

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA ECONÓMICAS, A.C.



ANÁLISIS DE LA INFORMALIDAD Y LA CORRUPCIÓN ADOPTANDO LA VISIÓN DE  
LA COMPLEJIDAD

TESINA

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN ECONOMÍA

PRESENTA

CHRISTIAN JIMÉNEZ BELTRÁN

DIRECTOR DE LA TESINA: DR. GONZALO CASTAÑEDA RAMOS

CIUDAD DE MÉXICO

JUNIO, 2017

*A mi mamá.*

## **Agradecimientos**

*Quiero agradecer al Dr. Gonzalo Castañeda, por permitirme trabajar a su lado y por su apoyo en la realización de este trabajo. Gracias.*

*Al Dr. Fausto Hernández y al Dr. Arturo Antón, por su ayuda en el mejoramiento de este trabajo y por sus comentarios. Gracias.*

*A mi familia por todo el apoyo que me ha brindado a lo largo de estos años los quiero mucho.*

*A todos los maestros dentro de esta institución ya que me han enseñado muchas cosas. Gracias.*

*A todos mis amigos del CIDE ya que he aprendido mucho con ustedes y sobre todo por su gran apoyo a lo largo de este ciclo. Muchas Gracias.*

## **Resumen**

*Este trabajo estudia como se vincula la informalidad y la corrupción adoptando la visión de la complejidad. Se parte de un modelo de física (modelo BTW) para posteriormente construir un modelo basado en agentes. Se encontró que la informalidad es un fenómeno que se crea a partir de la interacción de las empresas y decisiones del gobierno. Además, se encontró correlación positiva entre la corrupción y la informalidad. Finalmente, se sugiere que países más corruptos tienen niveles más altos en informalidad.*

# Lista de figuras

3.1	<i>Modelo de la pila de arena.</i>	8
3.2	<i>Ley de la potencia.</i>	9
3.3	<i>Vecindad Von Neuman</i>	10
4.1	<i>Diagrama de Flujo del ABM</i>	15
4.2	<i>Modelo ABM</i>	16
4.3	<i>Condiciones Iniciales</i>	16
4.4	<i>Gráficas y monitores presentes en la interfaz del ABM.</i>	17
4.5	<i>Visualización de la economía</i>	19
4.6	<i>Inspección de Empresa</i>	19
5.1	<i>Ésta figura presenta 3 economías sujetas a diferentes choques idiosincráticos</i>	21
5.2	<i>Los impuestos como función de la corrupción</i>	22
5.3	<i>Recaudación de las distintas economías</i>	23
5.4	<i>Disposición de los países de acuerdo a la informalidad y corrupción en el año 2007.</i>	24
5.5	<i>Disposición de países de acuerdo a la recaudación fiscal y corrupción en el 2007.</i>	24
5.6	<i>Países de la OECD</i>	25
5.7	<i>Países en vías de desarrollo</i>	27
5.8	<i>Países en vías de desarrollo</i>	28
5.9	<i>Ley de la potencia simulada para distintos niveles de corrupción</i>	28

5.10	<i>Se muestra los exponentes de potencia encontrados para una economía con condiciones iniciales <math>x = 0.13</math>, <math>z = 0.11</math> y <math>\alpha = 0.75</math> . . . . .</i>	29
5.11	<i>Ley de la potencia presente en México. . . . .</i>	30
5.12	<i>Comparación de los resultados cuando el gobierno desea disminuir la informalidad en el modelo. . . . .</i>	30
5.13	<i>Comparación de los resultados cuando el gobierno desea disminuir la informalidad en el modelo. . . . .</i>	31

# Contenido

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Revisión Bibliográfica</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Modelo</b>	<b>7</b>
3.1	Modelo BTW . . . . .	7
3.2	Modelo de Informalidad . . . . .	10
3.2.1	Problema de la empresa . . . . .	11
3.2.2	Gobierno . . . . .	13
<b>4</b>	<b>ABM</b>	<b>14</b>
4.1	ABM-Informalidad . . . . .	14
<b>5</b>	<b>Resultados</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>32</b>
<b>Appendices</b>		
<b>A</b>	<b>ABM Código</b>	<b>33</b>
<b>B</b>	<b>Modelo BTW</b>	<b>39</b>
	<b>Referencias</b>	<b>42</b>

# Capítulo 1

## Introducción

La informalidad es un fenómeno muy importante en países en desarrollo y, en las últimas décadas, ha mostrado que es muy difícil de revertir. Las principales características asociadas a esta actividad son: ser poco eficiente, ser causante de pérdidas en la recaudación de impuestos y no ofrecer seguridad social a los trabajadores. El sector informal lo podemos encontrar en casi todos los países, sin embargo, en países en vías de desarrollo llega a representar el 60% de su PIB (Buehn y Schneider, 2007).

La literatura existente trata de dar respuesta a diversas preguntas relacionadas con la informalidad, como por ejemplo ¿Cómo se origina?, ¿Existe una relación entre el tamaño del sector informal y el marco legal del país?, ¿Qué tanto afecta la competitividad de los países?, ¿Qué tanto incide en la baja recaudación fiscal?. Para pensar en su origen, conviene analizar el vínculo corrupción, carga impositiva e informalidad. La posible relación estriba en el hecho de que la corrupción es otro fenómeno que está presente en muchos países, a pesar de que su conexión con la informalidad no ha sido estudiado a cabalidad. La corrupción es el acto por el cual se violan las leyes con la finalidad de beneficiar a un grupo de personas o institutos. Al igual que la informalidad, la corrupción se encuentra en todos los países, pero en unas es más preocupante que en otras.



A diferencia de los trabajos ya realizados por otros economistas en el tema de la informalidad, en esta tesis se adopta la visión de la complejidad social. Esta visión se distingue por estudiar sistemas constituidos por varios elementos diferenciados que en su conjunto producen comportamientos colectivos particulares, los que se denominan patrones emergentes. El presente trabajo estudia cómo se vincula la actividad informal con la corrupción en los países desde la óptica de la complejidad social. El propósito es responder a las siguientes preguntas ¿Es la informalidad un proceso que se propaga a partir de la interacción entre los agentes de la economía?, ¿La informalidad tiene alguna correlación con la corrupción?, ¿Economías inestables presentan más informalidad?, ¿Que regularidades estadísticas producen la dinámica de la informalidad?.

Para abordar estas interrogantes se parte de un modelo de física el cual se transforma a un modelo basado en agentes, ya que esta metodología es muy flexible dado que permite usar supuestos más realistas (p. ej. heterogeneidad). Supuestos que los modelos tradicionales descartan con el propósito utilitario de encontrar soluciones cerradas o los problemas en consideración.

Se encontró que la informalidad es, efectivamente un proceso emergente de la economía, es decir, surge de la interacción entre las empresas y las imposiciones fiscales que el gobierno adopta para alcanzar su objetivo, entre ellos el funcionamiento de la corrupción. Por lo tanto, se encontró que la informalidad está positivamente relacionado con la corrupción. Sin embargo, los países que se vuelven más corruptos tienden a disminuir su recaudación fiscal debido a que el tamaño de informalidad también aumenta. Adicionalmente, nuestro modelo muestra que la dinámica de la informalidad presenta la ley de la potencia, fenómeno que es característico de sistemas complejos y que no había sido considerado en la literatura tradicional. Todos los resultados encontrados fueron comparados con evidencia empírica, la cual avala en cierta medida nuestros resultados.

El trabajo se encuentra dividido en 5 capítulos. La primera sección hace una revisión de la literatura explorando resultados asociados al tema de la informalidad; además, brevemente el concepto de sistemas complejos. La tercera sección presenta el modelo físico de la pila de

arena, y cómo se adapta al modelo teórico de la informalidad a partir de un modelo basado en agentes (ABM). La cuarta sección presenta el diagrama de flujo del modelo basado en agentes. La quinta sección describe los resultados encontrados y, por último, se presenta, las conclusiones de nuestro trabajo y posibles extensiones del mismo.

## Capítulo 2

### Revisión Bibliográfica

La definición de informalidad se encuentra en debate, por lo que a continuación presento los conceptos más aceptados. Algunos autores la definen como los ingresos no reportados de la producción de bienes legales y servicios que podrían ser sujetos a impuestos. Buehn y Schneider (2007) mencionan "la informalidad son aquellas actividades económicas y los ingresos derivados que evitan las regulaciones del gobierno, impuestos y su observación", para el presente trabajo se usará la definición anterior.

La informalidad es un fenómeno que se distingue por causar problemas fiscales en un gran número de países. Ihrig y Moe (2004) mencionan que la informalidad en países en desarrollo representa 60% de la fuerza de trabajo, así como el 40% del PIB. En México, Buehn y Schneider (2007) estiman que el sector informal representaba en promedio el 30.4% del PIB entre 1999 y 2005, cifra que alcanza un máximo en el año 2005 con 31.1%. A manera de comparación, Prado (2011) indica que la informalidad en países ricos como Estados Unidos representa solamente el 17.9% del PIB, mientras que Suiza y los países más prominentes de la OECD tienen un 26.8% y 16.6% respectivamente de actividad informal en relación a su PIB. De estos datos es claro que existe una diferencia en el tamaño del sector informal entre países ricos y en desarrollo. En Antón y Gutierrez (2016) se estudia esta disparidad, sugiriendo que puede ser debido a variaciones en los niveles de productividad entre países.

