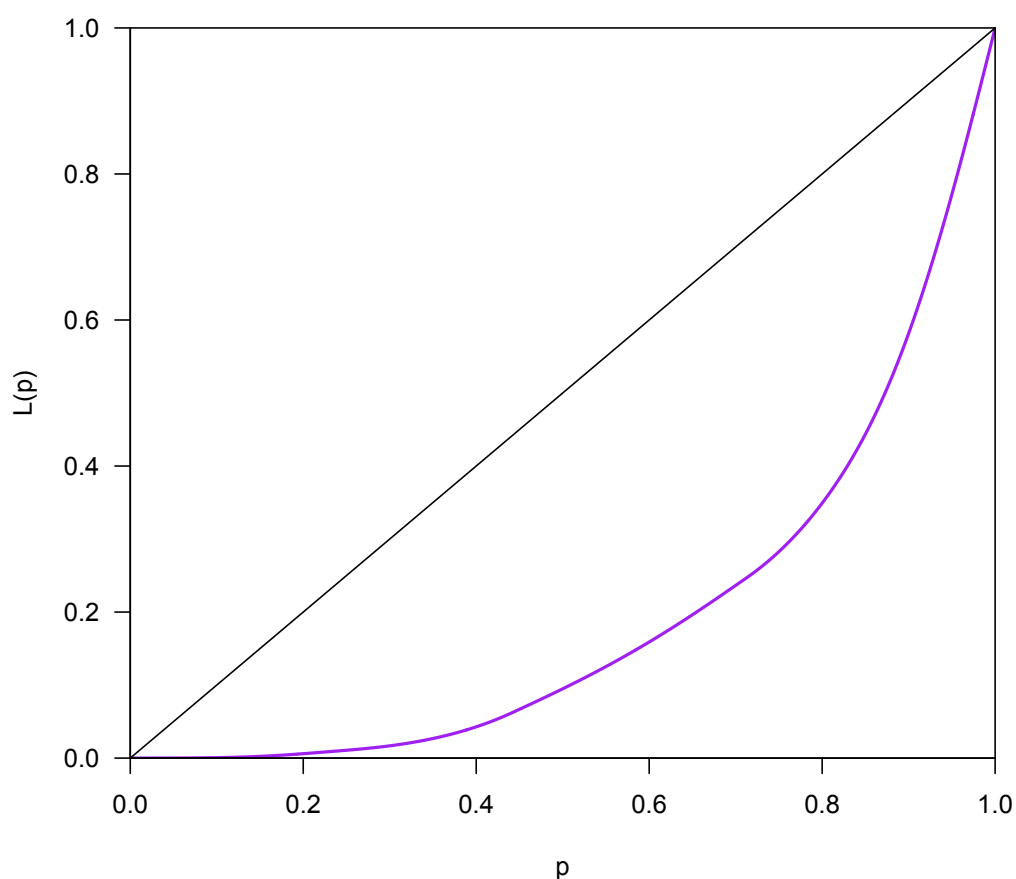


Figura 8: Curva de Lorenz. Modelo con crédito
Elaboración: Autor

Ahora se ajusta la distribución a una función exponencial. Lo primero que se puede notar del gráfico es que la distribución se ajusta con menor precisión que en el caso anterior. Además al haber más datos negativos, es menos probable ajustar a una distribución exponencial.

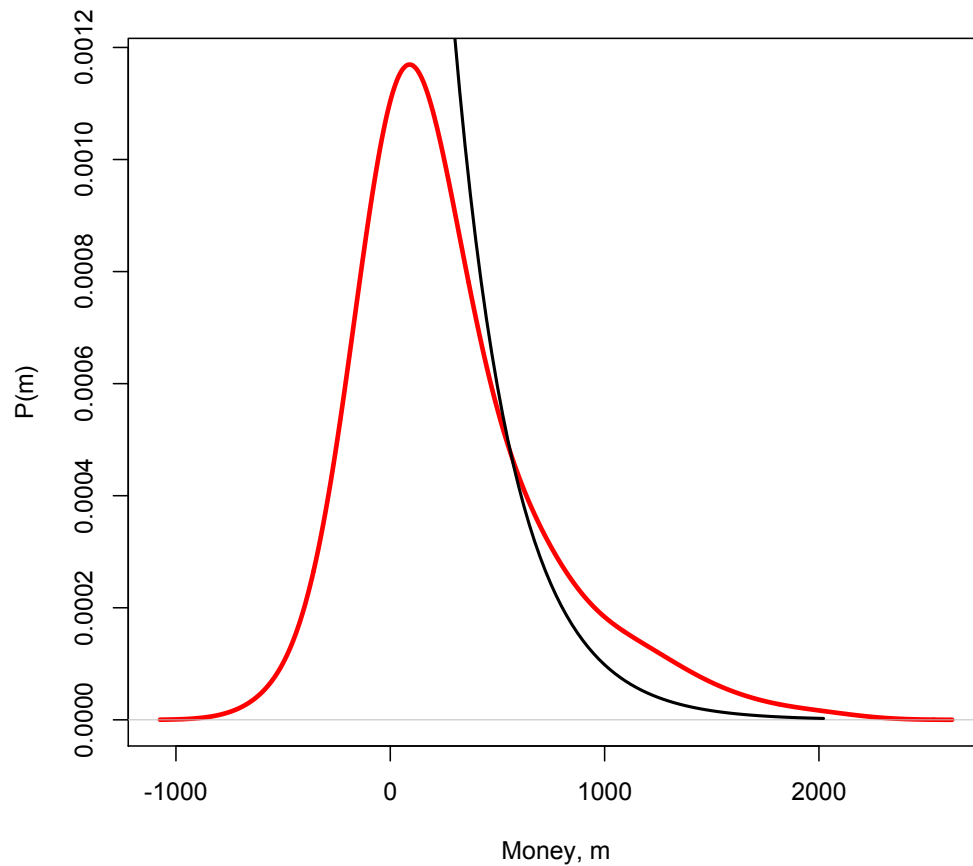


Figura 9: Modelo con crédito ajustado a ecuación Boltzmann-Gibbs.
 Línea roja: distribución dinero; línea negra: función B-G.
 Elaboración: autor

El test Kolmogorov-Smirnov y la gráfica Quantile-Quantile arrojaron los siguientes resultados:

| | |
|---|---------------------|
| Prueba Kolmogorov-Smirnov | |
| D = 0.3914 | Valor p = 1.192e-11 |
| Hipótesis alternativa: valores independientes | |

Tabla 2: Test Kolmogorov-Smirnov para modelo con crédito.

