



**Universidad de San Andrés**

**Departamento de Finanzas/ Posgrado en Finanzas**

**Magister en Finanzas**

**Indicador de inestabilidad en el sistema financiero por riesgo de contagio**

**Autor: Lic. Bellingeri Mauro Alejandro**

**Legajo 31899760**

**Mentor: Ph.D. Basaluzzo Gabriel**

## 1. Introducción

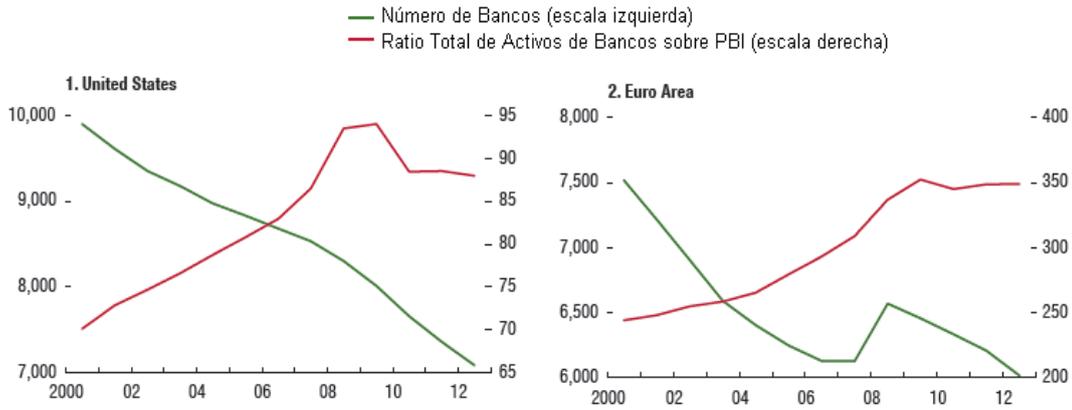
Según Furfine (2001), el desarrollo de un mercado financiero eficiente implica contar con una integración robusta del sistema de créditos interbancarios. La vinculación entre las entidades financieras (en adelante EF) logra con el tiempo y la madurez fortalecer el sistema en su conjunto. Sin embargo, también es factor de posibles problemas. Una mayor interdependencia de flujos de fondos entre bancos puede desarrollar una relación, que de verse afectada, produciría efectos negativos en varias entidades vinculadas. Entendemos al riesgo de contagio por exposición interbancaria como el riesgo de que, bajo determinados supuestos, ante la quiebra de un banco se pueda desencadenar un efecto dominó en el resto de los bancos dentro de un sistema financiero. El nivel de concentración de los sistemas financieros internacionales, fue gradualmente aumentando tornándose cada vez más peligroso. Esto ha generado un mayor interés de los analistas por evaluar qué riesgos conlleva la actual exposición entre bancos, de manera de determinar qué posibilidad de contagio existe entre ellos. En particular, el crédito interbancario es una herramienta estratégica y operacional fundamental para la administración de la liquidez de cualquier banco; incluso es clave para la política económica que emana del ente regulador, interviniendo en este mercado según sus objetivos y estrategias.

Para establecer un contexto de la cuestión analizada, se observa en la figura 1, como en Estados Unidos y Europa existe una evolución de la concentración de los activos. En el año 2000 en Estados Unidos había más de 10.000 entidades Financieras, que representaban el 65% del PBI. Para el 2014 son 7.000 entidades, concentrando el 85% del PBI del país. Algo similar sucede en Argentina ( Figura 2), el monto de activos total del sistema financiero medido en dólares fue aumentando constantemente desde 2003, estancándose únicamente en el período 2008-2009, coincidiendo con la crisis subprime. Este crecimiento constante tuvo como correlación una disminución en la cantidad de EF que formaban parte del sistema, decreciendo desde 2003 con 95 EF, hasta 2011 con 80. Luego se añadió una más, permaneciendo constante desde entonces. Estos comportamientos similares se dan no sólo en los casos expuestos sino que también a lo largo del mundo, demostrando que la mayor concentración de los activos genera de forma directa mayor riesgo de contagio, por una menor posibilidad de diversificación.<sup>1</sup>