La informalidad es un fenómeno de la economía que ha sido ampliamente estudiado, existen trabajos que analizan los mecanismos por los cuales la informalidad surge y cómo se comportan las empresas en este contexto. De Paula y Scheinkman (2010) muestra mediante un modelo de equilibrio general que los impuestos pueden ser uno de los principales determinantes de la informalidad, adicionalmente concluye que las empresas informales son más pequeñas, menos productivas y usan una cantidad menor de insumos. Por otra parte, Ihrig y Moe (2004) estudian el tamaño del sector informal como una función de los impuestos. En su trabajo encuentran que existe una relación convexa negativa entre el PIB y el empleo informal, además de que sugiere que las disminuciones en impuestos, disminuyen el tamaño del sector informal. Sin embargo, las medidas de promoción del cumplimiento de leyes no tienen un gran impacto en la informalidad.

Adicionalmente, existen trabajos que estudian el comportamiento de la informalidad en el corto y largo plazo, tal es el caso de Loayza y Rigolini (2006). Estos autores encuentran que la informalidad exhibe una relación decreciente con respecto al PIB. Además, a corto plazo existe una relación contra cíclica con respecto al PIB en la mayoría de los países.

Por otro lado, la informalidad tiene consecuencias adicionales a los problemas fiscales, Restrepo-Echavarria (2014) estudia la informalidad y la volatilidad del consumo. A través de un modelo propone que la volatilidad del consumo en países en desarrollo se debe a la presencia de sectores grandes de informalidad que no son adecuadamente medidos.

Todos los trabajos que se han mencionado hasta ahora se basan en los fundamentos de la teoría económica neoclásica, en este trabajo se adopta a la complejidad social como meta teoría. Las teorías de la complejidad estudian sistemas conformados por elementos heterogéneos que están conectados de manera interdependiente y, además, de que sus comportamientos son adaptables (Castañeda, 2009).

Una de las propiedades de los sistemas complejos es que el comportamiento macroscópico no se puede explicar solamente por el conjunto de elementos que lo conforman, es decir, la suma de sus elementos no representa el todo del sistema. Se dice que sus propiedades surgen como producto de la interacción de sus elementos, a lo anterior se le conoce como propiedades

emergentes. Adicionalmente, estos sistemas se distinguen por tener estados críticos que hacen que el sistema se coordine en una dinámica particular, la cual surge de manera espontánea sin la necesidad de factores externos. Si esto ocurre se dice que el sistema se auto organiza (?).

En este trabajo, analizaremos a la economía como un sistema complejo adaptativo, en donde la informalidad surge endógenamente por la interacción de las diferentes empresas y las decisiones que el gobierno adopta a través del tiempo, es decir, la informalidad surge como producto de la auto organización de la economía. Para modelar la informalidad se hará uso de la metáfora de la pila de arena (Bak, 1996), y posteriormente, se modelará a la informalidad con un modelo basado en agentes (ABM, por sus siglas en inglés).

El modelo de la pila de arena fue planteado inicialmente por Bak, Tang y Wiesenfeld ( de ahí su nombre BTW). El modelo BTW es un modelo general que explica fenómenos emergentes como un proceso de criticalidad auto organizada de los sistemas complejos. Por otro lado, los ABM son modelos computacionales que simulan el comportamiento colectivo a partir de la interacción de agentes autónomos que se desenvuelven en un entorno. Los agentes son representaciones de algún elemento del mundo real al cual se le dota de ciertas características y reglas de comportamiento.

# Capítulo 3

## Modelo

### 3.1 Modelo BTW

El presente capítulo aborda el modelo BTW, para posteriormente elaborar el modelo de informalidad. El modelo BTW trata de explicar la auto organización de un estado crítico que se distingue por una dinámica muy particular. En 1987 Bak, Tag y Weisenfeld descubrieron que al acoplar péndulos en una retícula e impulsar uno con suficiente fuerza, permitiéndole oscilar, existía un momento donde el péndulo generaba un efecto domino moviendo a otros cercanos a él (Bak, 1996). Bak, Tag y Weisenfeld observaron que había momentos donde el efecto dominó se extendía por toda la retícula ocasionando la oscilación de todos los péndulos y otros momentos donde el efecto dominó solo se extendía en una cierta zona de la retícula. A estos movimientos en sintonía les llamaron cascadas.

Bak, Tag y Weisenfeld ilustraron este fenómeno con la siguiente metáfora. Imaginemos que en una mesa de un cierto tamaño finito comenzamos a soltar granos de arena de manera regular. A medida que los granos se aglutinan, un montículo se comienza a formar gracias a la fricción que hay entre los granos de arena (Figura 3.1). Mientras más granos se van soltando el montículo comienza a crecer, pero crece de manera irregular, de modo que habrá zonas que tendrán una pendiente distinta. En las zonas donde la pendiente es lo suficientemente elevada como para que

un grano de arena más hace que su propio peso, ocasione el desplazamiento de granos de arena formando pequeñas avalanchas. Estas pequeñas avalanchas se producen en tiempos irregulares mientras el montículo crece. Sin embargo, existe un momento en el cual el montículo llegará a una cierta altura donde no crecerá más, por lo que al soltar un grano de arena más se producirá una avalancha que llevará al montículo a disminuir su altura e incrementar su base.

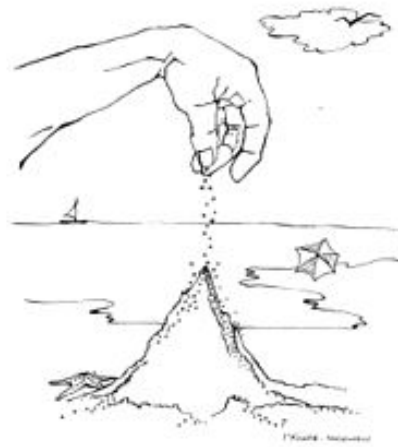


Figura 3.1: *Modelo de la pila de arena.*

La magnitud de las avalanchas siguen una ley de la potencia, lo que indica que avalanchas de pequeña magnitud son más frecuentes que aquellas de magnitudes grandes (Figura 3.2). La ley de la potencia se conoce también como distribución de escala, ya que no existe una escala particular que describa la magnitud del evento. Esta ley es el resultado de sistemas complejos con procesos de auto organización (Ramírez, 1999), aunque su aparición puede darse mediante otra dinámica.

Las leyes de la potencia se han encontrado en diversos fenómenos como es el caso de los temblores, en donde la ley de la potencia toma el nombre de ley de Gutenberg Richter. Otro caso es el de la distribución de Pareto que caracteriza la distribución de ingresos, además es usada en sociología y economía, y otras áreas de estudio.

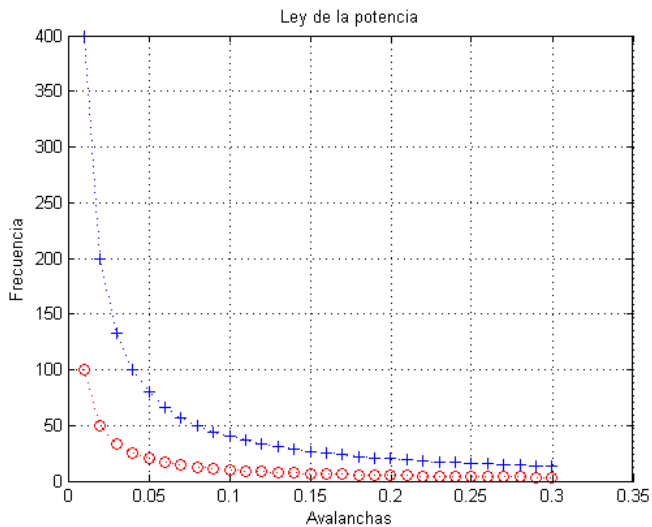


Figura 3.2: *Ley de la potencia.*

Para más información sobre el modelo BTW el lector debe revisar el apéndice B. Por lo pronto, este modelo se utiliza en este tema para describir la interacción entre empresas y un gobierno interesado en sufragar sus gastos independientemente de la carga tributaria en las empresas. En este modelo la informalidad, es un proceso emergente que sigue una ley de la potencia. En este contexto las avalanchas son los cambios del tamaño del sector informal entre períodos. De modo que habrán periodos donde habrá grandes incrementos en informalidad y otros donde sean más pequeños.



## 3.2 Modelo de Informalidad

En esta sección se plantea que el modelo de informalidad se puede describir con el modelo de la pila de arena, con el cual se pretende explicar a la informalidad y su expansión como un proceso emergente <sup>1</sup>.

Como fue mencionado en el capítulo anterior, el modelo de la pila de arena consta de granos de arena que caen de manera regular sobre una mesa. Para fines de este modelo consideremos que la gravedad juega el papel de la política tributaria del gobierno.

Mientras que los granos de arena son los agravios que tienen las empresas formales por causa de auditorías fiscales, y la imposición de una cierta tasa impositiva. Esta tasa impositiva es función de la auditoría  $\tau_j \in (0, \tau]$  donde  $\tau$  es la tasa máxima impuesta por el gobierno.

El modelo está formado por  $N$  empresas las cuales producen una unidad de un bien intermedio y una unidad de un bien final. Para producir el bien final se utilizan bienes intermedios los cuales son provistos por otras empresas con las que se tiene relaciones estrechas.

El proceso productivo de esta economía se puede visualizar como una retícula o red, donde cada celda representa una empresa. Los proveedores del bien intermedio y la empresa están en una vecindad Von Neuman (4 celdas que rodean de manera ortogonal a una central). La figura 3.3 muestra el arreglo de la vecindad, donde se muestra a la empresa  $j$  rodeada por cuatro empresas que le proveen de bienes intermedios.

