

# Guerras de divisas: una aproximación desde las redes complejas

Lautaro Chittaro      Santiago Llamas      Pascuel Plotkin

## Resumen

Este trabajo resalta importancia de las interconexiones en una red a la hora de analizar el fenómeno de guerras de divisas. Para ello, planteamos un modelo de ajuste de balanza de pagos “mecánico” y lo simulamos bajo distintas redes comerciales y bajo distintas situaciones de balanza comercial. Se analiza las implicancias de los distintos parámetros sobre la duración de la crisis, particularmente aquellos donde la duración deja de ser finita y el sistema pierde su convergencia. Con umbrales que disparan la crisis bajos, mayor grado de la red, mayor número de nodos y mayor probabilidad de reconexión aumenta la duración de la guerra. Sin embargo, el aumento del número de nodos no lleva a la pérdida de convergencia del sistema. Además, en redes con mayor grado de clusterización notamos que el agrupamiento funciona como buffer de la duración. Por último se describe la red comercial para el año 2015 y sobre ella se simula el modelo. En este caso, detectamos que para una franja de umbrales que cubren entre el 10% y el 20% de los países iniciales, la duración de la guerra se incrementa más de 10 veces.

## Introducción

Las guerras de divisas es un fenómeno en el cual distintos países compiten reduciendo el valor de su moneda respecto de la de sus contrincantes, con el fin de obtener ventajas comerciales. En el inicio de la Gran Depresión, el abandono del patrón oro desató la competencia de las principales monedas del mundo para reducir su valor y disputarse una porción mayor de los bajos niveles de la demanda de entonces. El mundo posterior de Bretton Wood restringía el surgimiento de guerras de divisas a través de su sistema de paridades fijas. Sin embargo, el fin de la convertibilidad del dólar, la reducción de los costos del transporte y la comunicación y la mayor liberalización del comercio y las finanzas dio inicio una nueva era en las relaciones económicas entre países, de un grado de interconexión sin precedentes. Bajo este nuevo contexto, las guerras de divisas fueron un tema recurrente luego de la Gran Recesión de principios de este siglo, a raíz de los estrategias desplegadas y de las posibles respuestas.

Este trabajo se presenta como un complemento de la literatura de macroeconomía real de economías abiertas y de comercio internacional, utilizando el instrumental de la teoría de grafos o redes. Este herramental permite analizar de forma natural la interconexión entre países, inherente a la estructura del mundo globalizado. Esencialmente, esta posibilidad se debe a la flexibilidad de analizar distintas modalidades de redes, lo cual permite comprender el efecto mismo que tiene la estructura en una guerra de divisas.

El trabajo se compone de cinco secciones. La primera sección hará un breve repaso de la literatura relacionada con el trabajo. Luego se repasaran algunos conceptos básicos sobre redes, necesarios posteriormente. La tercera sección estará destinada a describir el modelo en su versión más básica. Para esto utilizaremos, por su simplicidad, una red determinista regular (“anillo”) donde los parámetros de interés serán la cantidad de países (nodos), las relaciones entre países (links) y el umbral de balanza comercial negativa. La cuarta sección, por su parte, explorará las implicancias de variaciones en la configuración de la red adoptada. En este caso, se incorporarán al análisis 2 tipos de redes aleatorias para comprender la importancia relativa de la red adoptada en la modelización. La sección cinco describirá la red comercial empírica para el año 2015 y simulará el modelo sobre ella. Finalmente, se presenta las conclusiones y

comentarios finales.

## 1. Literatura previa

El modelo presentado en este trabajo se enraíza en dos vertientes literarias. En primer lugar, el trabajo se enmarca dentro de la literatura que estudia la red de comercio internacional. En particular, De Benedictis & Tajoli (2011) utilizan herramientas del análisis de redes para representar gráfica y analíticamente las características de la evolución del comercio mundial. En este contexto, los autores buscan identificar patrones en las relaciones comerciales entre países e identifican un aumento exponencial del comercio en las últimas décadas. A su vez, encuentran que los países miembros de la OMC se encuentran mayormente relacionados entre ellos, potenciando la hipótesis de que las políticas comerciales juegan un rol importante en la formación de redes. En esta misma línea, Bhattacharya et al (2008) se proponen registrar hechos estilizados en la red de comercio mundial a lo largo del tiempo y encuentran que la distribución de los links ponderados –y re escalados – se aproxima a una distribución log-normal robusta para los últimos 53 años. He & Deem (2010), por su parte, presentan una interesante investigación donde al tratar a la red de comercio mundial como un sistema evolutivo, obtienen resultados que evidencian una red más sensible a shocks recesivos, con una recuperación más lenta que hace 40 años.

Si bien los trabajos mencionados indagan en las características de las redes que forman el comercio mundial, nuestro trabajo se diferencia en tanto investiga los efectos de ciertos parámetros de interés en la convergencia del sistema a partir de la propagación de un shock. Este tipo de análisis es relativamente novedoso para la dinámica de la balanza comercial, pero no lo es para el mundo financiero. Aquí es fácil identificar algunos trabajos seminales que han investigado acerca de la propagación de crisis financieras en un marco de redes complejas. Un ejemplo claro es el de Gai & Kapadia (2010) quienes modelan una red aleatoria de bancos, en donde inicialmente son todos solventes hasta que en  $t = 1$  se perturba el sistema con el default de un banco. A partir de este shock los autores estudian la dinámica a partir de la cual un pequeño impulso convertirse en una crisis sistémica. De esta forma, el contagio adopta una forma distinta con respecto a nuestro trabajo. Mientras que en el modelo de Gai

& Kapadia el foco está puesto en la expansión del contagio (teniendo en cuenta que los bancos que defaultean, se mantienen defaulteados a lo largo de todo el ejercicio), en nuestra simulación el interés está puesto en la duración de la guerra comercial, por lo que un país que está en crisis de balanza de pago, rápidamente puede alterar su situación.

En el mismo eje, Haldane & May (2011) estudian los canales de propagación de shocks, provenientes principalmente de procesos endógenos, en una red financiera. Los autores presentan un escenario en donde analizan, en primer lugar, el impacto de la disminución abrupta de los activos de un banco, y luego, un shock que disminuye el precio de mercado de un activo que poseen muchos bancos. El segundo caso es particularmente interesante puesto que presenta una situación inicial en  $t = 1$  donde varios nodos se ven afectados a la vez. Este esquema se asemeja al exhibido en nuestro trabajo donde inicialmente – y de manera aleatoria – varios países en simultáneo pueden presentar una balanza comercial deficitaria menor que el umbral. Bajo este escenario, Haldane & May concluyen que la homogeneidad excesiva entre los agentes puede llevar a minimizar el riesgo de cada nodo a nivel individual, pero maximizar la probabilidad de que el sistema entero colapse.

De esta serie de publicaciones, sin embargo, la que presenta una red similar a la propuesta por nuestro trabajo es Kali & Reyes (2010). Aquí, los autores buscan responder si la integración a la red de comercio internacional expone más a un país a crisis financieras. Para esto, se plantea una red basada en los datos de comercio internacional que ilustran de forma relativamente detallada las relaciones comerciales (links) entre los distintos países (nodos). No obstante, a diferencia de nuestro trabajo los autores se focalizan en el rol que juega el nivel de conexión de cada nodo con el sistema, utilizando distintos indicadores que permiten medir la importancia relativa de un nodo con respecto a otro en términos de su conexión con la red de comercio global. En consecuencia, en lugar de utilizar simulaciones para manipular shocks, los autores recolectan data de crisis históricas a partir de la cual efectúan regresiones y evalúan la significatividad de distintas variables de interés.