---

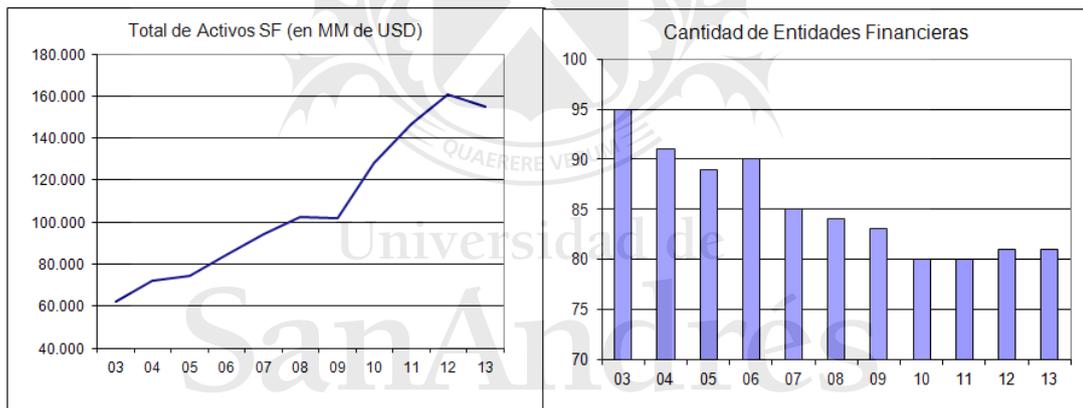
<sup>1</sup>Según Blåvarg et al (2002), en general el contagio podría ser un problema mayor en un sistema financiero concentrado, ya que los grandes bancos tienen menos contrapartes alternativas en los mercados interbancarios

**Figura 1**



Fuente: FMI, Global Financial Stability Report Abril 2014

**Figura 2**



Fuente: Informes para Bancos (BCRA) y Tipo de cambio de Referencia (BCRA)

Los primeros estudios respecto del riesgo de contagio surgieron en la década del 80 con Diamond y Dybvig, pero fue luego de 2005 donde hubo mayores trabajos sobre el riesgo de contagio en los sistemas financieros, con el aporte de autores como Kodres y Pritsker (2002), Wells (2002) y Lublóy (2005), entre otros. El mayor número de trabajos (como los nombrados anteriormente) realizan un estudio del sistema financiero de un país específico y tienen como objetivo lograr determinar las exposiciones entre bancos, para medir entre que entidades financieras, o grupos de las mismas, existe un mayor grado de concentración. Los resultados obtenidos no van más allá de un sistema en particular, y se presentan en un momento determinado, como una fotografía, que logra demostrar un estado presente de exposiciones. Un paso más adelante fue Čihák (2007), quien partiendo de una matriz dada de exposiciones entre EF, desarrolla iteraciones para simular los posibles desencadenamientos del actual

estado de vinculación entre las EF por el canal del crédito interbancario (los préstamos entre las entidades). Según el autor existen dos tipos de contagio, por un lado el riesgo de contagio puro (directo) y por otro el riesgo macroeconómico de contagio interbancario (indirecto).

Todos estos trabajos tuvieron un elemento en común que es el estudio de un grupo particular de casos (un país, una región, etc..) que se ven impactados por un shock en particular y tienen la limitación que estudian escenarios puntuales de contagio, impidiendo poder calcular si el sistema en su totalidad es estable o no. Tampoco tiene la facilidad de comparar dinámicamente dos momentos del tiempo para demostrar el aumento o la disminución del riesgo de contagio de todo un sistema por cualquier tipo de contagio posible, directo e indirecto. Es por esto que nuestro aporte será desarrollar una métrica global para determinar la fragilidad de un sistema financiero, medida por la exposición interbancaria, que abarque todas las combinaciones de shock posibles, siguiendo la metodología de Čihák. Este indicador de inestabilidad tiene la característica de englobar todos los escenarios posibles de combinaciones entre bancos, estresándolos y combinándolos a lo largo de todo el sistema. Es por lo tanto esta métrica un punto de partida para indicar fragilidades en los sistemas financieros, poder compararlo y evolucionarlo a lo largo del tiempo.