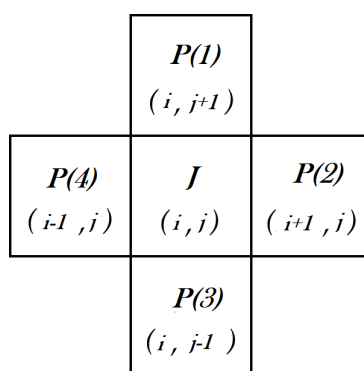


Figura 3.3: *Vecindad Von Neuman*

<sup>1</sup>Este modelo se basa en Castañeda (2017)

### 3.2.1 Problema de la empresa

Las empresas deben decidir si operan en el sector formal o informal, lo que se determina según sus beneficios. Optan por ser formales si sus beneficios son mayores a los que tendría si operan en el sector informal y serán informales si ocurre lo contrario. Las empresas formales se destacan por tener una red de proveedores de buena calidad (Se está suponiendo que la calidad de los bienes intermedios depende del tipo de empresa y la naturaleza de sus proveedores, más adelante se detalla esto). Sin embargo, las empresas formales están sujetas a pagos de impuestos  $\tau_j$ .

Los beneficios de una empresa que decide ser formal en un tiempo  $t$  están dados por la siguiente expresión:

$$\Pi_{jt}^f = (1 - \tau_j) \left[ P(1 - \alpha_j) - \left( \frac{N - F_t}{N} \right) \prod_{i=1}^4 q_{ji} \right] + (1 - \tau_j) \sum_{x \in F_j} q_{jx} + \sum_{x \in I_j} q_{jx} \quad (3.1)$$

donde  $q_{ji}$  representa el costo del insumo para la empresa  $j$  por parte de la empresa  $i$ . Los dos últimos términos representan la venta del bien intermedio a las empresas vecinas ubicadas tanto en el sector formal como informal, a un precio unitario dado por  $q_{jx}$ . Notese que solo los insumos vendidos por empresas formales están descontados por impuestos, mientras que los vendidos por empresas informales no lo están. Adicionalmente, el primer sumando de la ecuación ( $B_j$ ) representa el beneficio a la venta en el sector final, también está descontado por impuestos.

La  $\alpha_j$ , es un parámetro idiosincrático que toma valores  $\alpha_j \in [0, \alpha]$  la cual afecta al precio al que se puede vender el bien final. El factor  $\left( \frac{N - F_t}{N} \right)$  representa la productividad de infraestructura, donde  $F_t$  es el número de empresas formales en el tiempo  $t$  y  $N$  es el número de empresas de la economía. Esta función es decreciente en la formalidad, lo indica que los costos son menores cuando hay una mejor infraestructura (poca informalidad) y hay mayores costos cuando la infraestructura es mala (sector informal grande).

Por otro lado, si la empresa decide ser informal sus beneficios son:

$$\Pi_{jt}^I = \left[ P(1 - \alpha_j) - \left( \frac{N - F}{N} \right) \prod_{i=1}^4 q_{ji} \right] + \sum_{x=1}^4 q_{jx} \quad (3.2)$$

Nótese, que en este caso no se pagan impuestos por la venta del bien final ni por los bienes intermedios.

Por otra parte, se ha supuesto que la calidad de los bienes intermedios afecta el costo de producción del bien final, entonces se tiene el siguiente precio/calidad del bien intermedio.

$$q_{ji} = \begin{cases} q & \text{si } i, j \in F \\ q(1 + x) & \text{si } j \in F, i \in I \\ q(1 + z) & \text{si } j \in I, i \in F \text{ o } i \in I \end{cases} \quad (3.3)$$

donde  $q_{ji}$  representa el bien intermedio que provee la empresa  $i$  a la empresa  $j$ ,  $x$  y  $z$  son los costos adicionales que enfrenta la empresa  $j$  debido a su estatus y al de la empresa  $i$  (formal o informal). Además,  $x$  y  $z$  cumplen  $1 > x > z > 0$ .

La ecuación 3.3 indica que si un proveedor y cliente son formales el costo del insumo es  $q$ , símbolo de buena calidad entre empresas formales. Si el proveedor es informal y el cliente formal el insumo proporcionado será de menor calidad, lo que produce mayores costos. Sin embargo, si la empresa que adquiere el bien intermedio es informal, implica que la calidad del insumo también es baja sin importar que la empresa que lo provea se encuentre en el sector formal o informal, aunque en menor medida. Esta relación precio/calidad se puede racionalizar por la mala calidad que implica el estar por fuera del aparato regulatorio (aunque en el sector formal el precio puede ser menor, la relación precio/calidad es mayor).

Por lo tanto, la decisión para ser informal se da cuando:

$$\Pi_j^I > \Pi_j^F \quad (3.4)$$

### 3.2.2 Gobierno

El gobierno, en este modelo, tiene una balanza fiscal  $BF_t$  en el período  $t$  que debe mantener a toda costa. La recaudación fiscal ( $RF_t$ ) realizada por el gobierno esta dada por la siguiente expresión:

$$RF_t = \sum_{j=1}^F \tau_j B_j + \sum_{j=1}^F \tau_j \left( \sum_{x \in F_j} q_{jx} \right) \quad (3.5)$$

donde el primer sumando son los ingresos vía el bien final y el segundo sumando son los ingresos tributarios provenientes de la venta de los bienes intermedios entre empresas formales. El gobierno realiza un gasto por la infraestructura determinado por la siguiente expresión.

$$GI_t = N \left( \frac{F_t}{N} \right) = F_t \quad (3.6)$$

donde  $\left( \frac{F_t}{N} \right)$  es la porción de beneficio que reciben las empresas vía alza en su productividad. Así el beneficio fiscal del gobierno es:

$$BF_t = RF_t - GI_t \quad (3.7)$$

Si se tiene que  $BF_t \geq C > 0$ , el gobierno puede sufragar el gasto asociado a la corrupción, por lo que este gobierno optará siempre por no modificar su tasa impositiva  $\tau_{t+1} = \tau_t$ , pero en caso contrario tendrá que incrementar su impuesto  $\tau_{t+1} = \tau_t + k$ , donde  $k > 0$ . Si se observa por la naturaleza del planteamiento del modelo, este no se puede resolver analíticamente. Por esa razón es necesario construir un modelo ABM que incluya todos los supuestos ya mencionados.

# Capítulo 4

## ABM

### 4.1 ABM-Informalidad

El ABM tiene como propósito modelar al sector informal a partir de la decisión de las empresas vinculadas a ser o no formales, con la inclusión adicional de la decisión del gobierno para subir o no el impuesto si es que sus metas de gasto no se cumplen. En este gasto se encuentra el asociado a la corrupción. El ABM está fundamentado con el modelo teórico que se presentó en el capítulo anterior.

Las reglas del ABM se pueden simplificar con el siguiente diagrama de flujo (Figura 4.1). Como condiciones iniciales, el ABM tiene 1,763 empresas formales (cada una recibe un choque idiosincrático aleatorio entre 0 y un valor máximo de choque idiosincrático exógeno y un impuesto aleatorio entre 0 y un valor máximo de impuesto decidido por el gobierno que en el inicio es cero). A medida que el gobierno no alcance su objetivo (solventar la corrupción) irá aumentando el impuesto máximo, a la vez que las empresas deciden ser o no formales.

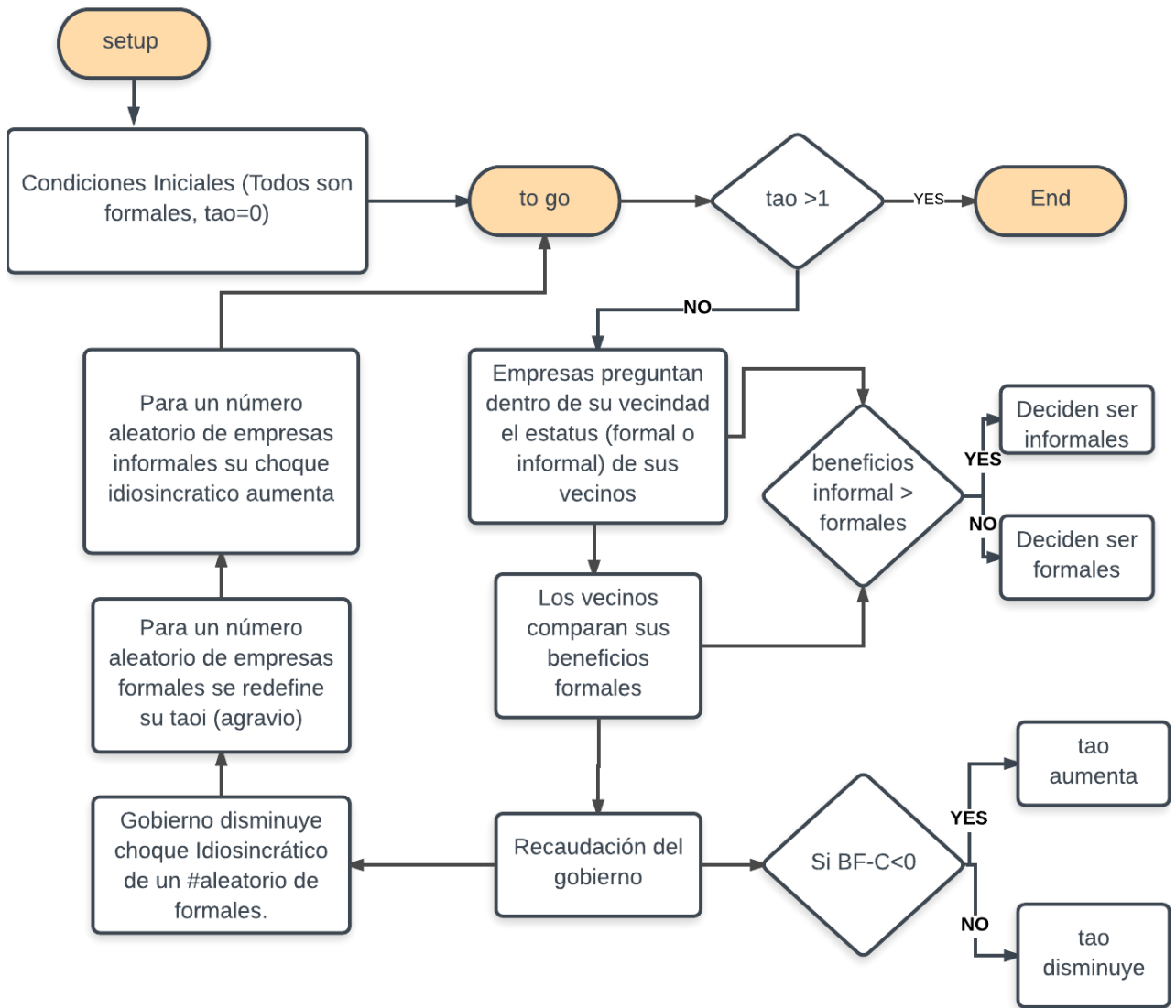


Figura 4.1: Diagrama de Flujo del ABM

El ABM fue programado en NetLogo versión 5.3, el código del modelo se encuentra en el apéndice A. Primeramente describiremos la interfaz del modelo.