## 2. Redes

El estudio del impacto de fenómenos que se desarrollan dentro de estructuras sociales, biológicas, informáticas y económicas ha llevado a profundizar en la teoría acerca de la importancia de estas estructuras. En particular, en esta sección nos enfocaremos en ilustrar aspectos del análisis de redes que permitan describir de forma más precisa la naturaleza del mismo.

Una red o grafo está compuesta por una cantidad finita de nodos (o vértices) que se encuentran relacionadas entre sí a través de links. Esencialmente, un nodo puede representar cualquier elemento que componga una red, mientras que los links modelizan los vínculos que asocian a los distintos nodos en el sistema. Por ejemplo, en nuestro modelo, los nodos representan cada país mientras que los links se interpretan como las transacciones de bienes entre las naciones. La vecindad de un nodo, por su parte, se define como el conjunto de vértices que se encuentran directamente vinculados con él.

Un grafo puede adoptar distintas formas dependiendo sus propiedades. Un primer caso es el de los grafos orientados donde los enlaces entre los nodos son unidireccionales. Un ejemplo típico de este tipo de grafos es una red de proveedores y vendedores donde los primeros proveen de insumos a los segundos mientras que los segundos venden a los consumidores finales. Luego también pueden existir grafos pesados en donde se pondera la intensidad de la interacción entre los nodos. Si bien existe una gran extensión de tipos de grafos atendiendo a diferencias en distintas dimensiones, nosotros nos concentraremos principalmente en dos tipos de grafos: deterministas regulares y aleatorios.

Los grafos deterministas regulares se definen como redes en donde todos los nodos tienen el mismo número de vecinos, dando configuraciones representables por un “anillo” (en el caso de dos vecinos por nodo). Este tipo de red es utilizada frecuentemente por su simplicidad, pero implica un alto grado de homogenización en los agentes pertenecientes al sistema. Estos grafos también son deterministas en oposición a los siguientes. Los grafos aleatorios, a su vez, se generan cuando los links entre nodos se determinan mediante un proceso aleatorio. En este trabajo utilizaremos dos redes aleatorias particulares: las llamadas redes de Erdős & Rényi (1959) y las llamadas redes de Watts & Strogatz (1998)

Asimismo, cada red suele caracterizarse a través de ciertos indicadores o parámetros. Además de la vecindad de un nodo ya descrita y los grados de un nodo (cantidad de vecinos), podemos definir la distancia mínima entre nodos como el número mínimo de vínculos que es necesario recorrer para unir dos nodos. Este último indicador suele presentarse en forma de promedio para instruir acerca del grado de apartamiento entre dos nodos cualesquiera.

Por su parte, el indicador de clustering representa la fracción de vecinos de un nodo  $i$  que a su vez son vecinos entre sí, generando una medida del nivel de integración del vecindario de un nodo. Algebraicamente,

$$C_i = \frac{E_i}{\frac{k_i(k_i-1)}{2}}$$

donde  $k_i$  es el grado del nodo  $i$  y  $E_i$  es la cantidad de links que une entre sí a los vecinos del nodo sin contar a  $i$ . Consecuentemente, el clustering medio se presenta simplemente como el promedio de  $C_i$  de toda la red.

## 2.1. Redes aleatorias: Erdős & Rényi

Este tipo de redes contienen propiedades interesantes cuando van aumentando la cantidad de conexiones entre los nodos. En este sentido, los autores encontraron que para un  $p = p_c = \frac{1}{N}$  donde  $p$  es la probabilidad de que dos nodos estén conectados entre sí, las redes sufren modificaciones importantes. Al respecto, Heymann, Perazzo y Zimmermann (2013) las describen en cuatro aspectos característicos:

- Cuando la probabilidad de conexión de un par de nodos sea menor que  $\frac{1}{N}$ , la red contendrá partes aisladas entre sí, y los mayores “conglomerados” de nodos vecinos tendrán un tamaño del orden de  $\log N$
- Cuando  $p = p_c$ , la componente más grande tiene un tamaño  $O(N^{\frac{2}{3}})$  con una probabilidad  $O(1)$
- Si  $p > p_c$  la red tendrá una componente “gigante” con  $O(N)$  nodos y ningún otro componente tendrá más que  $O(\log N)$  nodos

- La distribución de los grados de conectividad para un  $N$  grande y valor fijo de  $K$  (links) puede aproximarse con una distribución de Poisson

En cuanto a la distancia mínima media de las redes aleatorias y el clustering, a medida que aumenta la cantidad de nodos del grafo, la primera aumenta lentamente (de forma logarítmica) mientras que la segunda disminuye rápidamente. Estos resultados implican que será altamente improbable que dos vecinos de un mismo nodo sean a su vez vecinos entre sí, pero la distancia media entre dos nodos será relativamente corta.

## 2.2. Redes aleatorias: Mundo pequeño

Una variante a las redes propuestas por Erdős & Rényi (1959) es la red de mundo pequeño estudiada por Watts & Strogatz (1998). Este tipo de red hace referencia un sistema en el cual existen diversos clusters separados que se encuentran unidos entre sí a través de unos pocos nodos. El ejemplo más emblemático de este tipo de red fue popularizado por Milgram (1967) que concluyó, luego de un experimento social, que la distancia en EEUU entre dos personas cualquiera era de aproximadamente seis grados.

Para generar este tipo de grafo, se puede comenzar a partir de una red regular de grado  $k$ , seleccionando de forma aleatoria (con probabilidad  $p$ ) enlaces y reconectando uno de sus vértices con cualquier otro nodo de la red. De esta forma, la nueva distancia mínima y el coeficiente de clustering se convierten en funciones de  $p$ . Este proceso genera una transición de una red regular a una red aleatoria cuya velocidad de transformación depende en particular del parámetro  $p$ . La transición, por su parte, contiene por sí misma algunas propiedades interesantes. En este sentido, para una probabilidad de reconexión pequeña, en una red cuyas características esenciales son aun similares a las de un grafo regular, el coeficiente de clustering se mantiene relativamente constante con respecto al grafo regular, mientras que la distancia mínima media se acorta rápidamente, aproximándose a los valores de una red aleatoria. Esta es precisamente la característica central de las redes de mundo pequeño, en donde en un vecindario la mayoría de los nodos se encuentran relacionados entre sí, a la vez que la información fluye rápidamente entre vecindarios por la existencia de algunos pocos vínculos que las conectan a lo largo del grafo.

### 3. Modelo mecánico de guerras de divisas

En la siguiente sección se describirá el modelo de guerra de divisas para el caso una red comercial sencilla. Se analizaran variaciones en parámetros del modelo y se comentarán los resultados obtenidos

El conjunto  $P$  agrupa a los países-nodos  $p_i$  de una red, indexados por  $i \in \{1, 2, \dots, N\}$ . A su vez, cada país  $p_i$  puede tener una relación comercial con otro  $p_{j \neq i}$ , o bien puede no relacionarse comercialmente con el país  $p_{k \neq i \neq j}$ . Estas relaciones comerciales definen el conjunto de vínculos o links de la red, los cuales se imponen exógenamente.