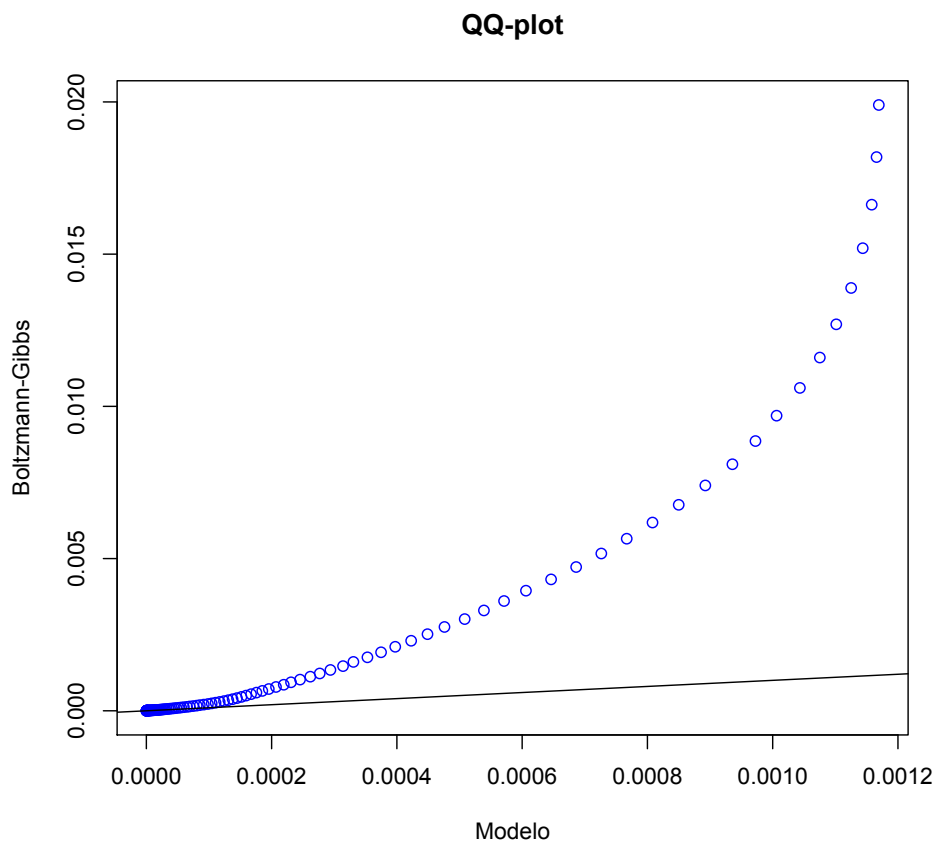


Figura 10: Gráfica Q-Q. Modelo con crédito
 Elaboración: autor

Como conclusión de la primera hipótesis podemos decir que ninguno de los dos modelos se ajusta con precisión a la ecuación de distribución de la energía de *Boltzmann-Gibbs*, con y sin conservación del dinero. Además, la desigualdad medida en la distribución del modelo sin crédito es más alta que cuando este se agrega. Esto quiere decir que efectivamente los préstamos redistribuyen la riqueza como se esperaba, al llevar el dinero de quienes tienen saldos positivos en su cuenta, a quienes tienen déficit en ellas.

4.2 Hipótesis Dos: Efecto multiplicador del dinero

En el modelo de Wilensky (1998a), el dinero crece a una tasa decreciente, llegando hasta un umbral a partir del cual el dinero se mantiene constante. El umbral de este crecimiento está determinado por la ecuación:

Ecuación 5

$$M_{\hat{t}} = \frac{M_0}{r}$$

Que quiere decir que en el tiempo \hat{t} donde el crecimiento de dinero ha llegado a su punto máximo, la suma de dinero es igual al monto inicial de dinero multiplicado por la razón $1/r$, donde r es la reserva que tienen que mantener los bancos. Esto se da gracias al efecto multiplicador del dinero, donde los bancos redistribuyen el dinero al otorgar préstamos, y que eventualmente vuelven a las cajas de los bancos para ser otorgadas en préstamo y volver a redistribuir el dinero (Federal Reserve Bank of Chicago, 1994).

Al comparar el efecto del multiplicador en el modelo de Wilensky (1998a) con el que se propone en este estudio, los patrones muy distintos. En la Figura 11 se puede apreciar esta diferencia. Aún cuando ambos modelos empiezan con la misma cantidad de dinero, tienen la misma cantidad de personas, igual razón de reserva en los bancos, y el mismo número de iteraciones; los resultados son increíblemente distintos. Mientras la curva del modelo de Wilensky llega pronto a una curva con pendiente nula, el modelo propuesto tiene un crecimiento explosivo, que no se estabiliza ni siquiera en la iteración $t = 4 * 10^4$.