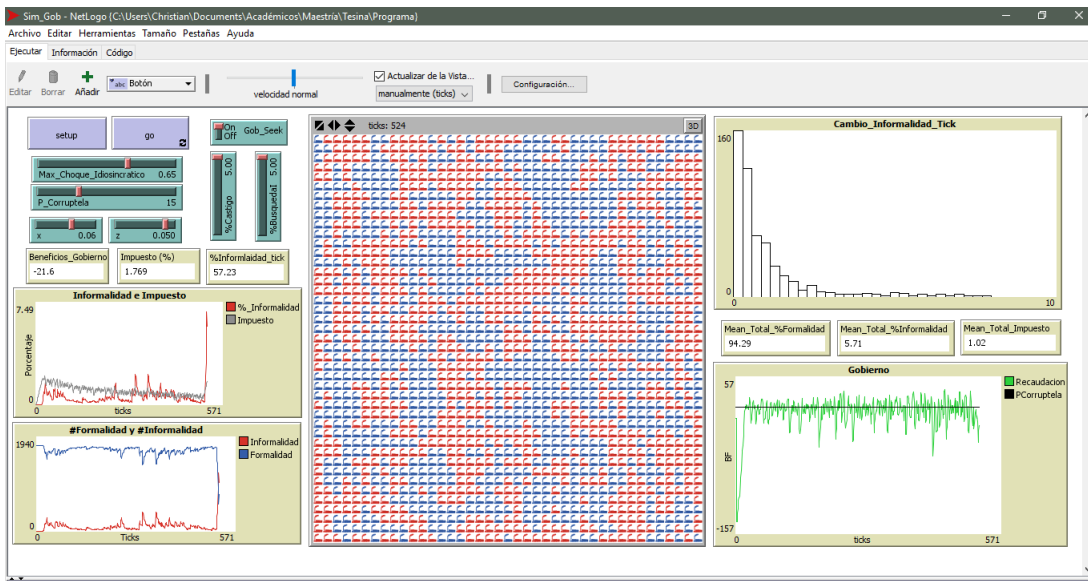


Figura 4.2: *Modelo ABM*

En la figura 4.2 se observa la interfaz del ABM, la cual está constituida por gráficas, una serie de botones para cambiar las condiciones iniciales, monitores y un cuadro que muestra la representación de nuestra economía.

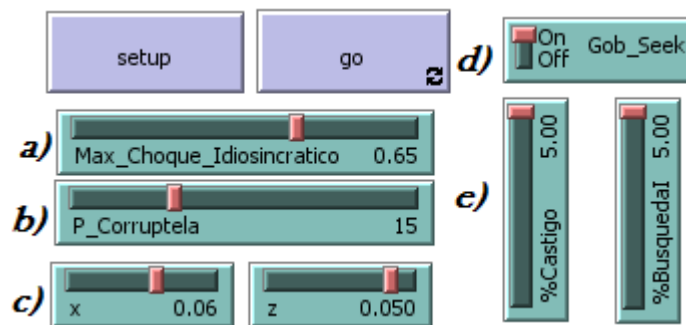


Figura 4.3: *Condiciones Iniciales*

La figura 4.3 muestra una serie de botones, los de color más oscuro sirven para colocar las condiciones iniciales (variables exógenas), enseguida se describen.

- . *Max Choque Idiosincrático (a)*: Determina el valor máximo del choque idiosincrático ( $\alpha_i$ ) que puede tener una empresa, está predefinido en un rango de 0 a 1.

- . *P Corruptela (b)*: Es el ingreso extra que el gobierno se propone reunir (*C*), tiene un rango de 0 a 50 .
- . *x y z (c)*: Representan el costo extra que enfrentan las empresas cuando son formales o informales.
- . *Gob Seek (d)*: Es una función extra, cuando se está en "on" el gobierno busca una fracción de empresas informales y les impone un castigo, además de obligarlas a ser formales.
- . *%Castigo y %Búsqueda (e)*: Son los porcentajes de castigo que impone el gobierno a empresas informales y el porcentaje que el gobierno decide encontrar de empresas informales.

La figura 4.4 muestra un conjunto de gráficas las cuales muestran la evolución de diferentes variables endógenas del modelo. Además, muestra 6 monitores los cuales muestran los valores de variables. Enseguida describiremos que mide cada gráfica y que muestra cada monitor.

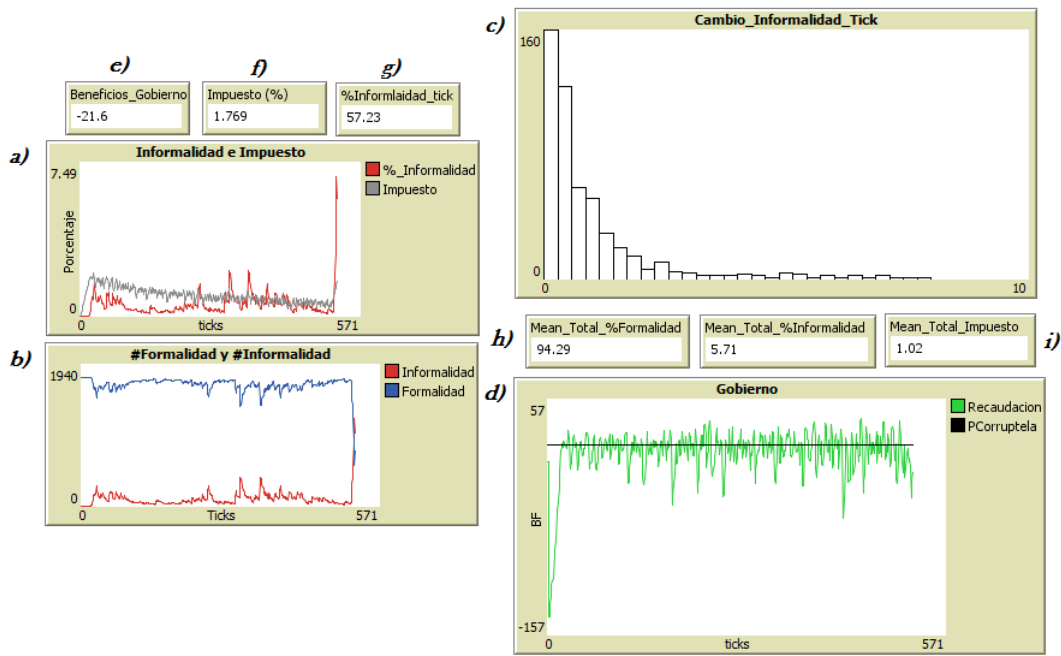


Figura 4.4: Gráficas y monitores presentes en la interfaz del ABM.



a) *Gráficas*

- . *Informalidad e Impuesto (a)*: Muestra la evolución del % de informalidad y del impuesto a través del tiempo.
- . *#Formalidad y #Informalidad (b)*: Muestra el comportamiento del número de empresas formales e informales en el tiempo.
- . *Cambio Informalidad tick (c)*: Es un histograma que cuantifica los cambios en la informalidad a lo largo de toda la corrida de un experimento. Estos cambios son las avalanchas en el modelo BTW, se esperaría situaciones donde se observe una ley de potencia.
- . *Gobierno (d)*: Esta gráfica presenta los cambios en el ingreso del gobierno a través del tiempo. Además, muestra el valor de corruptela que se establece en las condiciones iniciales.

b) *Monitores*

- . *Beneficios Gobierno (e)*: Muestra el valor de los beneficios del gobierno en un tick.
- . *Impuesto (f)*: Muestra el impuesto decidido en un tick, esta en unidades de porcentaje.
- . *%Informalidad tick (g)*: Indica el porcentaje de informalidad presente en un tick.
- . *Mean Total %Formalidad e Informalidad (h)*: Muestran el porcentaje de informalidad y formalidad promedio que esta en el total del tiempo.
- . *Mean Total Impuesto (i)*: Presenta el impuesto promedio que esta en el total del tiempo transcurrido.

La figura 4.5 muestra la visualización de la economía, las fábricas de color azul son empresas formales mientras que las de color rojo son las empresas que deciden ser informales.

Se puede inspeccionar cualquier fabrica, tal como se ve en la figura 4.6. La figura nos muestra la fábrica con su condición, en este caso formal, sus respectivo choque y tao, además de sus beneficios y el número de empresas formales e informales dentro de su vecindad.