Para llegar a definir el indicador, en la sección 2 analizaremos los trabajos previos que se realizaron en el campo del estudio del riesgo de contagio por exposición interbancaria. En la sección 3 analizaremos la metodología utilizada para desarrollar todas las etapas que concluyen en el indicador. En la sección 4 explayamos sobre los alcances y limitantes de la métrica, mientras que en la sección 5 damos unos ejemplos prácticos de su uso. La última sección, será para las conclusiones.

## 2. Repaso de la literatura

La literatura demuestra que existen diversos canales (causas) de contagio. Según Upper (2010) existen causas que pueden separarse del lado del activo y del pasivo. Por el lado de la deuda, Diamond y Dybvig (1983) analizan el contagio desde la perspectiva de las salidas de gran cantidad de depósitos inesperados por depositantes en pánico, que ocasionan las corridas bancarias, llegando a la conclusión de que las mismas causan problemas económicos reales que afectan incluso a los bancos más sólidos del sistema, este tipo de contagio se encuentra vinculado al riesgo de liquidez dentro del sistema financiero. Los autores analizan y modelan la demanda de la liquidez y la capacidad que tienen los bancos de transformar activos ilíquidos en pasivos líquidos, ofreciendo préstamos con menor retorno que los activos ilíquidos, a lo largo del tiempo. Éstos depósitos tienen equilibrios múltiples, y uno de los factores que lo modifica es el nivel de confianza que tiene el depositante respecto a la solidez del banco, mientras se mantenga alta, el riesgo de liquidez será bajo. Un punto importante de su modelo es que las corridas bancarias acarrear un alto costo y reducen la salud financiera de la sociedad, dado que se reduce la producción.

Kodres y Pritsker (2002), a diferencia de Diamond et al (1983), analizan el contagio enfocándose en el rebalanceo dentro de los mercados financieros, a través de este canal los inversores tienen la capacidad de transmitir shocks de un mercado a otro. Esto lo realizan ajustando la composición de sus portafolios para reducir la exposición a riesgos macroeconómicos. Los autores explican que la severidad del contagio depende de la sensibilidad del mercado de compartir los factores de riesgo macroeconómicos. Este fenómeno de rebalanceo de cartera se observó sobre todo desde el surgimiento de los mercados emergentes, y demostró las posibilidades de contagio en la crisis mexicana de 1995, la crisis asiática de 1998, etc....

Por el lado de los canales de contagio que surgen del activo, dos de los primeros autores en trabajar con contagio directo que surge por el canal de créditos entre bancos fueron Rochet y Tirole (1996). Ellos investigaron que grado de descentralización en las transacciones interbancarias pueden ser consistentes con un nivel de protección del Banco Central para evitar futuros rescates. Argumentan que la flexibilidad obliga a un doble control entre los bancos, si no hay control, será necesaria la intervención del Banco Central centralizando y garantizando el sistema de pagos, esto resultaría en una distribución eficiente de la liquidez a través de los bancos y facilitaría el control.

Blåvarg - Nimander (2002) dejan de lado el rol de control de un banco central, ignorando su existencia para explorar el riesgo de contagio a través del canal de los contratos de monedas extranjeras, entre otros. Analizan el sistema financiero de Suecia, que es uno de los que mayor concentración posee, dado que los primeros 4 bancos tiene el 80% de los activos del sistema. Utilizan la exposición interbancaria para demostrar que en dicho país la mayor concentración, en términos de contagio directo entre los bancos, se encuentra en inversiones en bolsas extranjeras y en particular en contratos de monedas extranjeras. Los autores concluyen que en la mayoría de los casos en que uno de los cuatro bancos grandes falla, los demás bancos no quebrarán dado que no van a sufrir pérdidas directas, su ratio de capital de nivel 1 se mantendrá acorde con el nivel de regulación.