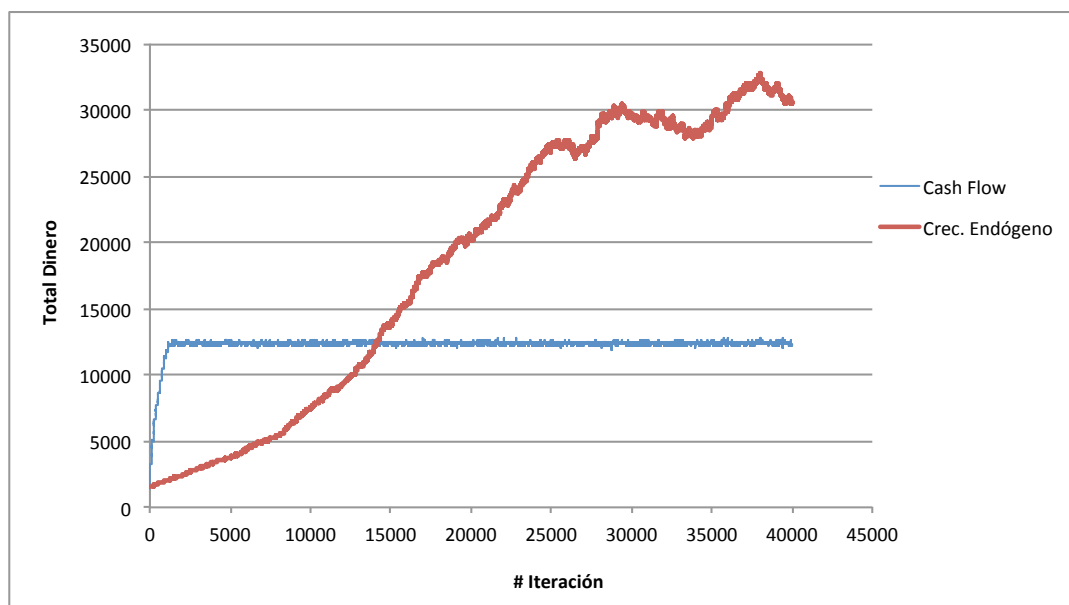


Figura 11: Cantidad total de dinero. Modelo Flujo de Efectivo vs. Modelo con crédito.
 $N=300$; $t=4 \cdot 10^4$; $M=1.440 \cdot 300$
 Elaboración : Autor

Para calcular el crecimiento, utilizamos la suma total del dinero en $t = 0$, y restamos de $\hat{t} = 4 \cdot 10^4$, como se puede observar en la siguiente tabla:

| | Flujo de Efectivo de Wilensky (1998a) | Modelo propuesto |
|---------------|---------------------------------------|------------------|
| M_0 | 1.440 | 1.440 |
| $M_{\hat{t}}$ | 12.286,89 | 30.572,62 |
| ΔM | 10.846,89 | 29.132,62 |

Tabla 3: Comparación crecimiento de dinero Wilensky vs. Modelo propuesto

Al parecer nuestro modelo está proponiendo un nuevo análisis sobre la tasa de crecimiento de dinero. A diferencia de Wilensky, el dinero en el nuevo modelo crece a una tasa 1.67 veces mayor. Asumiendo que no se ha cometido fallas en la programación, se puede decir que el nuevo modelo captura un efecto multiplicador que no es asimilado por el anterior. Esto puede deberse a que las personas están generando

crecimiento a través de sus transacciones, y que los bancos no son los únicos que pueden multiplicar a través de sus operaciones la cantidad de dinero.

Con este resultado en la tasa de crecimiento de dinero, existen nuevas consideraciones en cuanto a la política monetaria. Los experimentos han demostrado que ante un pequeño cambio en la tasa de reserva, el cambio en la cantidad total del dinero puede ser muy grande. Los gobiernos centrales muchas veces toman medidas de expansión y contracción de la masa monetaria para ajustar variables reales del mercado. El problema con esta medida es que los gobiernos no siempre tendrán control sobre la cantidad de dinero que están creando, porque al parecer el crecimiento de dinero tiene características de un sistema caótico complejo, donde la alteración de una pequeña variable puede provocar un cambio muy grande en el sistema (Mitchell, 2006).

4.3 Hipótesis 3: Inequidad

Se debe diferenciar entre los términos desigualdad e inequidad. La conclusión de la primera hipótesis fue que la distribución que incluye crédito tiene una desigualdad (que se mide a través del índice de Gini) menor a la que no la incluye. Eso implica que en una sociedad donde se permite el crédito, la desigualdad es más baja. Sin embargo la inequidad considera las diferencias sociales que puede haber entre los agentes. Se asume que todos tienen la misma probabilidad de adquirir un crédito y de realizar una venta. A continuación se analiza la situación en que un grupo de agentes tiene más probabilidades de vender que otros, representando así las condiciones desiguales del mercado.

Mostramos en un gráfico la diferencia entre un modelo que incluye la variable inequidad, y la distribución del modelo de la primera hipótesis. Lo que se observa es una diferencia crucial muy notoria en cuanto a la dispersión del gráfico. A pesar de

tener los mismos parámetros a excepción de la variable inequidad, el modelo de la hipótesis uno muestra un rango de datos entre -40 y 140, mientras en el modelo dos hay una gran dispersión, entre -2.000 y 16.000. El hecho que determinemos que un grupo de la población tenga mejores posibilidades de vender que otras personas marca una diferencia significativa en el rango de datos.