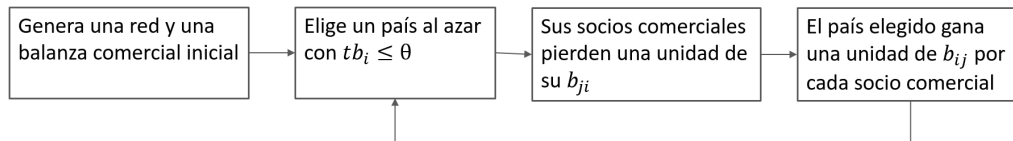
El resultado de la relación comercial entre dos países que poseen vínculos es medido a partir de la balanza bilateral  $b_{ij}$ . Por la definición de balanza comercial bilateral,  $b_{ij} = -b_{ji}$ . Naturalmente,  $tb_i = \sum_{j \in P_i} p_j$  representa la *balanza comercial total* del país  $p_i$ , siendo  $P_i$  el conjunto de países que efectivamente *tienen* un vínculo comercial con  $p_i$ . A nivel agregado,  $\sum_{p_i \in P} tb_i = 0$ .

Se define exógenamente un parámetro  $\phi$  al que llamamos umbral de balanza comercial. Un país no puede sostener un valor de balanza comercial total debajo de este umbral, por lo que cuando  $tb_i \leq \phi$ , el país  $p_i$  le quita una unidad de balanza bilateral a cada uno de sus socios comerciales. Este episodio, que definiremos como crisis (de balanza comercial), es racionalizable tanto a partir de políticas cambiarias y comerciales del tipo de “empobrecer al vecino” como a partir de una compresión de la demanda agregada tal que deprima las importaciones de  $p_i$ . Nótese que aquí nunca estaremos modelizando explícitamente el comportamiento de exportaciones e importaciones, ni nos es relevante la situación comercial bilateral, sino que únicamente impondremos una restricción sobre el agregado de sus balanzas bilaterales.

Para una primera aproximación, aplicaremos este modelo a una red determinística regular de  $N = 10$  países y  $k = 2$  links por nodo. No se crean ni se destruyen nuevos links, por lo que la red es estática y tiene forma de anillo. Sobre este anillo, los valores iniciales de cada balanza bilateral se distribuyen con probabilidad uniforme entre los números enteros ubicados en el rango  $[10, -10]$ . Nótese que el sistema tiene  $N \times k/2$  grados de libertad para asignar balanzas bilaterales en el rango propuesto, por lo que el sistema tiene  $21^{N \times k/2} \approx 16 \times 10^{12}$  posibles configuraciones.

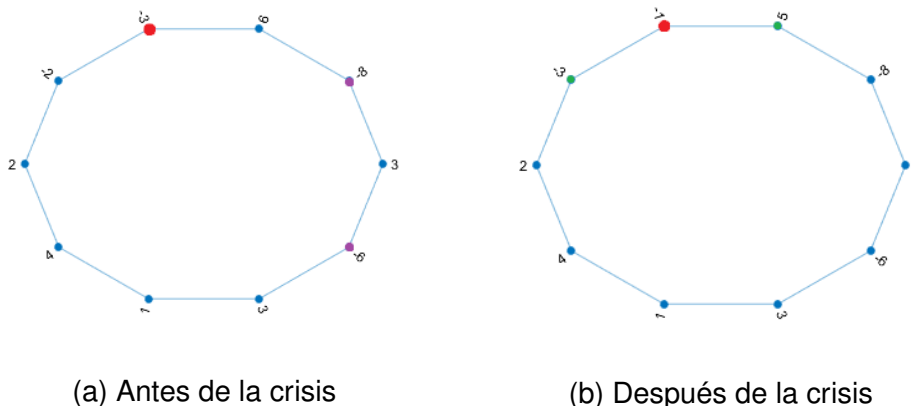


Figura 1: Esquema del algoritmo para una crisis de balanza de pagos y duración de la guerra de divisas, dada por la cantidad de loops que se producen antes de que deje de haber países con  $tb_i \leq \phi$ .



El proceso mediante el cual se lleva adelante la guerra de divisas consiste en una serie de iteraciones en las que se intercambian unidades de balanza comercial bilateral entre un país por debajo del umbral y sus socios comerciales. En primer lugar tomamos un país al azar del subgrupo donde  $tb_i \leq \phi$ . Luego, este país le quita a cada uno de sus socios una unidad, mejorando sus respectivas balanzas bilaterales y por ende su balanza total. El *loop* se repite, eligiendo otra vez un país, hasta que no existan más países tales que  $tb_i$  esté por debajo de  $\phi$ , o bien se llegue a un número máximo dado de iteraciones. Por último, se computa la cantidad de episodios de crisis o, llegado el caso, el tope máximo de iteraciones como medida de la duración de la guerra de divisas. La figura 1 resume el algoritmo descrito, mientras que la figura 2 incluye un ejemplo ilustrativo.

Figura 2: Cada nodo representa un país, acompañado por el valor de la balanza comercial. Inicialmente, el país rojo es elegido al azar por tener un valor de balanza comercial menor o igual al umbral,  $\phi = -3$ , por lo que atraviesa una crisis de balanza comercial. Los otros candidatos, en violeta, se dejan de lado. Luego, cada país verde, que posee vínculos con el rojo, pierde un punto de balanza bilateral, creciendo en dos el resultado comercial del país rojo.



Esta crisis y reajuste de las balanzas comerciales puede racionalizarse como un déficit de cuenta corriente que, cuando llega a cierto nivel deja

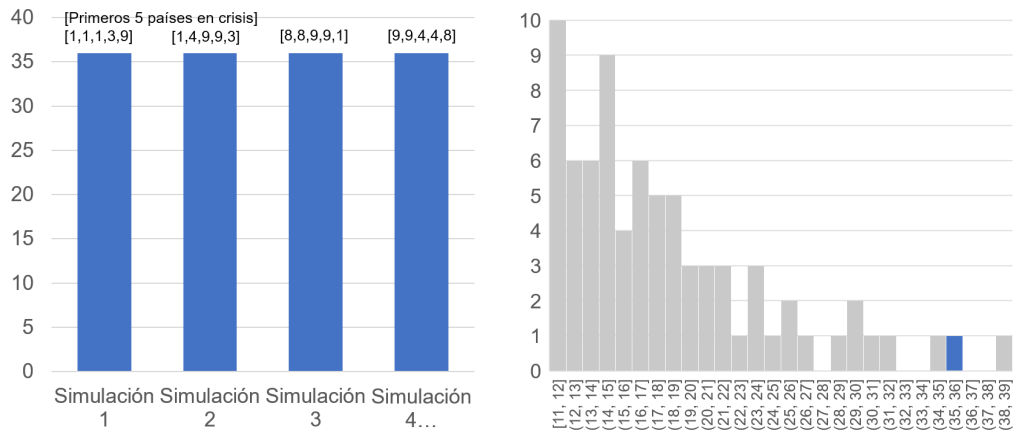
de poder ser solventado por el financiamiento, por lo que se dispara una devaluación de la moneda, la que encarece los productos importados y abarata los productos exportados, mejorando la balanza comercial sobre los vínculos comerciales fijos. También podría pensarse como un shock negativo tan fuerte a la demanda agregada que comprime las importaciones.

En este ejemplo básico, existen tres elementos claves que inciden en la duración de la guerra comercial. La red, el valor de umbral de crisis,  $\phi$ , y el estado inicial de las balanzas bilaterales.