Sheldon y Maurer (1998) investigan el riesgo de contagio del sistema financiero de Suiza con información del período 1987-1995. Para su trabajo utilizan información sobre la distribución marginal de los préstamos interbancarios y el uso del principio de máxima entropía. Los autores llegan a la conclusión que la estructura de préstamos interbancarios tiene un riesgo bajo de contagio, lo que permite mantener la estabilidad del sistema bancario. Su modelo se concentra en un shock idiosincrático y se limita a las exposiciones domésticas entre los bancos, dejando afuera de análisis las exposiciones fuera de Suiza.

Trabajos de campo se han desarrollado en varios países. En su mayoría se concentran exclusivamente en el impacto del contagio, ignorando la causa del mismo, misma línea que seguiremos en nuestro trabajo. Upper y Worms (2002) utilizan información de los balances de los bancos alemanes para desarrollar la matriz de exposiciones bilaterales, con el objetivo de testear las consecuencias de la quiebra de un banco y su impacto en el sistema financiero. Coincidiendo con Rochet et al (1996) encuentran que gracias a la red de seguridad financiera de dicho país se reduce sensiblemente el riesgo; sin embargo la quiebra de un solo banco podría ocasionar la caída de aproximadamente un 15 por ciento de los activos del sistema bancario. Según los autores, la posibilidad de contagio está fuertemente correlacionada con la estructura de los préstamos interbancarios. El contagio es menos probable en una estructura completa de préstamos, donde cada banco tiene simétricamente distribuido sus préstamos en el resto, que en una estructura donde los bancos solo pueden asociarse con un número limitado de EF.

Wells (2002) analiza el sistema financiero de bancos residentes en Inglaterra utilizando el mismo criterio de distribución que Sheldon y Maurer, y Upper y Worms: los bancos buscan distribuir sus créditos y préstamos lo más ampliamente posible en el resto de los bancos, también definido como máxima entropía. Esta definición busca modelar la exposición de un

banco A a un banco B, generando una exposición que refleja la importancia relativa de cada banco en el sistema financiero, que se vincula del tamaño de los activos y pasivos de cada uno. Esta hipótesis descarta que existan bancos preferidos, dado que se distribuye de forma uniforme. En su análisis considera que con una pérdida del 100 por ciento del capital comprometido por préstamos interbancarios, únicamente son 4 los bancos que quiebran, afectando en promedio el 8% de sus activos. Wells agrega a su análisis la LGD (lossgiven default), y determina que si el porcentaje de pérdida por el default se reduce a 60%, entonces son apenas 3 los bancos caídos por contagio, perdiendo en el peor de los casos un 6,7% de sus activos. Para el modelo de caída de múltiples bancos, Wells expone que el tamaño de la exposición a bancos extranjeros agrega la posibilidad de importar contagio desde fuera del país, ya que los bancos extranjeros pueden disparar la quiebra de un banco propio de Inglaterra.

Lublóy (2005) continúa en la línea de Wells al realizar un análisis para el sistema financiero húngaro midiéndolo por el riesgo idiosincrático de contagio, llegando a la conclusión de que, aunque es un mercado concentrado, las exposiciones interbancarias son escasas lo cual no producen un efecto dominó importante para el sistema. No sólo la probabilidad, sino que también la severidad del contagio serían bajas. Para analizar la severidad, mide los bancos caídos en dos rondas, pero no encuentra casos en los cuales sea necesaria una segunda ronda.

Bech y Garratt (2006), al igual que Rochet et al (1996), investigan cómo una interrupción de un pago de un crédito bancario intradiario a gran escala perjudica al sistema de pagos. Ellos encuentran que tales interrupciones crean dificultades operacionales en el sistema y en sus participantes, demuestran que el problema más grave es la dificultad en el funcionamiento de algunos de los bancos participantes, que puede inducir a cambiar el comportamiento en cuanto a la forma de gestionar el dinero por parte de otros bancos. Llegan a esta conclusión planteando un modelo de la teoría de los juegos que les permite entender los distintos incentivos que tienen los bancos para participar en los créditos intradiarios, considerando también la participación del Banco Central. Por ejemplo demuestran que, dependiendo de la magnitud del costo de oportunidad de la garantía por el crédito tomado versus la penalidad por el atraso del pago, puede que sea eficiente o ineficiente el equilibrio en el mercado de pagos.