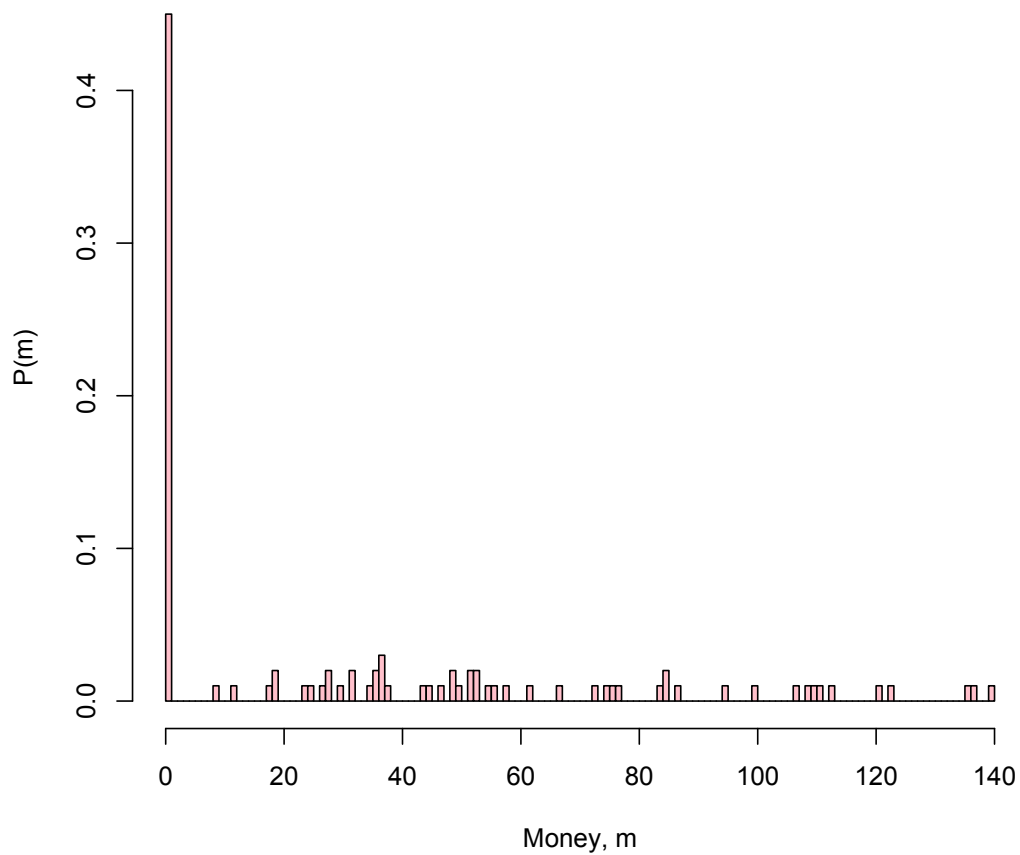


Figura 12: Histograma. Modelo con crédito, sin variable inequidad
 $N=100$, $M=15 \cdot 10^2$, $t=10 \cdot 10^4$
 Elaboración: Autor

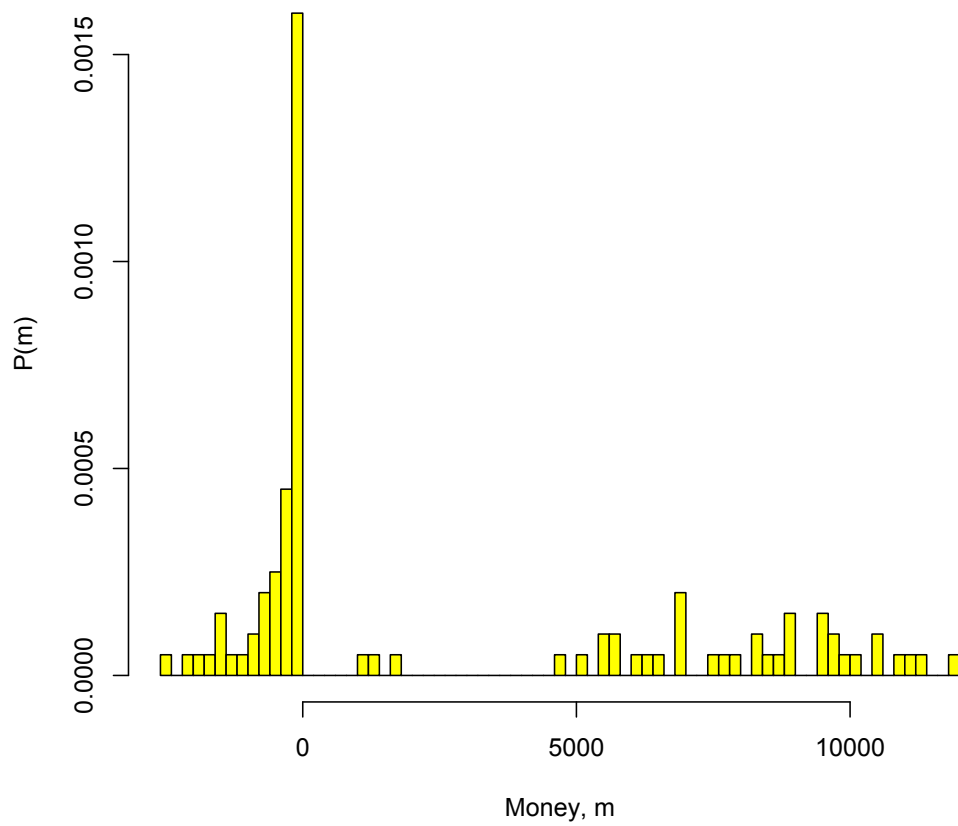


Figura 13: Histograma. Modelo con variables crédito e inequidad
 $N=100$; $M=15 \cdot 100$; $t=10 \cdot 10^4$
 Elaboración: autor

Debido al parámetro de inequidad que se crea, se puede esperar que la distribución que arroja el modelo también sea desigual. Si analizamos los modelos con el coeficiente de Gini y la Curva de Lorenz, tenemos los siguientes resultados:

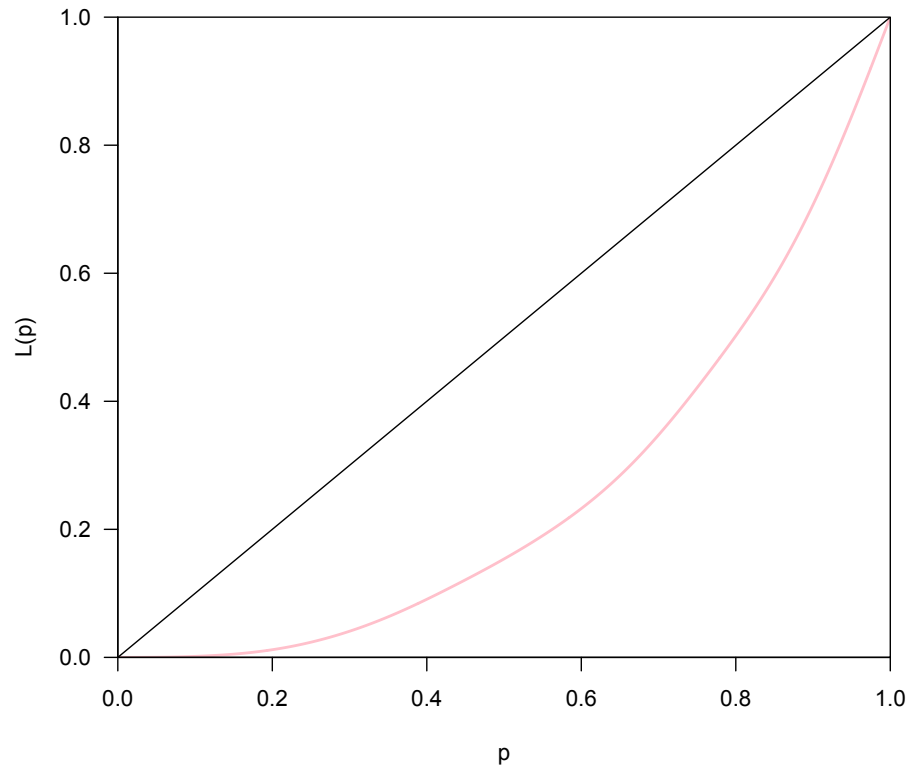


Figura 14: Curva de Lorenz. Modelo con crédito, sin variable inequidad

Elaboración: autor

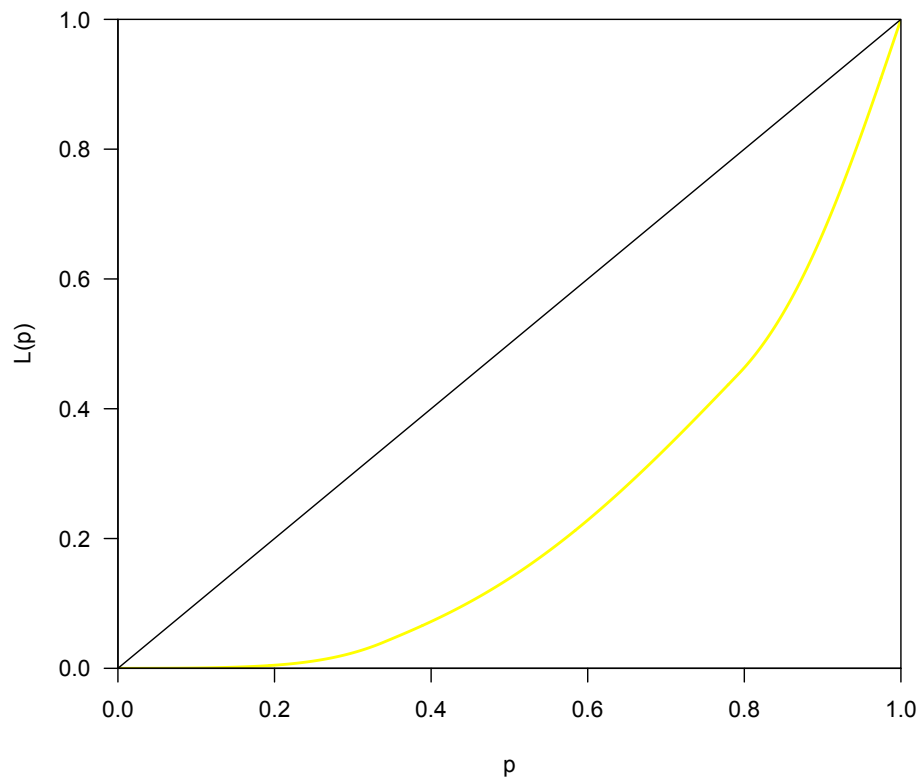


Figura 15: Curva de Lorenz. Modelo con variables crédito e inequidad

Elaboración: autor

El coeficiente de Gini para el primer gráfico es de 0.49, mientras que para el segundo es 0.52. Eso quiere decir que la diferencia no es significativa en términos de desigualdad, dado la diferencia de rangos que ambas tienen. A pesar de que en el segundo modelo hay personas con ingresos mucho más altos, estos no están mal distribuidos. Si se toma en cuenta que el promedio de ingreso para la primera distribución es \$69, mientras que para la segunda es \$4.700, la situación es mucho mejor para la población del segundo modelo, dado que el ingreso está bien distribuido.

Se hubiera esperado que al agregar la variable de inequidad, el coeficiente de Gini aumente significativamente. Pero esto no sucedió, debido al efecto que produce el crédito, que hace que el dinero se distribuya de las personas que tienen más ingreso a quienes necesitan de fondos. Bajo estos parámetros, todo el modelo crece, el nivel económico en general de los agentes aumenta; aún cuando se haya modelado a que sólo un grupo tenga más oportunidades de ganar riqueza que el resto.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Respuesta a la pregunta de investigación

Se ha respondido cuáles son los cambios en la distribución del dinero una vez que se ejecutan modelos con agentes computacionales en los que se incluyan las variables: crédito, efecto multiplicador del dinero e inequidad social.

En primer lugar, al incluir el crédito, la distribución de dinero se expande. También se observa que bajo esta condición hay menor desigualdad, debido a que los bancos cumplen con la misión de adquirir fondos de quienes tienen un excedente, y prestar a quienes lo necesitan. Este genera un efecto redistributivo, lo cual hace que se

tenga distribución más equitativa. Además se observa que ninguna de las distribuciones se ajusta a la ecuación de distribución de la energía *Boltzmann-Gibbs*.

En segundo lugar, con el efecto multiplicador del dinero se observó que el dinero crece mucho más que modelos anteriores. Esto se debe al efecto de recirculación del dinero que producen los agentes al intercambiar y depositar dinero que fue adquirido en préstamo. La cantidad de dinero aumentó en mucho más del umbral hasta el cual se supone debería crecer el dinero ($1/r$).

Y en tercer lugar, la variable inequidad genera un rango de ingresos muy amplio, con agentes que tienen ingresos muy altos. Se esperaba tener una distribución de ingresos mucho más desigual, sin embargo lo que se encontró fue que al incrementar el ingreso de un porcentaje de agentes, el resto de la población se benefició de este cambio. El dinero se redistribuye a través del flujo de intercambios y del servicio que ofrecen los bancos. El resultado fue una población con un mismo porcentaje de desigualdad, pero con ingresos mucho más altos.

5.2 Implicaciones y Recomendaciones de Política Monetaria

Con la respuesta a la hipótesis que al incluir crédito y bancos en el modelo la distribución del dinero se hace menos desigual, el interés de los gobiernos estará en promover más el crédito para que la distribución de ingreso en su población. No obstante, el modelo fue realizado en base a las funciones individuales de personas y de los bancos que toman decisiones acerca de sus créditos, ahorros e intercambio. El papel que juega el Estado en este modelo es exclusivamente decidir el nivel de reserva de los bancos.