Sin embargo llama la atención una propiedad del sistema: el hecho de que, al menos bajo esta configuración el la duración sea independiente de la historia de crisis comerciales. Para precisar este punto, referiremos al la figura 3(a). Allí se muestra que, que el hecho de que la selección del país que atravisa la crisis sea al azar con probabilidad uniforme (dentro de los que se hayan bajo el umbral) implica una variación en la sucesión de países protagonistas de la crisis. Pero, sorprendentemente ello no implica que la duración de la guerra sea distinta a pesar de tener una historia diferente. Nótese que los 5 primeros países de cada simulación difieren, pero a pesar de ello la duración de la guerra es la misma. Esto es importante, puesto que la intuición llevaría a pensar al haber dos países debajo del umbral la asignación al azar de la crisis puede desencadenar una historia de sucesiones de crisis distintas en cada caso y que ello lleve a que la duración de la crisis varíe según la historia. Si bien lo primero es verdad, la duración es la misma.

En este sentido, el primer factor que afecta a la duración de la guerra comercial es la distribución inicial de balanzas comerciales. El gráfico 3(b) ilustra su distribución para distintas balanzas iniciales, asignando las balanzas bilaterales con probabilidad uniforme en el rango  $[-10,10]$ . Para una red dada, mediremos la duración de la guerras de divisas como el promedio de los valores medios obtenidos con distintas realizaciones de balanza bilateral inicial, obtenidas de una misma distribución. En el ejemplo básico que estamos usando, dicho promedio es 24,5.

Figura 3: Duración de guerras de divisas para una red regular con  $N = 10$  y  $k = 2$ , balanzas iniciales generadas a partir de una distribución uniforme en  $[10; -10]$  y  $\phi = -3$ .



(a) Bajo una misma realización de balanzas bilaterales iniciales

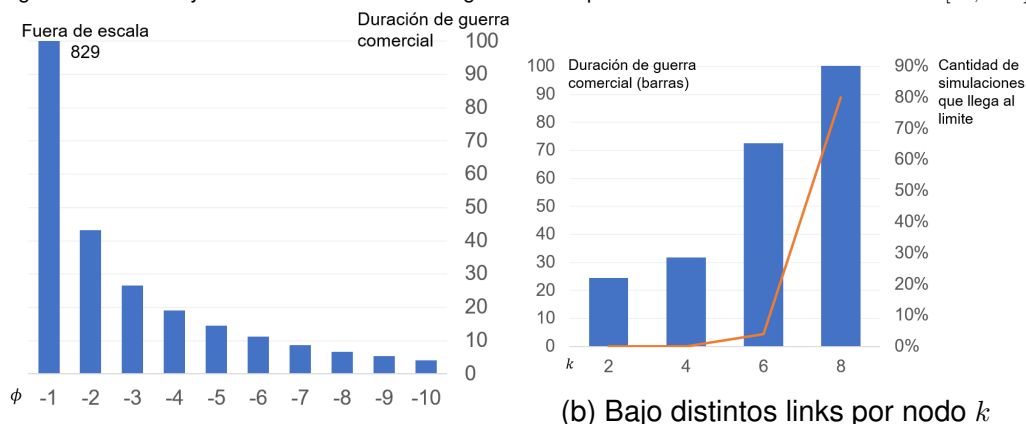
(b) Bajo distintas realizaciones de balanzas iniciales

El parámetro fundamental que regula la convergencia del sistema es, naturalmente, el umbral  $\phi$  que define que países entrarán en crisis. Evidentemente, un umbral más laxo implica que los países puedan tolerar mayores déficits sin entrar en crisis y por ende el mecanismo de transmisión no se dispara. Este resultado se evidencia con claridad en la Figura 4 (a). Manteniendo la configuración del resto de los parámetros, el salto en el comportamiento del sistema se produce solamente cuando el umbral es de -1, por lo que con -2 puntos de déficit se produce la crisis.

Para un número dado de países, la duración de las guerras de divisas depende también del parámetro que nos indica la cantidad de socios comerciales por cada país ( $k$ ). A mayor cantidad de links por nodo, el país que está en crisis tiene mayores posibilidades de salir de la zona de riesgo. Pero, por otra parte, cada episodio afecta a más países, disparando nuevos protagonistas de una crisis comercial. A priori, esto puede hacer que el sistema presente mayor inestabilidad, aumentando la duración de las guerras. En la Figura 4 (b) se muestra la duración promedio de una guerras de divisas bajo distintos números de links por nodo. A partir del sexto link por nodo, empiezan a generarse dinámicas de crisis y contagio que hacen que el sistema no converja, mientras que en el octavo link por nodo observamos un salto en la duración promedio puesto que empieza a ser más frecuente que el sistema no logre equilibrarse ya que cada crisis

afecta a más países.

Figura 4: Duración promedio de guerras de divisas bajo distintas configuraciones de parámetros, para una red regular con  $N = 10$  y distintas balanzas iniciales generadas a partir de una distribución uniforme en  $[10; -10]$ .



(a) Bajo distintos umbrales de crisis  $\phi$

(b) Bajo distintos links por nodo  $k$

¿Cómo interactúan estos dos parámetros sobre la dinámica de este sistema? El Cuadro 1 muestra tanto la duración promedio de la guerra y la existencia de saltos hacia una dinámica no convergente en un grupo de simulaciones. Podemos ver claramente que la inestabilidad del sistema se concentra en los umbrales de déficit menos flexibles y a mayor grado de densidad de links la red. Por otra parte, el crecimiento de la duración de la guerra al aumentar la densidad es menor cuanto más tolerante es el umbral de déficit. En otras palabras, a umbrales más permisivos de déficit, el efecto de la mayor densidad sobre la duración es menor. Adicionalmente, es interesante la situación que se produce con  $\phi = -3$  y  $k = 6$  donde el sistema suele ser estable, salvo para ciertos casos de balanza comercial inicial, donde deja de converger.

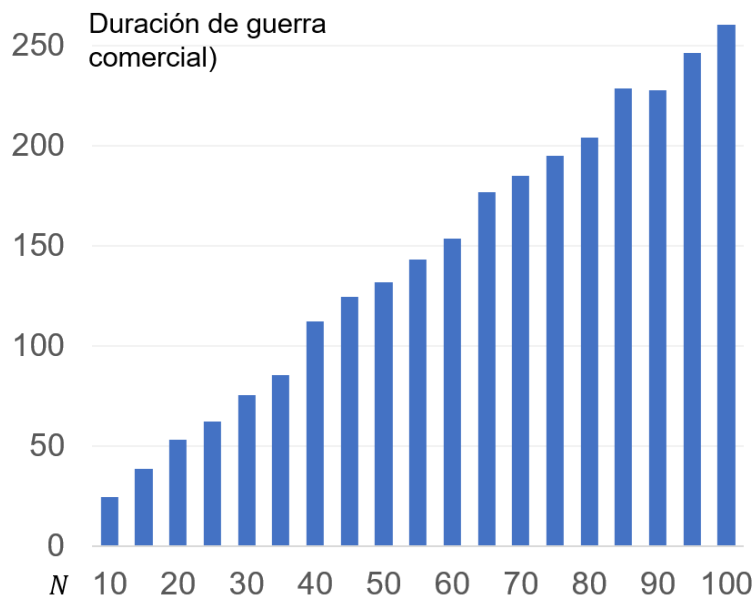
Cuadro 1: Duración promedio de una guerra en una red regular de  $n = 10$  bajo distintas configuraciones de parámetros. La tabla anexa a la derecha indica el porcentaje de simulaciones que alcanza el tope máximo de 1000.