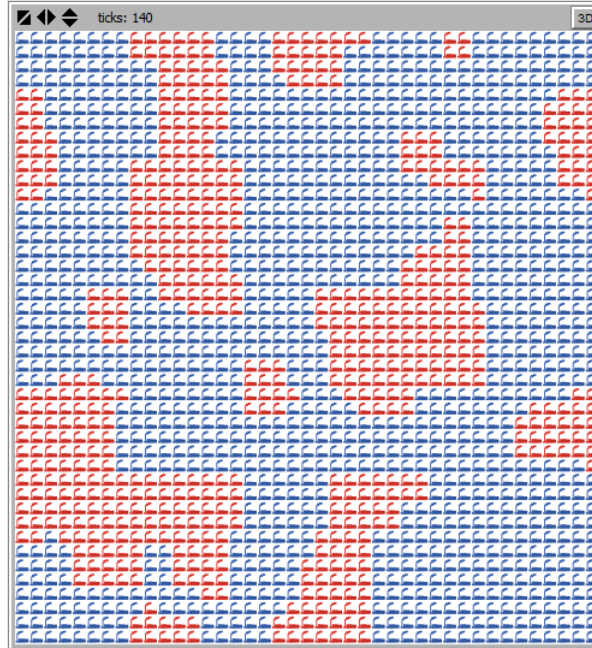


Figura 4.5: Visualización de la economía

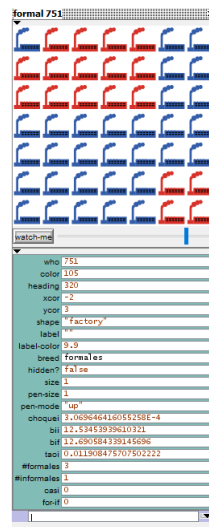


Figura 4.6: Inspección de Empresa

Cuando se inspecciona un elemento (fábrica) también se puede hacer un seguimiento de este durante la ejecución de la simulación. Además, se puede hacer más rápido el tiempo máquina de la simulación.

# Capítulo 5

## Resultados

En esta sección se exponen los resultados principales de la simulación del ABM. Para obtener estos resultados se corrieron una serie de experimentos. Estos experimentos se realizaron sin la opción de que el gobierno encuentra informales, los parámetros  $x$  y  $z$  se escogieron con los valores de 0.13 y 0.115 respectivamente. Adicionalmente, cada corrida se repitió 10 veces con 1,000 ticks por corrida.

Como primer ejercicio se analizó el tamaño de la informalidad al aumentar la corrupción, esto se realizó para 3 economías sujetas a choques idiosincráticos distintos, en concreto a choques de 2%, 5% y 9%. Las gráficas obtenidas se presentan en la figura 5.1, la cual muestra la informalidad como función de la corrupción para las 3 economías antes mencionadas.

Como se observa en la figura la informalidad es creciente en la corrupción para las 3 economías. Sin embargo, la economía con choque idiosincrático de 9% no presenta un comportamiento lineal a diferencia de las otras. Lo que lleva a observar que a medida que la corrupción aumenta, en economías sujetas a choques idiosincráticos altos, la informalidad aumenta aproximadamente en un 32% siempre y cuando la corrupción no pase de un cierto nivel.

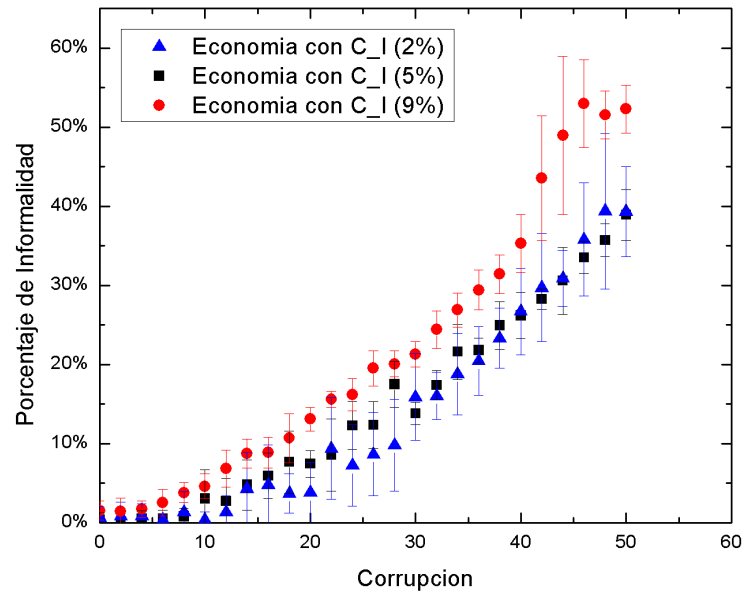


Figura 5.1: Ésta figura presenta 3 economías sujetas a diferentes choques idiosincráticos

Por otro lado, la figura 5.2 presenta a la tasa  $\tau$  como función de la corrupción. Como se observa de la figura el impuesto es prácticamente el mismo para niveles de corrupción relativamente bajos, pero cuando la corrupción es demasiado alta y la economía es muy inestable (choque idiosincrático alto) la tasa  $\tau$  incrementa hasta un 100% más. En otras palabras, se puede observar que la economía con choque idiosincrático alto no tiene un comportamiento lineal en el impuesto. Por otra parte, se puede pensar que economías con impuestos altos pueden llegar a niveles de recaudación altos y así satisfacer su nivel de corrupción, pero como se observó del primer experimento estas economías tienden a tener niveles más altos de informalidad, además de que la recaudación fiscal es menor a la que se esperaría. Esto último se muestra en la figura 5.3, donde se observa la relación entre la recaudación fiscal y la corrupción.

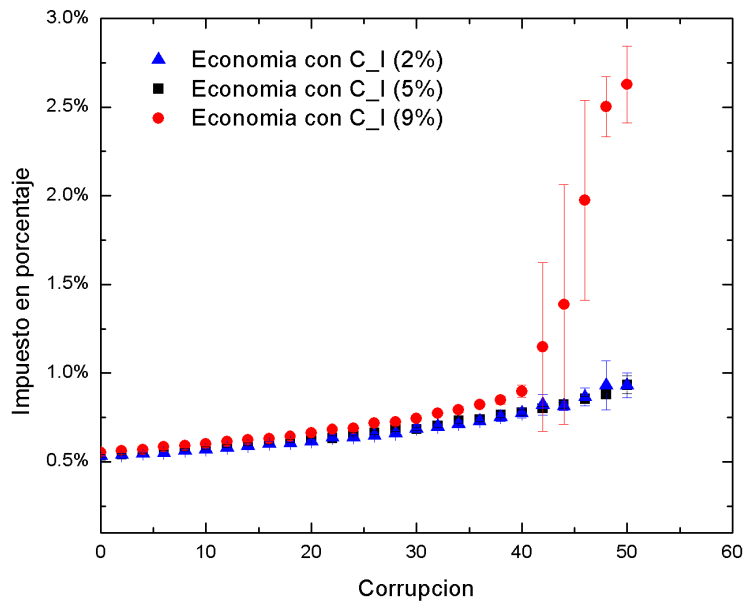


Figura 5.2: *Los impuestos como función de la corrupción*

Como se observa de la figura 5.3, se puede observar que la recaudación del gobierno exhibe un comportamiento que no es lineal con la corrupción, además, se puede observar que existe un momento en el que a un nivel de corrupción recaudación comienza a disminuir lo que es más marcado en economías con choques idiosincráticos altos. De lo anterior y apoyándonos de las figuras anteriores, se puede inferir que las economías tienen un límite en cuanto al impuesto que se desea imponer. Las economías que rebasen este límite no podrán alcanzar sus objetivos. Entonces, si algún gobierno es muy corrupto optará por tener impuestos altos, pero esto llevará a que la informalidad crezca y esto a su vez provocará que la recaudación deseada no se alcance. Lo anterior puede ser mucho peor para economías que están sujetas a choques idiosincráticos altos.

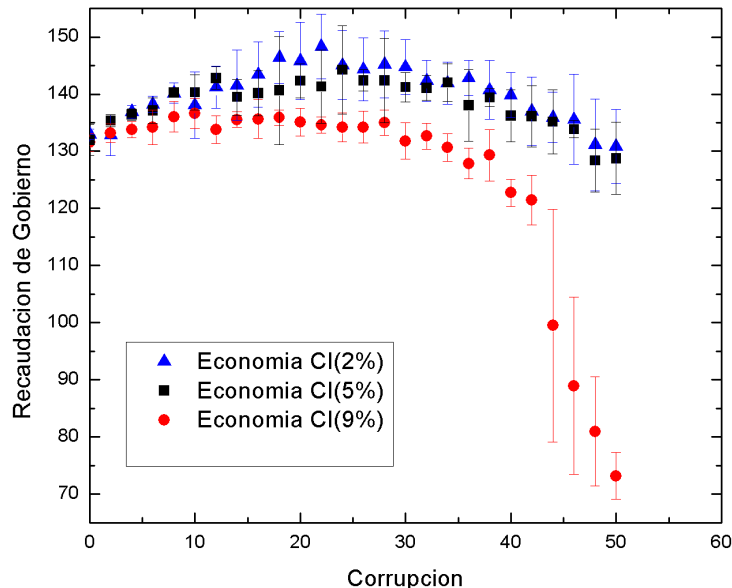


Figura 5.3: *Recaudación de las distintas economías*

Para poder comparar los resultados simulados con datos reales se dispuso de los índices de percepción de corrupción del 2007 publicados por la Transparency International. Estos datos muestran la percepción de la corrupción con un rango de 0 a 10 de 133 países, donde los países con mayor corrupción están cerca de cero y de 10 si la corrupción es poca. Para la informalidad se tomaron los datos publicados en Buehn y Schneider (2007). Además, se dispusieron de los datos del tax revenue del World Bank del año 2007.