Ampliando más el análisis, Lastrapes, White, & Selgin (2012), recomendaron observar que las medidas gubernamentales que buscan aplicar el crédito con el fin de que la economía crezca, puede ser peligroso e incluso puede desembocar en una crisis.

Si los gobiernos empujan a que haya crédito por encima de la función de riesgo que manejan los bancos, entonces se corre el riesgo de que los mercados sean ineficientes, y peor aún que el sistema quiebre.

Con respecto al efecto multiplicador del dinero, hay cosas importantes que se puede considerar. Si en efecto el dinero crece en la manera que predice este modelo, entonces un cambio en la reserva puede en ciertos momentos provocar un crecimiento (o depresión) explosivo de la cantidad de dinero. Esto se relaciona a la teoría del caos, según la cual cambios pequeños en ciertas variables puede provocar grandes alteraciones a lo largo del tiempo. Esto significa que los gobiernos deben tomar con mucho cuidado la política monetaria en cuanto al aumento de masa monetaria.

Existen varias implicaciones sobre la variable inequidad. En primer lugar hay que diferenciar que la desigualdad, medida a través del coeficiente de Gini, es una característica común que está presente en todas las configuraciones y programaciones del modelo de distribución del dinero. Más allá, cuando se plantea la inequidad social como una condición explícita en el modelo, la variación del coeficiente de Gini es pequeña (si se incluye la variable crédito), aunque también el rango de ingresos se amplía mucho. En materia de política monetaria, los modelos sugieren que las medidas para mejorar la desigualdad son fútiles, porque esta es una constante en la distribución del dinero.

5.3 Limitaciones del estudio y recomendaciones para estudios futuros

Se podría extender el estudio a que los agentes que solicitan crédito no lo hagan sólo por falta de fondos o déficit, sino por realizar proyectos para aumentar su riqueza. Una variable de emprendimiento en la que el agente aumente sus posibilidades de vender a través de su propia iniciativa. Es decir, un incentivo de crear más riqueza. Incluso se podría analizar bajo condiciones de inequidad social, cómo pueden sobresalir

esos agentes emprendedores. En este modelo se planteó una variable de emprendimiento, pero sólo en que un agente es diferente de otro al momento de demostrar su capacidad de ofrecer bienes.

También está por fuera del alcance de este estudio el análisis de la distribución de la riqueza. Si bien se estudia la distribución del dinero, esta sólo es una aproximación de lo que sucede con la riqueza de las personas. Para realizar el análisis, se deben agregar al estudio las variables de bienes físicos deteriorables, valor agregado y precios. En futuros estudios se puede incluir estas variables, y con ello definir funciones de producción para las personas y bancos.

Finalmente se puede profundizar el análisis sobre papel del gobierno en la distribución, vía impuestos u otras políticas que alteren el intercambio de dinero.

6 BIBLIOGRAFÍA

Cantillon, R. (2011). *Essay on Economic Theory*. Ludwig von Mises Institute.

Chakraborti, A. (2002). Distributions of money in model markets of economy. *International Journal of Modern Physics C*, 13(10), 9. Obtenido desde <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0205221>

Chakraborti, A., & Chakrabarti, B. K. (2000). Statistical mechanics of money: How saving propensity affects its distribution. *Most*, 170(1), 9. Obtenido desde <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0004256>

Dragulescu, A. A., & Yakovenko, V. M. (2002). Statistical Mechanics of Money, Income, and Wealth: A Short Survey. *North*, (November), 4. Obtenido desde <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0211175>

Dragulescu, A., & Yakovenko, V. M. (2000). Statistical mechanics of money. *Time*, 17(4), 7. Obtenido desde <http://physics.umd.edu/~yakovenk/papers/money.pdf>

Federal Reserve Bank of Chicago. (1994). *Modern Money Mechanics: A Workbook on Bank Reserves and Deposit Expansion* (pp. 2–12). Obtenido desde http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/Modern_Money_Mechanics.pdf

Hayes, B. (2002). Follow the Money. *American Scientist*, 90, 400.

Ispolatov, S., Krapivsky, P., & Redner, S. (1998). Wealth distribution in asset exchange models. *The European Physical Journal B*, 267–276. Obtenido desde <http://physics.bu.edu/~redner/pubs/pdf/wealth.pdf>

- Lastrapes, W. D., White, L. H., & Selgin, G. (2012). Has the Fed been a failure? *Journal of Macroeconomics*. doi:10.1016/j.jmacro.2012.02.003
- Mishkin, F. S. (2012). *Economics of Money, Banking, and Financial Markets, 10th Edition* (p. 720). Prentice Hall.
- Mitchell, M. (2006). Complex Systems: Network Thinking. Obtenido desde <http://www.santafe.edu/media/workingpapers/06-10-036.pdf>
- Mitchell, M. (2011). *Complexity: A Guided Tour* (p. 368). Oxford University Press, USA.
- Roll, E. (2010). *Historia de las Doctrinas Económicas* (pp. 50–57). México: Fondo de Cultura Económica.
- Tisue, S., & Wilensky, U. (2004). NetLogo: A Simple Environment for Modeling Complexity. In *International Conference on Complex Systems* (pp. 1–2). Boston: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling Northwestern University. Obtenido desde <http://ccl.northwestern.edu/papers/netlogo-iccs2004.pdf>
- Wilensky, U. (1998a). Netlogo Cash Flow Model. Evanston, IL: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern Institute on Complex Systems, Northwestern University. Obtenido desde <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/CashFlow>
- Wilensky, U. (1998b). NetLogo Wealth Distribution model. Evanston, IL: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern Institute on Complex Systems, Northwestern University. Obtenido desde <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/WealthDistribution>

Wilensky, U. (1999). NetLogo. Evanston, IL: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern Institute on Complex Systems, Northwestern University,. Obtenido desde <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