Čihák(2007), a diferencia del resto de los trabajos analizados en ésta tesis, es el primero en determinar una guía de cómo llevar a cabo una prueba de estrés para el sistema financiero utilizando datos observables, explica que supuestos son relevantes, y su importancia en los test de estrés que realiza. Distingue dos tipos de riesgos para establecer como causas del

contagio. El riesgo puro se define como el riesgo inherente de una entidad financiera, el contagio se produce si una EF se ve afectada por un fenómeno particular, y por lo general interno (ejemplo el fraude interno que se encuentra clasificado dentro de los denominados riesgos operacionales), que tiene como consecuencia la quiebra de la misma. Esta EF generará la mora automática de sus deudas interbancarias, con lo cual impactará en el activo de otras EF, produciendo el quiebre de éstas si sus exposiciones al banco caído superan un nivel supuesto de capital comprometido, y así sucesivamente. Por otro lado, el riesgo de contagio macro se produce por un suceso que afecta a más de una EF en un mismo período (ejemplo, una perturbación económica), teniendo como consecuencia un efecto contagio de acuerdo a las exposiciones que tengan los bancos entre sí, dentro del sistema. Por lo tanto, las dos clasificaciones se diferencian en el origen del shock y el grado de impacto en el sistema financiero. Čihák realiza varios test de estrés para detectar bancos caídos en los distintos “pasos” de un efecto dominó.

En nuestro trabajo nos vamos a basar en el canal de préstamos interbancarios. La literatura al respecto abarca una gran cantidad de autores quienes han usado herramientas de simulación en distintos países, para determinar las exposiciones interbancarias. El hecho de referirnos a las simulaciones surge porque es frecuente encontrar mención a la falta de información pública que permita determinar con claridad las exposiciones que tienen los Bancos entre ellos. Por su parte los reguladores tampoco exigen presentar públicamente una mayor discriminación de las exposiciones. Furfine (2003) estudia la exposición interbancaria empleando únicamente información de las transacciones en el *federal funds* de Estados Unidos. El autor aclara que debido a la severidad en la limitación de la información (por restricción de acceso o inexistencia), otras fuentes de exposición bilaterales entre bancos no pueden examinarse. Con este planteo, sugiere considerar sus estimaciones de contagio como conservadoras. Por otro lado, encuentra que las exposiciones interbancarias en el mercado de Estados Unidos están bien distribuidas, de manera que no ocasiona un gran riesgo de contagio al simular el proceso.

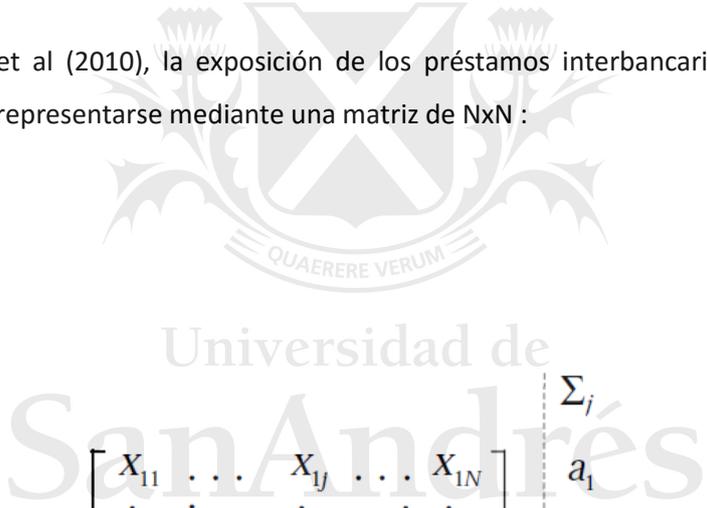
### 3. Modelo teórico

Para llegar a establecer un indicador de inestabilidad del sistema financiero por el canal de préstamos interbancarios, que permita medir el riesgo de contagio, vamos a dividir el trabajo en cuatro etapas. En primer lugar en el apartado A, definimos bajo determinados criterios las exposiciones entre bancos dentro del sistema financiero, siguiendo a Upper y Worms (2010). En segundo lugar determinaremos un mecanismo de propagación del shock inicial (apartado B), definido éste como la combinación de la caída de 1 a N -1 bancos, siendo N la cantidad de EF del sistema; para ésta etapa seguiremos el modelo de Čihák 2007. En el apartado C, generaremos un mecanismo de simulación de shocks para llegar a definir cuántos bancos caerán en cada escenario. Por último, en el apartado D definimos el indicador que cuantifique y agregue las pérdidas que surjan por el contagio generado.