$\phi-k$	2	4	6	8
-1	927	1000	1000	1000
-3	27	30	77	729
-5	15	18	20	22
-7	9	12	13	14

$\phi-k$	2	4	6	8
-1	92%	100%	100%	100%
-3	0%	0%	4%	72%
-5	0%	0%	0%	0%
-7	0%	0%	0%	0%

Realizando un ejercicio similar, manteniendo fijo el número de links por nodo en 2 pero variando el número de nodos, se logra observar como a mayor número de nodos crece la duración promedio de la guerra de divisas. Esto es esperable, debido a que en un sistema más grande, hay más nodos que, desde la inicialización pero también por efecto de las crisis inducidas, entrarán en promedio en el conjunto de los nodos críticos. No obstante, este crecimiento de la duración, producto de un aumento de los nodos y por ende del número de países que están por debajo del umbral, es comparativamente “suave”, sin producirse nunca la transición hacia un sistema no convergente.

Figura 5: Duración promedio de guerra de divisas para una red regular de 2 links por nodo (eje y), número de nodos variables (eje x),  $N$ ,  $\phi = -3$  y distintas balanzas iniciales generadas a partir de una distribución uniforme en  $[10; -10]$ . Los resultados no chocan en ninguna simulación con el umbral.



#### 4. Variaciones sobre la red

Hasta aquí hemos variado tres elementos fundamentales de nuestro sistema: el número  $N$  de nodos, el número  $k$  de links por nodo y el umbral  $\phi$  de crisis de balanza comercial y hemos discutido la relevancia de cada uno a la hora de determinar la duración de la guerra comercial y la transición a un sistema no convergente.

Esta sección introduciremos variantes en el tipo de red propuesta. En particular ampliaremos la aplicación de este mismo modelo con dos tipos de redes aleatorias y elaboraremos un análisis comparativo con los resultados obtenidos en la sección previa. Las redes aleatorias con las que trabajaremos son de del tipo de Erdos & Renyí (ER, 1959), por un lado y de Watts & Strogatz (WS, 1998) por el otro.

Las redes ER, a diferencia de lo trabajado anteriormente, pertenecen a las familias de redes aleatorias. En nuestro caso, construiremos un tipo especial de red ER en la que se asigna con probabilidad uniforme un conjunto de links a pares de vectores, sin repetición. Así queda conformada una red de  $k$  links en promedio por nodo. Esta red es comparable con la red anterior, exceptuando el hecho que la asignación de los links a los pares de nodos es al azar, lo que lleva a que no necesariamente la red tenga una forma regular.

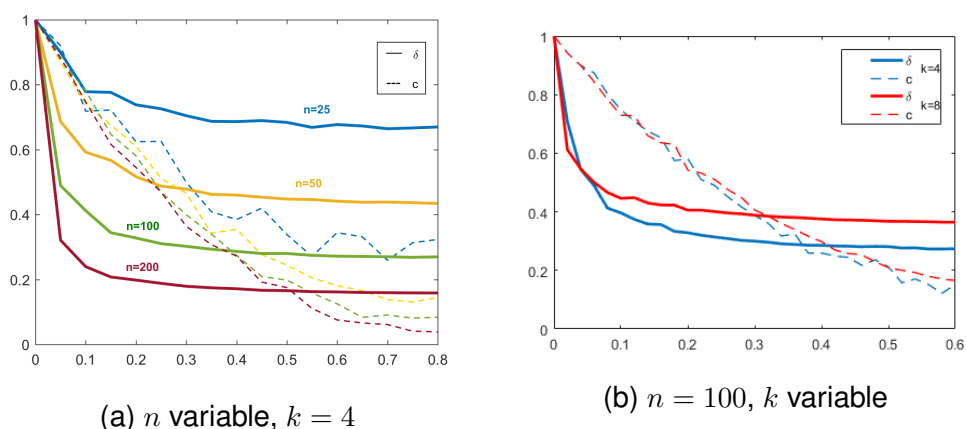
Ahora, exploraremos los resultados de aplicar este modelo a una red Watts & Strogatz. Las redes WS tienen como principal característica combinar dos elementos de las dos redes anteriormente estudiadas. Partiendo de una red regular, se recorre cada link y con probabilidad ( $\beta$ ) se cambia uno de los nodos del par por cualquier otro. En términos cualitativos, las redes WS bajo ciertos valores de  $\beta$  tienen una distancia mínima baja, característico de los grafos aleatorios. Pero también pueden lograr coeficientes de clustering o grado de agrupamiento relativamente más altos que ER, asemejándose al de una red regular determinística. Este tipo de redes de WS se las conoce como “red de mundo pequeño”. En términos conceptuales, la redes de mundo pequeño presenta islotes de nodos vecinos muy conectados entre sí y grandes atajos entre esos islotes.

Ahora bien para valores extremos del parámetro de reconexión ( $\beta$ ) la red WS corresponde a una red determinística regular ( $\beta = 0$ ) o una red ER ( $\beta = 1$ ). Esto nos permite partir de los resultados obtenidos en la sección anterior y comparar estos tres tipos de redes en una suerte de continuo. Esto será útil a la hora de vincular los resultados con dos características de la red: la distancia media mínima  $\delta$  (normalizada) y el coeficiente de clusterización  $c$ .

Primero calculamos  $\delta$  y  $c$  distintos valores de reconexión  $\beta$ , con el fin de identificar en el entorno de qué valores de  $\beta$  hay un cambio en las características mencionadas de la red. Los resultados se presentan en la figura 6 (a). En primer lugar, se ve que para una red de “pocos” nodos ( $n = 25$ ) la caída de la distancia media no se produce de forma más abrupta que la

del clustering, por lo que la reconexión no genera una red con baja distancia media mínima y alto clustering relativos, típica del “mundo pequeño”. Esto es razonable, puesto que en una red de pocos nodos como la anterior no puede haber una gran diferencia entre sus vecinos de primer y segundo orden y el conjunto de los nodos puesto que todos ellos ya son pocos.

Figura 6: Distancia media mínima promedio normalizada y coeficiente de clustering para una red WS con distintas probabilidades de reconexión  $\beta$ .



En cambio, al trabajar con redes de mayor número de nodos, se produce una caída inicial de la distancia media mucho más rápida que del clustering, para valores de reconexión  $\beta$  del orden del 0,05. Luego, la distancia mínima promedio se estabiliza. Por el contrario, el nivel de clustering cae relativamente al caso regular siempre a la misma tasa. Si ahora hacemos el ejercicio de fijar el número de nodos en 100 y probar con distintos grados promedio de la red – figura 6 (b) –, podemos notar que la caída en el índice de clusterización relativo al caso regular es semejante en los dos escenarios, mientras que la caída de la distancia media es mayor a menor cantidad de links. Esto último responde a que la distancia media de una red de mayor grado ya es de por sí más baja, por lo que no se espera una gran caída al reconectar pares.

Basándonos en estos resultados podemos tomar como caso representativo de la red de mundo pequeño una red WS de  $n = 100$ ,  $\beta \in [0, 05; 0, 1]$ ,  $k \in [4, 8]$  y comparar la duración de la guerra con su versión regular ( $\beta = 0$ ) y su versión ER ( $\beta = 1$ ). Para mostrar la estabilización de la distancia me-

dia, usaremos un valor de  $\beta \in [0, 25; 0, 5]$ . Los resultados se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2: Duración promedio de una guerra de divisas bajo distintas redes y umbrales. Los únicos casos alguna simulación alcanza el tope máximo de iteraciones impuesto son aquellos donde el promedio es este máximo (10000). Para el resto no se detectaron casos no convergentes.