Xi, N., Ding, N., & Wang, Y. (2005). How Required Reserve Ratio Affects Distribution and Velocity of Money. *Physica A*, 357(3-4), 21. Obtenido desde <http://arxiv.org/abs/physics/0507160>

7 ANEXOS

7.1 Códigos de Programación en NetLogo

7.1.1 Modelo Réplica de Dragulescu & Yakovenko (2000)

```
globals [
  rich
  mid-class
  poor
  total-wallets
]
```

```
breed [people person]
people-own [
  seller
  wallet
  number
  m
]
```

```
to setup
  ca
  setup-people
  reset-ticks
end
```

```
to setup-people
  create-people number-of-people
  [set shape "person"
  setxy random-xcor random-ycor
  set wallet initial-budget]
end
```

```
to go
  clear-links
  ask people
  [setxy random-xcor random-ycor
  create-partner
  do-business]
  sort-wallets
  set total-wallets (sum [wallet] of people)
  tick
end
```

```
to create-partner
  if (count link-neighbors = 0)
  [create-link-with one-of other people with [count link-neighbors = 0]
```

```

    move-to one-of link-neighbors]
end

to do-business ;;Turtle Procedure
  if (link-neighbors != nobody) and (wallet > 0) [
    set seller one-of other people-here
    if seller != nobody
      [set-m
       ask seller [set wallet wallet + m]
       set wallet (wallet - m)]
  ]
end

to set-m
  if transaction-rule = "type 1"           ;; Only valid onnly for banks? = false. Sets the
  transaction amount a constant.
    [set m 0.1 * initial-budget]
  if transaction-rule = "type 2"           ;; Sets the transaction amount as a fraction of
  the people at the same patch.
    [ask seller [set m (random-float 0.1 * (sum [wallet] of people-here) / 2) ]
     set m [m] of seller]
  if transaction-rule = "type 3"           ;; Sets the transaction amount as a fraction of
  the total amount of money.
    [ask seller [set m (random-float 0.1 * (sum [wallet] of people) / number-of-people)]
     set m [m] of seller]
end

to sort-wallets
  let max-wallet max [wallet] of people
  set rich (count people with [wallet > max-wallet * 0.67 ])
  set poor (count people with [wallet < max-wallet * 0.33])
  set mid-class (count people) - (rich + poor)
end

```

7.1.2 Modelo con Variable Crédito

```

globals [
  max-wealth
  min-wealth
  high
  medium
  low
]

breed [banks bank]
banks-own [
  client-deposits
  client-loans
  reserves
  money-to-loan

```

```

]

breed [people person]
people-own [
  seller
  wallet
  savings
  temp-loan
  loans
  m
  wealth
  my-bank
  my-loan-bank
]

to setup
  ca
  setup-banks
  setup-people
  reset-ticks
end

to setup-banks
  create-banks number-of-banks [
    ht
    set client-deposits 0
    set client-loans 0
    set reserves 0
    set money-to-loan 0
  ]
end

to setup-people
  create-people number-of-people [
    set shape "person"
    setxy random-xcor random-ycor
    set seller nobody
    set wallet initial-wealth
    set savings 0
    set temp-loan 0
    set loans 0
    set m 0
    set wealth 0
    set my-bank one-of banks
    set my-loan-bank one-of banks
  ]
end

to go
  ask people

```



```

[do-business]
ask people
  [if banks? [balance-books] ]
sort-wealth
tick
end

```

to do-business ;; People with money to exchange can do business. Whenever two people meet, randomly one becomes the seller and the other becomes the customer.

```

rt random 50 - random 50
fd 1
if (any? other people-here) and ((wallet > 0) or (savings > 0) or (loans > 0)) [
  set seller one-of other people-here
  if seller != nobody
    [set-m
      ask seller [set wallet wallet + m]
      set wallet (wallet - m)]
  ]
update-wealth
end

```

to balance-books ;; If the model includes banks, once people do business, when they have a positive balance they deposit it in their accounts.

;; if they have a negative balance but positive savings, they withdraw money.

;; if they have a negative balance and not sufficient funds, they ask for a loan in a bank.

```

ifelse (wallet < 0) [
  ifelse (savings >= (- wallet)) [
    withdraw-from-savings (- wallet)] [
    if (savings > 0) [
      withdraw-from-savings savings
    ]
  ]
]

```

```

set temp-loan [money-to-loan] of my-loan-bank

```

```

ifelse (temp-loan >= (- wallet)) [
  take-out-a-loan (- wallet)]
[take-out-a-loan temp-loan]
]
]

```

```

[deposit-to-savings wallet]

```

;; repay loans if savings are available

```

if (loans > 0) and (savings > 0) and (wallet >= 0) [
  ifelse (savings >= loans)
    [withdraw-from-savings loans
      repay-a-loan loans]
    [withdraw-from-savings savings
      repay-a-loan wallet]
]

```

```

update-wealth
end

```

```

to set-m
  if transaction-rule = "type 1"           ;; Only valid onnly for banks? = false. Sets the
transaction amount a constant.
  [set m 0.1 * initial-wealth]
  if transaction-rule = "type 2"           ;; Sets the transaction amount as a fraction of
the people at the same patch.
  [ask seller [set m (random-float 0.1 * (sum [wealth] of people-here) / 2) ]
  set m [m] of seller]
  if transaction-rule = "type 3"           ;; Sets the transaction amount as a fraction of
the total amount of money.
  [ask seller [set m (random-float 0.1 * (sum [wealth] of people) / number-of-people)]
  set m [m] of seller]
end

```

```

to update-wealth
  set wealth (wallet + savings)
end

```

```

to deposit-to-savings [amount] ;; People deposit into their bank accounts and banks
contabilize it
  set wallet (wallet - amount)
  set savings (savings + amount)
  ask my-bank [set client-deposits client-deposits + amount]
  update-bank-reserves
end

```

```

to withdraw-from-savings [amount] ;; People withdraw from bank accounts and banks
contabilize it
  set wallet (wallet + amount)
  set savings (savings - amount)
  ask my-bank [set client-deposits (client-deposits - amount)]
  update-bank-reserves
end