La figura 5.4 muestra la disposición de los países de acuerdo con su nivel de corrupción e informalidad. Mientras que la figura 5.5 muestra la disposición de los países como función de la corrupción y la recaudación fiscal. Como se muestra a mayor corrupción más grande es el sector informal. Pero, la recaudación fiscal disminuye a medida que la corrupción es mayor en los distintos países. Este análisis se realizó para los países de la OECD y para países en desarrollo (los países que constituyen el G20) para observar si éstos resultados se reproducen para los dos grupos de países.

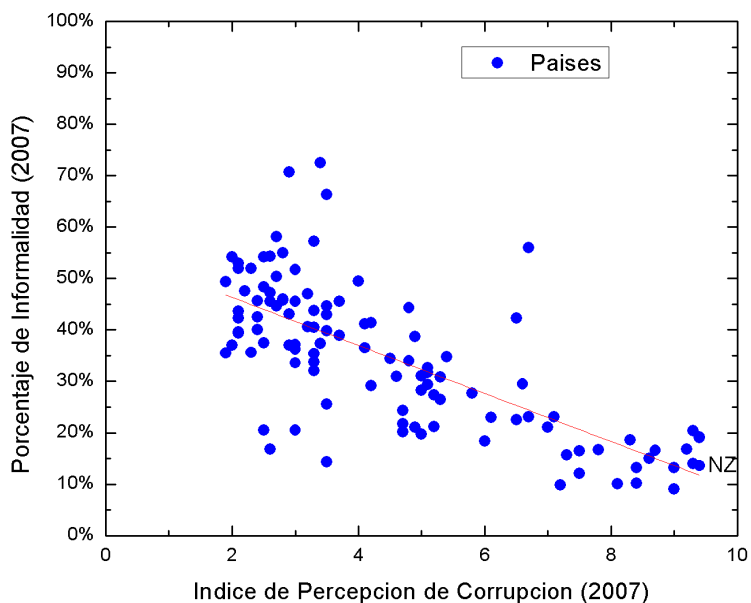


Figura 5.4: Disposición de los países de acuerdo a la informalidad y corrupción en el año 2007.

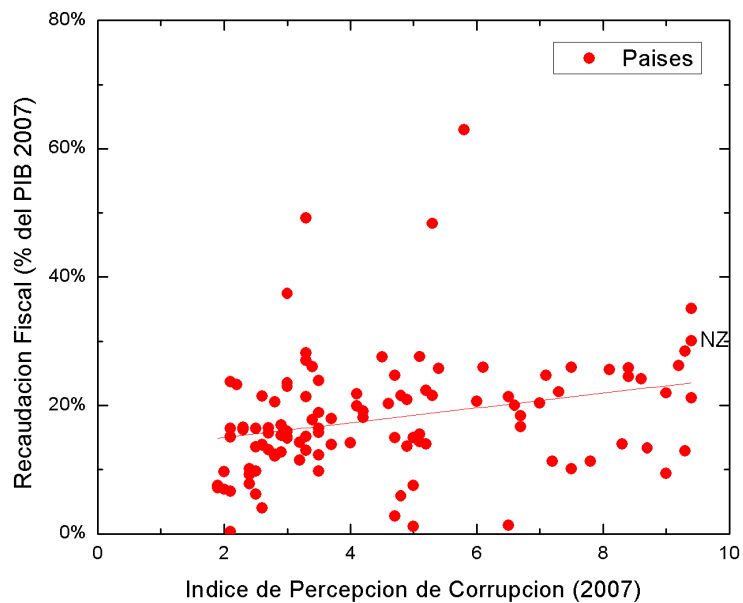


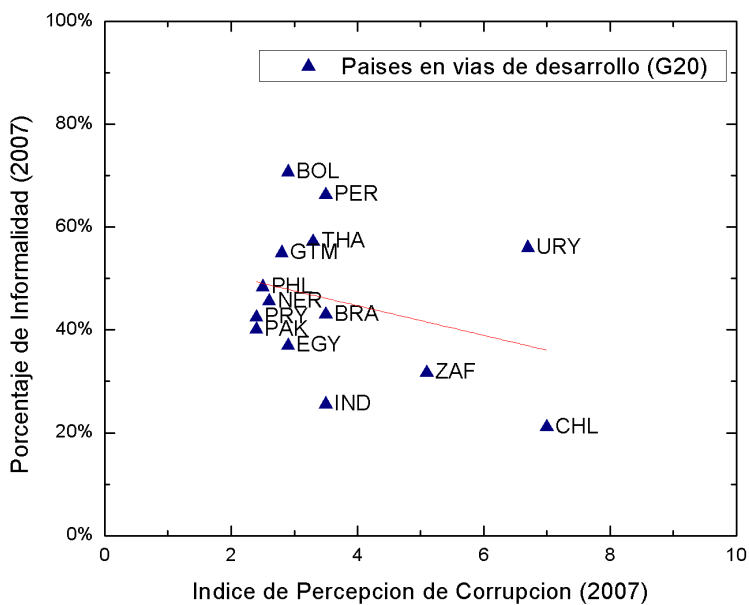
Figura 5.5: Disposición de países de acuerdo a la recaudación fiscal y corrupción en el 2007.



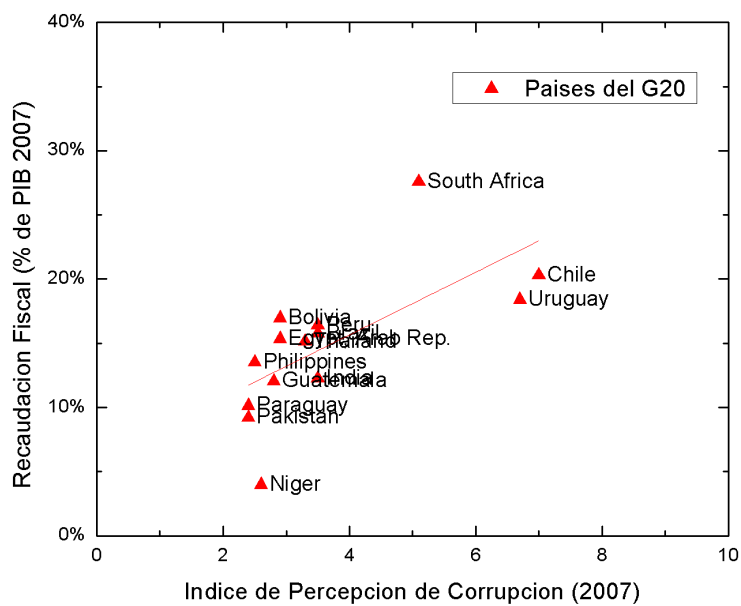


Como se muestra en la figura 5.6, los países de la OECD también tienden a tener mayor informalidad cuando la corrupción es grande. Por otro lado, se muestra que a mayor corrupción la recaudación fiscal tiende a ser menor.

En los países del G20 se sostienen ambos resultados, como se muestra en la figura 5.7. Se debe recalcar que la diferencia entre los países de la OECD y los del G20 es que el primer grupo está constituido de países en vías de desarrollo y desarrollados mientras que el segundo grupo está conformado solo por países en vías de desarrollo, lo que nos puede sugerir que los países del G20 presentan una mayor tensión lo que se traduce a un choque idiosincrático mayor que los países de la OECD. Es por ello, que se observa que la recaudación fiscal tiende a concentrarse en niveles bajos.



(a) Informalidad



(b) Recaudación

Figura 5.7: Países en vías de desarrollo

Por otro lado, como se mencionó en el capítulo 3.1 los sistemas complejos tienden a presentar una ley de potencia. En nuestro ABM se encontró que bajo ciertas condiciones iniciales se presenta la ley de la potencia. Lo anterior nos indica que hay momentos en donde los cambios en el tamaño de la informalidad son grandes aunque poco frecuentes, mientras que los cambios pequeños son más frecuentes. La figura 5.9 muestra la ley de la potencia para 3 economías hipotéticas con diferentes niveles de corrupción.

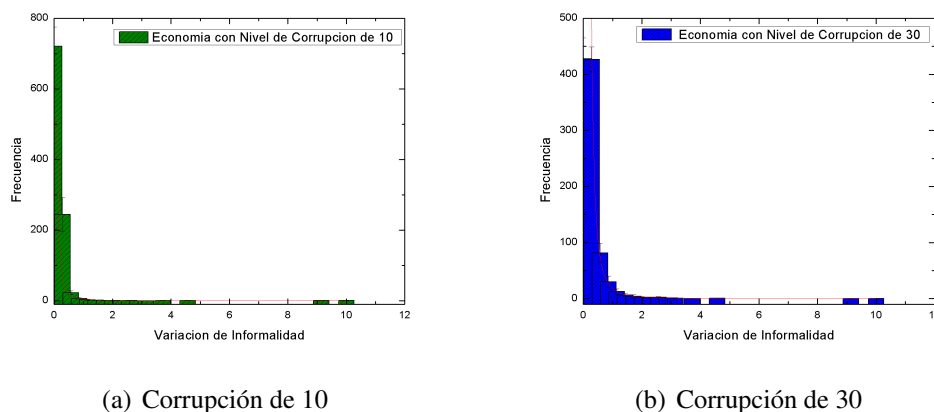
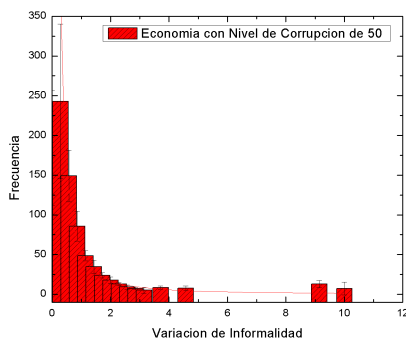