$\phi-k$	4						8					
	$\beta=0$	0,05	0,1	0,25	0,5	1	$\beta=0$	0,05	0,1	0,25	0,5	1
-3	326	329	340	350	359	355	99636	10000	10000	10000	10000	10000
-5	174	175	179	182	186	183	243	251	253	259	266	267
-7	111	112	115	115	116	113	154	156	157	159	163	163
$\delta$	12,8	6,4	5,0	4,0	3,6	3,4	6,7	3,5	3,0	2,7	2,5	2,4
$c$	0,50	0,44	0,38	0,24	0,09	0,04	0,64	0,56	0,48	0,30	0,14	0,07

En primer lugar, las conclusiones básicas desarrolladas en el apartado anterior con nuestro sencillo se mantienen: para un  $\beta$  dado, un umbral más restrictivo y un mayor grado de la red aumentan la duración de la guerra. Para estos parámetros, tenemos una mayor parte de resultados convergentes.

Ahora bien, al variar  $\beta$ , es decir al movernos desde la red regular determinística hacia la red ER aumenta la duración de la guerra. Sin embargo, el aumento no responde tanto a la caída de la distancia media en los primeros tramos, sino que sigue la caída del coeficiente de clustering. Esto se evidencia en que la caída en la duración se mantiene a pesar de una estabilización (relativa) de la distancia media para valores de  $\beta$  altos. Una excepción a esto la se da cuando el umbral tiende es más inestable ( $-3$ ), donde la caída rápida de la distancia media inicial podría explicar el salto inicial en la duración.

Dado el grado promedio de una red, las variaciones del clustering (más que la variación de la distancia media) están relacionadas negativamente con la duración de la guerra. Esto puede producirse porque, al fijar el grado promedio, el índice de clustering nos da una idea de la capacidad de que los problemas de balanza comercial puedan afectar directamente a todo el sistema o bien circunscribirse a un grupo más reducido de nodos. Es decir, siempre con el grado promedio de la red fijo, si el índice de clustering es mayor, es más probable que las crisis se concentren y se resuelvan dentro del cluster, ya que sus vecinos están más interconectados, mientras que solo afectan por algún canal más reducido al resto de la red. Así, el cluster tiene una función de buffer de la transmisión de crisis, ya que la mayor interconexión dentro del cluster permite que se logre estabilizar más rápidamente esa región del sistema con menores efectos hacia el resto del sistema.



Ahora bien, si comparamos el crecimiento de la duración de la guerra entre distintos umbrales se ve como se estabiliza más rápido al variar  $\beta$  si el umbral es más laxo. Es decir, una mayor probabilidad de reconexión tiene poco impacto en la duración de la guerra comercial si el umbral es lo suficientemente laxo.

Comparando el efecto de incrementar  $\beta$  en redes de distinto grado, se evidencia que en el rango en el cual varía la duración de la guerra entre distintos  $\beta$  es mayor en una red de mayor grado. En otras palabras, en una red más interconectada la duración de la guerra no solo es mayor sino que el impacto sobre la duración de aumentar la probabilidad de reconexión es mayor. Esto naturalmente tiene un límite, ya que al seguir aumentando el grado de la red aún más hay poca caída de la distancia media por una nueva reconexión puesto que la distancia media ya es de hecho baja aún sin reconectar.

Por último, bajo una red de grado 8 y umbral de  $-3$  obtenemos resultados no convergentes, para un  $\beta$  equivalente a una red regular. Es interesante notar que a diferencia del apartado anterior, donde algunos pocos resultados con  $k = 8$  seguían siendo convergentes, en este caso, al pasar de trabajar de 10 a 100 nodos, la probabilidad de que la configuración inicial sea aquella particular que permite lograr un sistema estable en estas condiciones adversas se reduce significativamente. Por este motivo no encontramos en nuestras simulaciones al menos algún resultado convergente.

## 5. Red real

El propósito de esta sección es doble. Por un lado, construiremos un modelo de red para el comercio mundial, basados en datos de 2015. Por el otro, utilizaremos esa red para simular nuestro modelo bajo distintos umbrales de crisis  $\phi$ . En ese sentido, dividiremos la exposición de esta sección en tres: primero detallaremos el proceso de curado de datos para pasar de la información cruda a un insumo para nuestra red; luego describiremos la red obtenida, precisando sus características; por último sobre esta red aplicaremos el modelo de guerras de divisas y estudiaremos sus resultados.

El proceso de construcción de la red comenzó tomando datos de comercio bilateral en 2015 de ComTrade. En primer lugar, se tomaron las

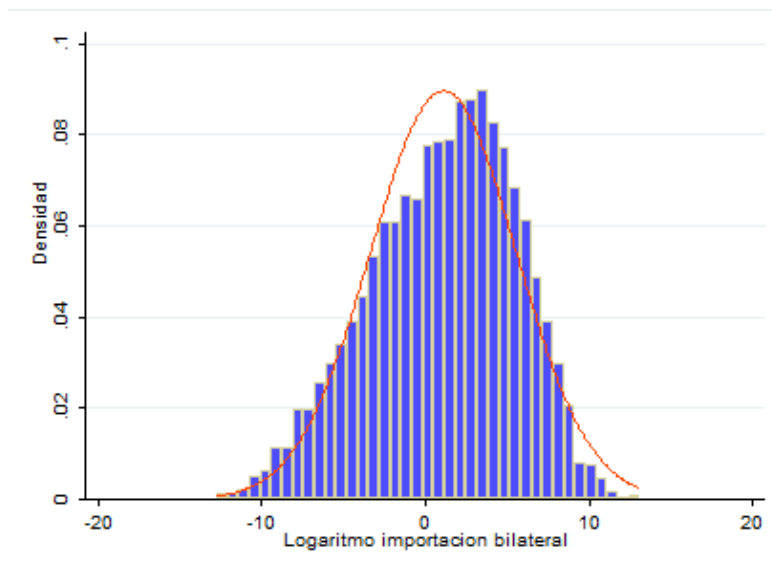
importaciones bilaterales para 244 países. Una vez armada la matriz<sup>1</sup> de importaciones de los 244 países nos quedamos con aquellos que comerciaban con al menos un país de los 244. El resultado obtenido fue una matriz cuadrada de importaciones de 141 países, cuyos valores por definición son todos mayores o iguales a 0. La matriz registra en total 7072 relaciones bilaterales que presentan una media de 915,82 para los links en los cuales existe algún tipo de comercio. El desvío estándar, por su parte, es de 9303 y la Kurtosis es de 1400.<sup>2</sup> Lejos de aparentarse a una distribución uniforme como la planteada en las secciones anteriores, los montos importados presentan 50 % de las observaciones con valores menores a 4,6, mientras que el percentil 95 % contiene valores mayores a 2402. En este sentido, teniendo en cuenta que la distribución consta de una gran concentración de observaciones en pocos valores y una cola muy larga con poca densidad, procedemos a presentar la distribución logarítmica de la variable. Si bien se pierde interpretación en términos absolutos de la variable, facilita la interpretación en términos relativos. Es así que se puede observar que una gran concentración de valores cercanos a la media, mientras que las colas deben ser interpretadas como outliers exponencialmente mayores o inferiores a la media, probablemente asociados a relaciones comerciales en las cuales se involucra un país con un gran poder de mercado.