#### A. Metodología para definir las exposiciones

Según Upper et al (2010), la exposición de los préstamos interbancarios de un sistema financiero puede representarse mediante una matriz de NxN :

**Figura 3**



$$\mathbf{X} = \begin{array}{c} \left[ \begin{array}{cccc} X_{11} & \dots & X_{1j} & \dots & X_{1N} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ X_{i1} & \dots & X_{ij} & \dots & X_{iN} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ X_{N1} & \dots & X_{Nj} & \dots & X_{NN} \end{array} \right] \begin{array}{l} \Sigma_i \\ a_1 \\ \vdots \\ a_i \\ \vdots \\ a_N \end{array} \\ \hline \begin{array}{cccc} \Sigma_i & I_1 & \dots & I_j & \dots & I_N \end{array} \end{array} \quad (1)$$

Donde  $X_{ij}$  es la exposición neta de créditos entre un banco  $i$  y un banco  $j$ ,  $X$  son las exposiciones interbancarias en el sistema y  $N$  es el número total de bancos. Los  $a_i$  determinan el total de activos de un banco  $i$  (filas), y los  $I_j$  determinan el total de deuda (columnas). Debido a la falta de información pública detallada no podemos conocer realmente esta exposición entre bancos de forma exacta, pero sí sabemos que la suma de los créditos y las obligaciones por intermediación financiera cumplen con la siguiente igualdad:

$$a_i = \sum_j x_{ij} \quad \text{and} \quad l_j = \sum_i x_{ij}, \quad (2)$$

Las exposiciones reflejan la importancia del tamaño de cada institución en el sistema, referente a los préstamos y depósitos interbancarios. Para determinar las exposiciones interbancarias debemos inferir en cómo los bancos distribuyen sus préstamos y depósitos a lo largo de otros bancos, viendo los balances de cada EF. Como no existe la deuda con uno mismo, la matriz posee la característica que tiene su diagonal principal con ceros.

Dada la falta de información precisa, Upper explica que una forma de llegar a determinar la exposición es interpretar los  $a$ 's y  $l$ 's como independientes, entonces  $x_{ij}=a_i l_j$ . Este supuesto de independencia permite suponer que los préstamos y depósitos interbancarios pueden ser distribuidos tanto como sea posible a través del resto de los bancos del sistema. Con este supuesto, también conocido como máxima entropía, eliminamos la posibilidad de preferencia entre bancos al momento de buscar posicionarse

Mucho se podrá criticar respecto a la forma uniforme de distribución que surge del concepto de máxima entropía, sin embargo se justifica su uso por el motivo de la inexistencia de una distribución (por falta de información precisa) que refleje las exposiciones reales. Por lo cual tomar este criterio esteriliza los efectos del contagio, siendo en consecuencia un análisis moderado de concentración de créditos interbancarios. Al aplicar esta distribución, estamos determinando un nivel de exposición extremadamente conservadora, ya que afectamos lo menos posible las exposiciones entre los bancos.

Para llegar a la exposición debemos determinar qué porcentaje de los activos y pasivos interbancarios totales, pertenece a cada banco.

$$AB_1/A \text{ totales} + AB_2/A \text{ totales} + \dots + AB_N/A \text{ totales} = 1 \quad (3)$$

$$PB_1/P \text{ totales} + PB_2/P \text{ totales} + \dots + PB_N/P \text{ totales} = 1 \quad (4)$$

*Ref. AB= Créditos con el sist. Financiero Banco 1,2...N, PB= Deuda con el sist. Financiero Banco 1,2...N, A Y P totales= Activos y Pasivos con entidades financieras Totales.*

La suma de estos porcentajes deben dar uno, condición necesaria, porque de ser distinto estaría faltando o sobrando una entidad al sistema. La información para determinar las proporciones surge de los balances de las EF.