Figura 5.8: Países en vías de desarrollo



(a) Corrupción de 50

Figura 5.9: Ley de la potencia simulada para distintos niveles de corrupción

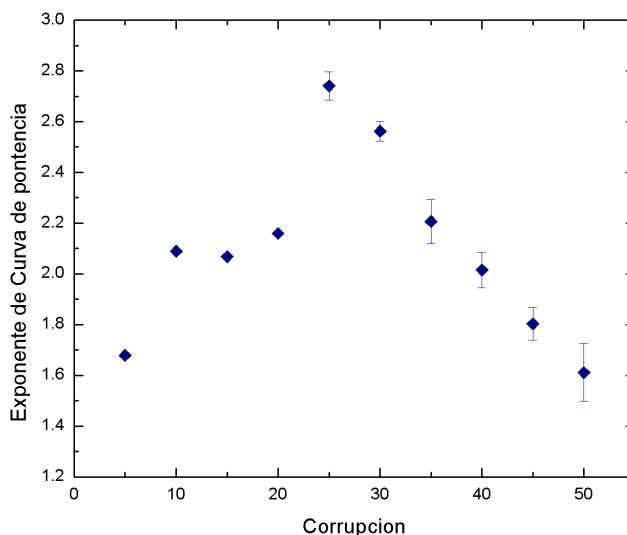


Figura 5.10: Se muestra los exponentes de potencia encontrados para una economía con condiciones iniciales  $x = 0.13$ ,  $z = 0.11$  y  $\alpha = 0.75$

Adicionalmente, la figura 5.10 muestra los exponentes de la potencia encontrados para una serie de experimentos con condiciones iniciales  $x = 0.13$  y  $z = 0.11$ . Lo que se muestra es que para valores de corrupción mayores a 25 comienza a haber un decaimiento lineal en éstos exponentes. Esto indica que a niveles altos de corrupción existe una mayor probabilidad de encontrar cambios grandes de informalidad de un período a otro. En otras palabras, en economías corruptas la informalidad tendrá una mayor volatilidad que las menos corruptas.

Para corroborar estos resultados se procedió a analizar si la informalidad en México presenta un comportamiento similar. Para eso se tomaron los datos mensuales de informalidad del 2005 al 2016 expuestos por el INEGI. La figura 5.11 muestra los cambios de informalidad presentes en México. Es evidente la existencia de una la ley de la potencia en la informalidad lo que corrobora nuestro resultado, además, apoya la idea que tiene sentido pensar a las economías como sistemas complejos.

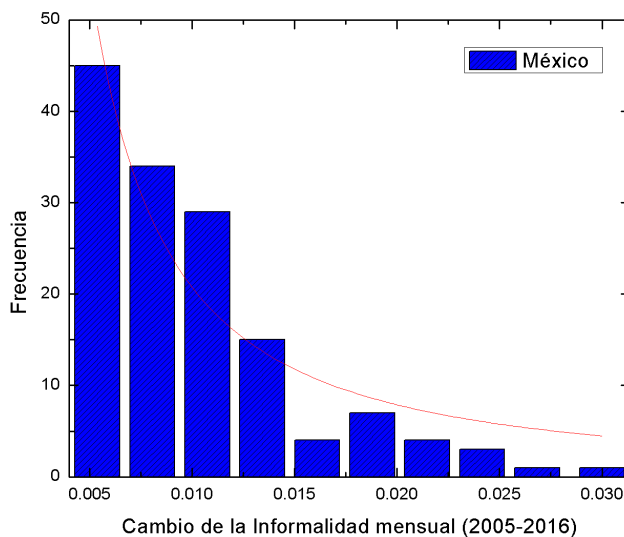


Figura 5.11: Ley de la potencia presente en México.

Como último experimento, se hizo un análisis cuando el gobierno decide de forma activa disipar la informalidad. La figura 5.12 muestra que si en nuestro modelo el gobierno toma acción la informalidad disminuye en un máximo de 85% incluso cuando la corrupción es muy alta.

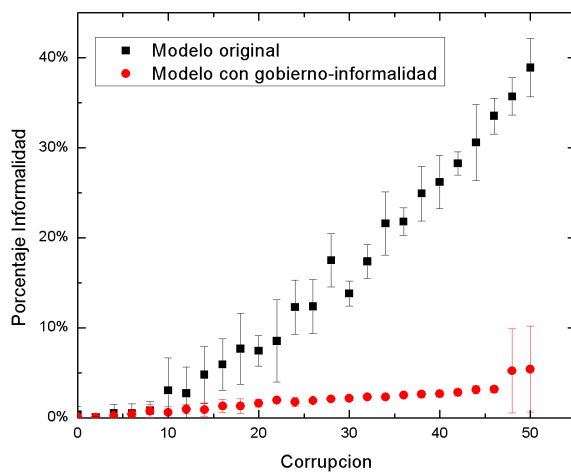


Figura 5.12: Comparación de los resultados cuando el gobierno desea disminuir la informalidad en el modelo.

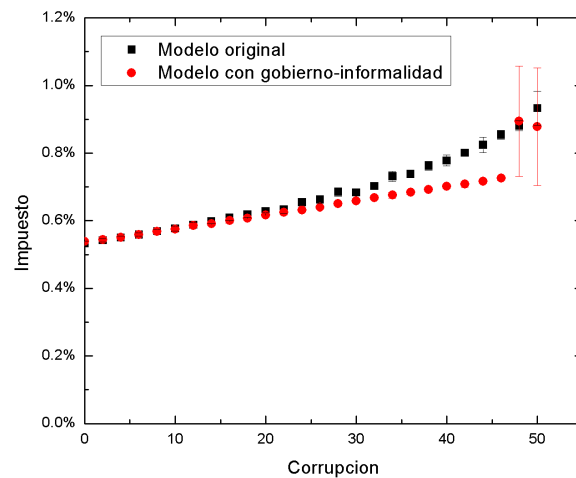


Figura 5.13: *Comparación de los resultados cuando el gobierno desea disminuir la informalidad en el modelo.*

Por otro lado la figura 5.13 muestra el comportamiento del impuesto que aplica el gobierno si éste decide disminuir la informalidad. Se puede observar que el impuesto en un principio es el mismo que el modelo original, pero a medida que la corrupción aumenta el impuesto tiende a llegar a los niveles que el modelo original, en específico para los valores de 45 y 50 de corrupción del modelo.

# Capítulo 6

## Conclusiones

La informalidad es un fenómeno que se distingue por ocasionar problemas fiscales en los países. Éste trabajo tiene como principal objetivo la modelación de la informalidad desde la visión de la complejidad, para ello se programó un modelo basado en agentes (ABM) a partir de un modelo teórico que fundamenta el proceso de interacción. Con el ABM se ha podido mostrar que la informalidad surge como un proceso emergente de la interacción entre las empresas formales e informales y de las decisiones que va tomando el gobierno, esto se confirma con la aparición de la ley de la potencia en los cambios de tamaño de informalidad a lo largo del tiempo. Por otro lado, se sugiere que el sector informal es más grande en países con niveles altos de corrupción. Países en vías de desarrollo tienden a tener sectores grandes de informalidad y corrupción lo que no le permite que el gobierno sea tan eficiente en la recaudación fiscal como los países desarrollados. Finalmente con el modelo se encontró que la informalidad disminuye en un 80% cuando el gobierno trata de disminuir la informalidad, por medio de la búsqueda y castigo de las empresas informales, acción que se sugiere tomen los gobiernos de los países con sectores grandes de informalidad.

Como futuros trabajos, se podría calibrar el ABM de tal modo que tuviera parámetros iguales o cercanos a los de una economía en específica y tratar de comparar los resultados con la evidencia empírica del país.

# Apéndice A

## ABM Código

A continuación se presenta el código del ABM realizado en Netlogo versión 5.3.1.

```
;;Definicion de variables globales
globals[
  N ;;Representa el numero de agentes en nuestra economia
  F ;;F lista que guarda el # de formales por tick
  #F ;;#F representa el numero de empresas formales
  I ;;I lista que guarda el # de informales por tick
  %I ;;%I guarda el cambio de tama~no del sector informal por tick
  benGob ;;benGOb son los beneficios del gobierno totales
  benGobI ;;benGObI beneficios del gobierno exclusivos por el sector informal
  precio ;;representa el precio
  T ;;T lista para guardar los impuestos por cada tick
  tao ;; tao es el impuesto en un cierto tick
  cas ;; Castigo por estar en el sector informal
  R B ;; Variables auxiliares
]
```



```

;;Definicion de empresas (2 tipos)
breed[formales formal]
breed[informales informal]

;; Caracteristicas que son comunes entre empresas
turtles-own[
  ChoqueI ;; Choque idiosincratICO
  biI biF ;; Beneficios si se es formal y si es informal
  taoi ;; Tasa impositiva de cada empresa
  #formales #informales ;; Numero formales e informales en la vecindad
  casi ;; Castigo
  for-if ;; Variable auxiliar
]

;; Definicion de las condiciones iniciales
;;Gobierno inicia con una tao=0 y todos son formales
to setup
  ca
  set N (count patches)
  ask turtles [set for-if (0)]
  set precio (25)
  set tao (0)
  set F []
  set I []
  set %I []
  set T[]
  ask patches [set pcolor white]
;;Se define al sector informal, asi como el ChoqueI y taoi inicial
create-formales N[
  set shape "factory"
  set color blue
  set ChoqueI random-float Max_Choque_IdiosincratICO
  set taoi random-float tao]