---

<sup>1</sup> Notar que la matriz no resultó ser cuadrada ya que los 244 países no comercian todos entre sí.

<sup>2</sup> Los valores presentados están expresados en millones de dólares corrientes de 2015.

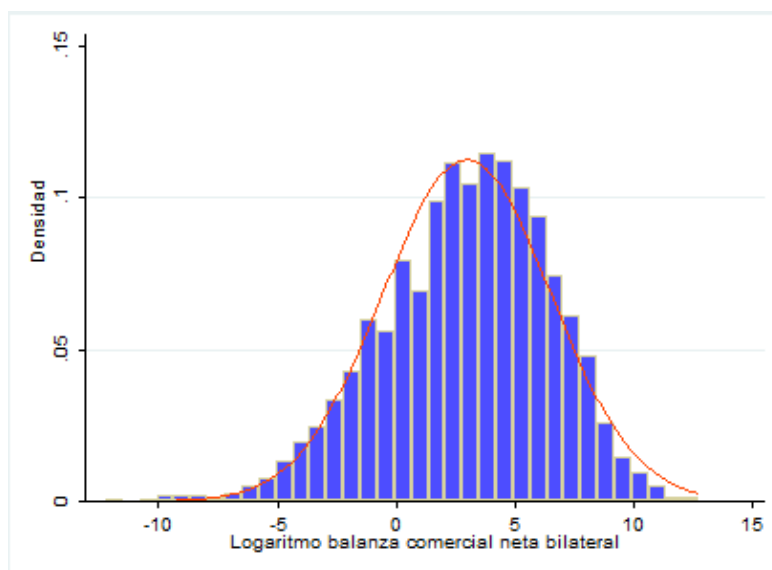
Figura 7: Distribución logarítmica de las importaciones bilaterales entre los 141 países seleccionados de Com-Trade.



A partir de la matriz de importaciones procedimos a confeccionar la matriz de balanzas bilaterales. Es decir, creamos una nueva matriz de importaciones netas. Esta nueva matriz, por construcción, contiene  $a_{ij} = -a_{ji}$  para todos sus componentes que no pertenecen a la diagonal, y  $a_{jj} = 0$  para los componentes de la diagonal principal. En consiguiente, a diferencia de la matriz de importaciones bilaterales, esta matriz puede adoptar valores negativos. Para evitar la doble contabilización de una misma transacción (importación para un país y exportación para el otro), los análisis descriptivos de las transacciones deben tener en cuenta únicamente el triángulo superior o inferior de la matriz. La forma de la distribución, y en particular, el signo de la media, dependerán de la distribución de los links en el triángulo utilizado para el análisis, pero la descripción resultante será análoga para ambos triángulos alternando únicamente el signo. El resultado obtenido consiste en una red de 141 nodos, con 7072 links comerciales bilaterales (lo cual implica un grado promedio de 50,2) con una distancia media de 1,28 y un coeficiente de clusterización de 0,85. Sin embargo, los links por nodo, al igual que en las importaciones bilaterales, siguen una distribución muy asimétrica a diferencia de nuestros ejemplos teóricos anteriores, con una media de 165,3 y un desvío estándar de 8719,52. Como puede evidenciarse en la Figura 8, la distribución logarítmica contiene una cola inferior más amplia que la presentada

en el gráfico anterior, puesto que las balanzas comerciales netas contienen valores negativos por definición.

Figura 8: Distribución logarítmica de las balanzas comerciales bilaterales netas entre los 141 países seleccionados de ComTrade.



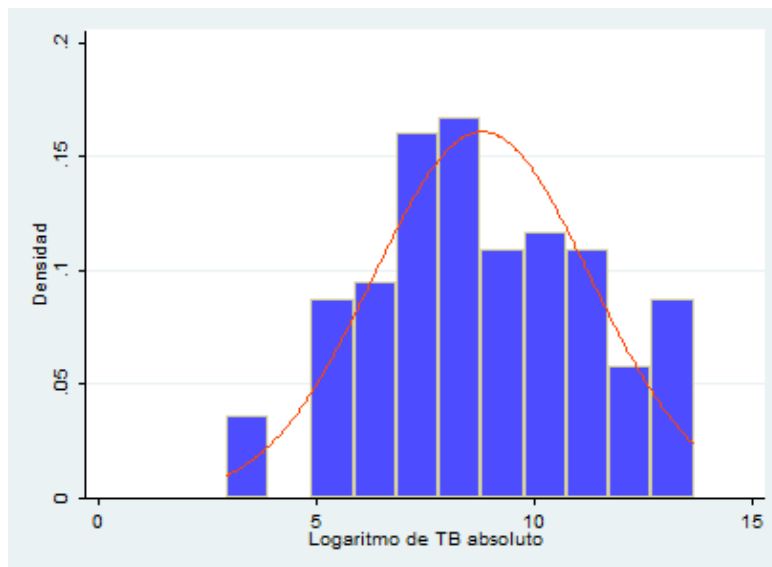
Una vez construida la red, aplicamos nuestro modelo de guerra comercial. Sin embargo, es necesario realizar una serie de adaptaciones a la hora de trabajar con datos concretos. Dos son los obstáculos principales: en primer lugar, la definición del monto que en cada episodio de crisis le extraerá un socio a otro y la definición del umbral  $\phi$  relevante.

En nuestros ejemplos de las secciones anteriores trabajábamos con una “unidad de balanza comercial”. Definir el monto de esta unidad no es evidente y tiene costos computacionales potencialmente muy altos. Para nuestras simulaciones utilizamos 100 millones de dólares como el monto que un país le extrae a cada uno de sus socios en una guerra comercial.

Por otra parte, el umbral que debemos considerar para que se desate la crisis comercial es menos evidente aún. Más aún cuando no hacemos al parámetro país-específico en algún sentido si no que debe ser común para todos los países. Además, la distribución de las balanzas iniciales hace que solo pocos países sean alcanzados a valores altos de  $\phi$  mientras que cerca de los valores más bajos se crece fuertemente la cantidad de países que entran bajo el umbral crítico. Como se puede observar en la Figura 9, la distribución de las balanzas comerciales totales presenta una

gran concentración de observaciones en la media, pero también contiene algunos pocos países con valores muy extremos tanto negativos como positivos.<sup>3</sup>

Figura 9: Distribución logarítmica del módulo de balanzas comerciales totales entre los 141 países seleccionados de ComTrade.



En este caso, solucionaremos este escollo simulando el modelo bajo distintos valores de  $\phi$ . Una idea del grado de “restrictividad” del umbral la podemos dar a partir de la proporción de países por debajo de cada umbral utilizado, como se muestra en el cuadro 3.

<sup>3</sup> Debido a que el gráfico presenta la distribución logarítmica de las balanzas comerciales en valores absolutos, estas observaciones outliers se pueden identificar en la punta derecha del gráfico.

Cuadro 3: Duración de guerra comercial en una red basada en datos de comercio para 2015. Se computa para cada valor de  $\phi$  la cantidad y proporción de países que quedan inicialmente bajo el umbral de crisis y la duración de la guerra comercial.  $\phi$  está expresado en millones de dólares corrientes. El máximo de iteraciones permitido es 100000.