```

```

to repay-a-loan [amount] ;; People pay loan to the bank and the bank contabilizes it
  set wallet (wallet - amount)
  set loans (loans - amount)
  ask my-loan-bank [set client-loans (client-loans - amount)]
  update-bank-reserves
end

```

```

to take-out-a-loan [amount] ;; People take a loan from the bank and the bank
contabilizes it
  set loans (loans + amount)
  set wallet (wallet + amount)
  ask my-loan-bank [set client-loans client-loans + amount]
  update-bank-reserves

```

```

end

to update-bank-reserves
ask banks
  [set reserves (bank-reserve-rate * client-deposits)
  set money-to-loan (client-deposits - (reserves + client-loans))]
end

to sort-wealth
  set max-wealth max [wealth] of people
  set min-wealth min [wealth] of people
  set high (count people with [wealth > max-wealth * 0.67 ])
  set low (count people with [wealth < max-wealth * 0.33])
  set medium (count people) - (high + low)
end

```

7.1.3 Modelo con Variables Crédito e Inequidad

```

globals [
  max-wealth
  min-wealth
  high
  medium
  low
]

breed [banks bank]
banks-own [
  client-deposits
  client-loans
  reserves
  money-to-loan
]

breed [people person]
people-own [
  seller
  wallet
  savings
  temp-loan
  loans
  m
  wealth
  my-bank
  my-loan-bank
  entrepreneurship-index
]

to setup
  ca
  setup-banks

```

```

setup-people
reset-ticks
end

```

```

to setup-banks
  create-banks number-of-banks [
    ht
    set client-deposits 0
    set client-loans 0
    set reserves 0
    set money-to-loan 0
  ]
end

```

```

to setup-people
  create-people number-of-people [
    set shape "person"
    setxy random-xcor random-ycor
    set seller nobody
    set wallet initial-wealth
    set savings 0
    set temp-loan 0
    set loans 0
    set m 0
    set wealth 0
    set my-bank one-of banks
    set my-loan-bank one-of banks
    set entrepreneurship-index (random 3) + 1 ;; most entrepreneurial people will get 1
  ]
end

```

```

to go
  ask people
    [do-business]
  ask people
    [if banks? [balance-books] ]
  sort-wealth
  tick
end

```

to do-business ;; People with money to exchange can do business. Whenever two people meet, randomly one becomes the seller and the other becomes the customer.

```

  rt random 50 - random 50
  fd 1
  if (any? other people-here) and ((wallet > 0) or (savings > 0) or (loans > 0)) [
    set seller one-of other people-here
    if seller != nobody
      [set-m
        if random ([entrepreneurship-index] of seller) = 0 ;; entrepreneurship index lets
sellers have more probability of selling (if closer to one)

```

```

    [ask seller [set wallet wallet + m]
      set wallet (wallet - m)]]
  ]
  update-wealth
end

```

to balance-books ;; If the model includes banks, once people do business, when they have a positive balance they deposit it in their accounts.

;; if they have a negative balance but positive savings, they withdraw money.

;; if they have a negative balance and not sufficient funds, they ask for a loan in a bank.

```

ifelse (wallet < 0) [
  ifelse (savings >= (- wallet)) [
    withdraw-from-savings (- wallet) [
      if (savings > 0) [
        withdraw-from-savings savings
      ]
    ]
  ]
]

```

```

set temp-loan [money-to-loan] of my-loan-bank

```

```

ifelse (temp-loan >= (- wallet)) [
  take-out-a-loan (- wallet)
  [take-out-a-loan temp-loan]
]

```

```

]
[deposit-to-savings wallet]

```

;; repay loans if savings are available

```

if (loans > 0) and (savings > 0) and (wallet >= 0) [
  ifelse (savings >= loans)
    [withdraw-from-savings loans
      repay-a-loan loans]
    [withdraw-from-savings savings
      repay-a-loan wallet]
]

```

```

]
update-wealth
end

```

to set-m

if transaction-rule = "type 1" ;; Only valid onnly for banks? = false. Sets the transaction amount a constant.

```

[set m 0.1 * initial-wealth]

```

if transaction-rule = "type 2" ;; Sets the transaction amount as a fraction of the people at the same patch.

```

[ask seller [set m (random-float 0.1 * (sum [wealth] of people-here) / 2) ]
  set m [m] of seller]

```

if transaction-rule = "type 3" ;; Sets the transaction amount as a fraction of the total amount of money.

```

[ask seller [set m (random-float 0.1 * (sum [wealth] of people) / number-of-people)]
  set m [m] of seller]

```

end

```
to update-wealth
  set wealth (wallet + savings)
end
```

```
to deposit-to-savings [amount] ;; People deposit into their bank accounts and banks
contabilize it
  set wallet (wallet - amount)
  set savings (savings + amount)
  ask my-bank [set client-deposits client-deposits + amount]
  update-bank-reserves
end
```

```
to withdraw-from-savings [amount] ;; People withdraw from bank accounts and banks
contabilize it
  set wallet (wallet + amount)
  set savings (savings - amount)
  ask my-bank [set client-deposits (client-deposits - amount)]
  update-bank-reserves
end
```

```
to repay-a-loan [amount] ;; People pay loan to the bank and the bank contabilizes it
  set wallet (wallet - amount)
  set loans (loans - amount)
  ask my-loan-bank [set client-loans (client-loans - amount)]
  update-bank-reserves
end
```

```
to take-out-a-loan [amount] ;; People take a loan from the bank and the bank
contabilizes it
  set loans (loans + amount)
  set wallet (wallet + amount)
  ask my-loan-bank [set client-loans client-loans + amount]
  update-bank-reserves
end
```

```
to update-bank-reserves
ask banks
  [set reserves (bank-reserve-rate * client-deposits)
  set money-to-loan (client-deposits - (reserves + client-loans))]
end
```

```
to sort-wealth
  set max-wealth max [wealth] of people
  set min-wealth min [wealth] of people
  set high (count people with [wealth > max-wealth * 0.67 ])
  set low (count people with [wealth < max-wealth * 0.33])
  set medium (count people) - (high + low)
end
```

```
to-report Tot.loan
  report sum [loans] of people
end
```