```

```

;;Funcion para posicionar a cada turtle en un patch vacio
ask patches with [count turtles-here >= 2]
  [ask one-of turtles-here [ask other turtles-here
    [move-to one-of patches with [not any? turtles-here]]]]
reset-ticks
end
;; Instrucciones que se realizan en cada tick
to go
  tick
  ;;Se cuenta el numero de formales
  set #F (count formales)
  ;;Condicion para parar el programa si tao>1
  if tao >= 1 or #F = 0 [stop]
  ;; Decision de ser informal
  ask turtles [
    beneficios ifelse biI > biF
    [set breed informales]
    [set breed formales]]
  ;;Funcion del gobierno
  gobierno
  ;;Imposicion del gobierno a ser formal si se fue informal
  ask n-of random (count informales) informales[
    if for-if > 0 [
      set breed formales
      set for-if (0)]]
  ;;Redefinicion de ChoqueI a los formales
  ask n-of random (count formales) formales[
    set ChoqueI (ChoqueI - random-float 0.015)
    while [ChoqueI < 0]
    [set ChoqueI (ChoqueI + random-float .0010)]]
  ;;Redefinicion de tao a los formales
  ask n-of random (count formales) formales[

```

```

    set taoi random-float tao]
;;Redefinicion de ChoqueI a los informales
ask n-of random (count informales) informales[
    set ChoqueI (ChoqueI + random-float 0.005)]
;;Definicion de formales e informales
ask turtles [set shape "factory"]
ask informales [set color red]
ask formales [set color blue]
;;Mecanismos para generar las listas
set R (#F / N )
set F lput R F
set I lput (1 - R) I
set T lput tao T
;; Funcion que genera el cambio porcentual de la informalidad cambio
end

;;Funcion de beneficios
to beneficios
set #formales (count formales-on neighbors4)
set #informales (count informales-on neighbors4)

set biF ( (1 - taoi)*( precio * ( 1 - ChoqueI) - (1 / 2) * exp((N - #F) / N ) *
    (1 + x)^(#informales) + #formales) + #informales)
set biI ( precio * ( 1 - ChoqueI) - (1 / 2) * exp((N - #F) / N ) * (1 + z)
    ^(#informales + #formales)+ #formales + #informales)
end

```

```

;;Funcion de gobierno
to gobierno
  set benGob (sum [ taoi * ( precio * ( 1 - ChoqueI) - (1 / 2) * exp((N - #F) / N ) *
                    (1 + x)^(#informales) + #formales) ] of formales)
  set benGob (benGob + benGobI - (0.08) * #F)
;;Decisiones de aumento en tao
if bengob < P_Corruptela [
  set tao (tao + .001)]
if bengob > P_Corruptela [
  set tao (tao - random-float .003)
  while [tao < 0]
  [set tao (tao + random-float .003)]
]
;; Si se decide, el gobierno puede buscar a los informales
if Gob_Seek [seek]
end

;;Funcion de busqueda del gobierno
to seek
  ask n-of ( (%BusquedaI / 100) * (count informales)) informales[
    set casi random-float (%Castigo / 100)
    if any? informales-on neighbors4[
      ask informales-on neighbors4 [
        set biI ( (1 - taoi - casi)* biI)
        set taoi (random-float tao)
        set for-if (1)]
      set benGobI ( sum [ (taoi + casi ) * biI ] of informales-on neighbors4 )]
    set biI ( (1 - taoi - casi)* biI)
    set benGobI (benGobI + sum [ (taoi + casi ) * biI ] of informales-here )
    set taoi (random-float (tao - casi))
    set for-if (1)]
end

```

```
;;Funcion para generar los cambios porcentuales en informalidad
to cambio
  if R > 0[
    set %I lput (abs( (B - R ) / R ) * 100 ) %I
    set B (R)]
end
```

# Apéndice B

## Modelo BTW

Matemáticamente el modelo BTW en una dimensión se describe como sigue. Sea un sistema abierto compuesto de una malla que contiene  $L$  sitios,  $i = 1, 2, \dots, L$ , sellada de lado izquierdo pero abierta de lado derecho. Sea  $h(i)$  el número de granos que el sitio  $i$  contiene y sea  $z(i) = h(i) \sim h(i + 1)$  la pendiente en el sitio  $i$ , por convención  $h(L + 1) = 0$ . Además, se propone como condición que cada elemento de la malla tiene como pendiente límite  $z_k$ . La dinámica se describe como a continuación sigue: se sueltan granos que manera aleatoria en los sitios de la malla, cuando ocurre que un sitio tiene una pendiente mayor al límite ( $z(i) > z_k$ ) se genera una avalancha. La avalancha se propagará hasta que en un sitio  $i + l$  la pendiente sea menor que el límite ( $z(i + l) \leq z_k$ ).

Esta dinámica se puede estudiar desde la perspectiva de las pendientes y se resume en los siguientes pasos (Christensen y Moloney, 2005):

1. Inicialización: todos los sitios están en un estado arbitrario (cantidad de granos arbitrario) cumpliéndose que  $z(i) \leq z_k$  para todo  $i$ .
2. Movimiento: Se comienza a soltar granos de arena en el sitio  $i$ 
  - a) Si  $i = 1$ :

$$z(1) \rightarrow z(1) + 1$$

b) Para algún  $i \neq 1$ :

$$z(i) \rightarrow z(i) + 1$$

$$z(i-1) \rightarrow z(i-1) - 1$$

3. Relajación: Si tenemos que  $z(i) > z_k$  para algún sitio  $i$ , se tiene que:

a) Si  $i = 1$ :

$$z(1) \rightarrow z(1) - 2$$

$$z(2) \rightarrow z(2) + 1$$

b) Para algún  $i \neq 1$  y  $L - 1$ :

$$z(i) \rightarrow z(i) - 2$$

$$z(i \pm 1) \rightarrow z(i \pm 1) + 1$$

c) Para algún  $i = L$ :

$$z(L) \rightarrow z(L) - 2$$

$$z(L-1) \rightarrow z(L-1) + 1$$

4. Iteración: Ser repiten los pasos a partir del número 2.

Como se mencionó en la metáfora de la pila de arena, unos de los fundamentos importantes de este modelo es conocer la magnitud de la avalancha (o su tamaño) como función de la frecuencia.

El tamaño de la avalancha está dado por la siguiente expresión:

$$S = L - i + 1 \tag{B.1}$$

Donde  $L$  es el tamaño de la malla e  $i$  es el sitio donde la pendiente excede el límite. Nótese que el tamaño de la avalancha tiene un máximo cuando  $i = 1$  y un mínimo en  $i = L$ .

La probabilidad de que ocurra una avalancha de tamaño  $s$  en una malla de tamaño  $L$ , está dado

por la siguiente expresión (Christensen y Moloney, 2005):

$$P(s, L) = \begin{cases} \frac{1}{L} & \text{si } 1 \leq s \leq L \\ 0 & \text{si } else \end{cases} \quad (\text{B.2})$$

Utilizando la función de Heaviside, lo anterior se puede reescribir como:

$$P(s, L) = 1/L\Theta(1 - \frac{s}{L}) \quad (\text{B.3})$$

Multiplicando ambos lados por  $s$  y definiendo la función de probabilidad del tamaño de la avalancha como  $\Psi(x) = x\Theta(1 - x)$ , tenemos que:

$$sP(s, L) = \Psi(\frac{s}{s_c}) \quad (\text{B.4})$$

Donde  $s_c$  es el tamaño de la avalancha máxima, para este caso  $s_c = L$ . Con lo anterior podemos calcular el tamaño de la avalancha promedio, entonces:

$$\langle s \rangle = \sum_{i=0}^{\infty} sP(s, L) = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^L s = \frac{L+1}{2} \quad (\text{B.5})$$

Lo que se puede notar es que a medida que el Sistema es más grande (tamaño de la malla) el tamaño de la avalancha promedio se incrementa de igual manera.



# Referencias

- Antón, A., y Gutierrez, R. (2016). “Informality and productivity.” *Economics Bulletin*, 36(1), 205–217.
- Bak, P. (1996). *How nature works: The science of self-organized criticality* (1st ed.). Nueva York: Copernicus.
- Buehn, A., y Schneider, F. (2007). “Shadow economies and corruption all over the world: Revised estimates for 120 countries.” *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, 1(9), 1–66.
- Castañeda, G. (2009). “" sociomática": El estudio de los sistemas adaptables complejos en el entorno socioeconómico.” *El Trimestre Económico*, 5–64.
- Castañeda, G. (2017). *Informalidad y la pila de arena*. (Manuscrito)
- Christensen, K., y Moloney, N. R. (2005). *Complexity and criticality* (1st ed.). London, UK: Imperial College Press.
- De Paula, A., y Scheinkman, J. A. (2010). “Value-added taxes, chain effects, and informalit.” *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2(4), 195–221.
- Ihrig, J., y Moe, K. S. (2004). “Lurking in the shadows: the informal sector and government policy.” *Journal of Development Economics*, 73(2), 541–557.
- Loayza, N., y Rigolini, J. (2006). “Informality trends and cycles (the world bank policy research department n 4078).” *Washington: Banco Mundial*.
- Prado, M. (2011). “Government policy in the formal and informal sectors.” *European Economic Review*, 55(8), 1120–1136.

Ramírez, S. (1999). *Perspectivas en las teorías de sistemas* (1st ed.). México: Siglo Veintiuno.

Restrepo-Echavarría, P. (2014). “Macroeconomic volatility: The role of the informal economy.”

*European Economic Review*, 70, 454–469.