$\phi$	Cantidad de países	Proporción	Duración
-750000	1	1 %	3
-500000	2	1 %	23
-250000	7	5 %	123
-100000	12	9 %	260
-75000	14	10 %	306
-50000	17	12 %	366
-25000	23	16 %	1447
-10000	32	23 %	4547
-75000	36	26 %	5783
-5000	39	28 %	7870
-2500	50	35 %	100000

La duración de la guerra comercial bajo la red real y distintos valores de parámetros se presentan también en el cuadro 3. En línea con lo explorado, a medida que el umbral es menor aumenta la duración de la crisis. Para valores del umbral que cubren inicialmente al 35 % del total, se producen resultados no convergentes.

Por un lado es interesante notar que si el valor de umbral de crisis solo cubre a pocos países (con grandes déficits), no se desatan episodios muy largos de guerras puesto que al ser el común el umbral y al estar muy desigualmente distribuidos los déficits, existe mucho margen para que los países bajo crisis mejoren su déficit sin provocar nuevos episodios.

Por otra parte, llama la atención el salto en la duración en la franja de  $\phi$  entre los  $-50000$  y  $-10000$ . A pesar de no llegar a duplicarse el número de países que inicialmente enfrentan una crisis de balanza de pagos entre un valor y otro de  $\phi$ , la duración de la guerra crece más de 10 veces. Lo interesante es que este fenómeno se da cuando el umbral afecta tan solo a una franja de cercana al 10 % – 20 % de los países de la muestra. Estos resultados dependen de la distribución inicial de los links y de balanzas bilaterales.

## 6. Conclusiones

A lo largo de este trabajo se han investigado distintos componentes de un modelo de ajuste de balanza comercial mecánico, aplicado a redes comerciales. El foco se centra en la duración de las guerras comerciales bajo una serie de supuestos sencillos sobre el comportamiento de las variables macroeconómicas agregadas.

La exploración de este modelo ilustra algunos aspectos relevantes de los esquemas de guerras de divisas. En primer lugar, la política de empobrecer al vecino como solución a un déficit de balanza comercial puede generar dinámicas que afecten a todo el sistema, propagando episodios encadenados que no necesariamente tiendan a estabilizarse. Cómo se da la transmisión de las crisis a lo largo de la red resulta crucial para el resultado de la duración.

En primer lugar, un resultado llamativo es que no importa la sucesión de países que atraviesen la crisis para determinar la duración. Puesto que el algoritmo trabaja de a un país por vez, primero obtiene todos los países que están debajo del umbral y luego elige uno al azar donde se produce la crisis y reajuste. El paso siguiente es recalcular todas las balanzas comerciales y volver a elegir al azar entre ese grupo de países. Sin embargo, estas variantes que puede tener la elección al azar no hacen variar la cantidad de crisis producidas. En definitiva, a este nivel, el sistema no es dependiente del sendero.

Tanto un umbral “bajo” de crisis, una mayor interconexión de la red (en términos de links por nodos) llevan a aumentar la duración de las guerras de divisas, incluso antes de que se produzca el salto hacia la no convergencia del sistema. Por su parte, el aumento de los nodos de la red, manteniendo el grado de la misma, aumenta la duración de las crisis, pero de forma suave, sin producirse un salto hacia la no convergencia. Estos resultados son robustos sobre distintas redes, a saber, regular determinística, aleatoria de ER o WS como caso más general.

Al estudiar la transición entre la red regular y la red de ER, vimos como aumentar parámetro de reconexión de una red de WS aumenta la duración de las crisis. Sin embargo, no parece haber una particularidad en las redes de mundo pequeño, es decir, cuando la distancia media cae más rápido que el clustering. Lo que se evidencia parcialmente es que la duración no depende (negativamente) tanto de la distancia mínima como del

coeficiente de clustering. La explicación reside en que dado el grado de una red un mayor coeficiente de cluster significa que los efectos de la crisis se concentran dentro del cluster, teniendo poco derrame hacia el resto de la red. Esto le permite actuar como una suerte de buffer para evitar una diseminación de la crisis.

Por último, la aplicación del modelo a la red real no resulta directa. La principal característica que hace diferir a esta red de las estudiadas previamente es la asimetría de las balanzas comerciales. Por otro lado, una limitación es que el umbral sea común a los distintos países. Estas dos cosas producen que las crisis que afecta exclusivamente a los países de mayor déficit (inducidas por un umbral muy alto en valor absoluto) no generen grandes guerras comerciales, puesto que los países que sufren las consecuencias negativas están muy lejos del umbral. Por otro lado, con al rededor del 35% de los países inicialmente bajo crisis, se produce la no convergencia. Pero, encontramos una franja donde las crisis aumentan fuertemente (x10) mientras que los países que no superan el umbral no lo hacen tanto (x2).



## Bibliografía

- Acemoglu, D., Ozdalgar, A. (2009). 6.207/14.15 Networks [Powerpoint slides]. Disponible en: <http://stellar.mit.edu/S/course/6/fa09/6.207J/>
- Bhattacharya, K., Mukherjee, G., Saramäki, J., Kaski, K., & Manna, S. S. (2008). The international trade network: weighted network analysis and modelling. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008(02), P02002.
- De Benedictis, L., & Tajoli, L. (2011). The world trade network. *The World Economy*, 34(8), 1417-1454.
- De Nooy, W., Mrvar, A., Batagelj, V., & Granovetter, M. (2005). *Exploratory Social Network Analysis with Pajek* Cambridge University Press. Cambridge (p 334).
- Erdos, P., & Rényi, A. (1960). On the evolution of random graphs. *Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci*, 5(1), 17-60.  
Ermann, L., & Shepelyansky, D. L. (2011). Google matrix of the world trade network. arXiv preprint arXiv:1103.5027.
- Fagiolo, G., Reyes, J., & Schiavo, S. (2008). On the topological properties of the world trade web: A weighted network analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387(15), 3868-3873.
- Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social networks*, 1(3), 215-239.
- Gai, P., & Kapadia, S. (2010, August). Contagion in financial networks. In *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* (Vol. 466, No. 2120, pp. 2401-2423). The Royal Society.
- Garlaschelli, D., & Loffredo, M. I. (2005). Structure and evolution of the world trade network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 355(1), 138-144.
- Goyal, S. (2007), *Connections. An Introduction to the Economics of Networks*, Princeton University Press, Princeton.

- Haldane, A. G., & May, R. M. (2011). Systemic risk in banking ecosystems. *Nature*, 469(7330), 351.
- He, J., & Deem, M. W. (2010). Structure and response in the world trade network. *Physical review letters*, 105(19), 198701.
- Heymann, D., Perazzo, R., & Zimmermann, M. (2013). *Economía de fronteras abiertas: exploraciones en sistemas sociales complejos*. Teseo.
- Jackson, M.O. (2008), *Social and Economic Networks*, Princeton University Press.
- Kali, R., & Reyes, J. (2010). Financial contagion on the international trade network. *Economic Inquiry*, 48(4), 1072-1101.
- Kiyotaki, N., & Moore, J. (1997). *Credit chains*. mimeo.
- Massachusetts Institute of Technology. *Matlab Tools for Network Analysis (Version 2011)*. Disponible en: <http://strategic.mit.edu/downloads.php?page=matlabnetworks>
- Nier, E., Yang, J., Yorulmazer, T., & Alentorn, A. (2007). Network models and financial stability. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 31(6), 2033-2060.
- Rose, A.K. (2004), "Do we really know that the WTO increases trade?", *American Economic Review*, 94(1), 98-114.
- Travers, J., Milgram, S. (1967). The small world problem. *Psychology Today*, 1, 61-67.
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of small-world networks. *nature*, 393(6684), 440.