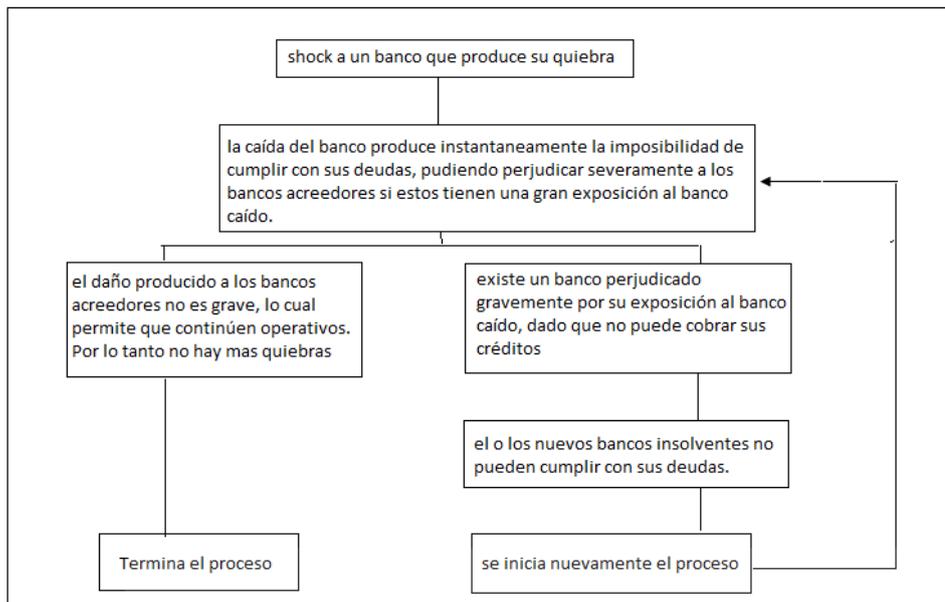
Por último, se debe desarrollar un modelo de simulación que distribuya el total de los activos dada las proporciones explicadas en (3) y (4). Se presenta en el Anexo I un ejemplo de una simulación de exposiciones para el programa MATLAB, cuyo objetivo es rellenar la matriz (1) para un sistema de 10 bancos, donde cada peso que forma parte de los créditos interbancarias se va a asignar aleatoriamente en base a una distribución de probabilidad acumulada de lado del activo y el pasivo, teniendo por lo tanto dos distribuciones. Por el lado de los activos estará determinado por  $P_i = \alpha_i / \sum \alpha_i$ , (siendo  $\alpha$  los activos) y por el lado de los pasivos  $P_j = L_j / \sum L_j$  (siendo L los pasivos), como criterios para la distribución.

## B. Desarrollo del contagio

Luego de establecer las exposiciones interbancarias, vamos a buscar determinar si existe contagio en el sistema. Siguiendo siempre a Čihák 2007, nos enfocaremos en las EF que operan en un mismo país. Coincidiendo con Wells (2002), consideraremos que es un sistema financiero que no cuenta con la posibilidad de tener un préstamo de última instancia de su Banco Central, ni existe posibilidad de intervención del mismo. Por el contrario, el sistema es independiente de cualquier área central, enfocándonos en las consecuencias de la propia estabilidad del sistema.

Tanto para el caso del daño bilateral donde una EF es la causante del contagio por su default (shock idiosincrático por cuestiones endógenas), y otra EF la perjudicada, como para el ejercicio del contagio que se inicia con la quiebra de dos o más bancos originados por shocks macroeconómicos, que afectan a más de un banco; el proceso de contagio sería el siguiente, siguiendo a Wells (2002):

Figura 5 – Proceso de contagio



El paso siguiente es determinar que variable o variables influyen para definir la condición de contagio. Si por ejemplo, un Banco A prestó 50 a un banco B y tiene un capital de 100, entonces tendrá una exposición del 50% de su capital al Banco B. Si por otro lado suponemos que, por pérdidas en los activos por créditos interbancarios mayores a un 40% de su capital, un banco quiebra. Entonces si B no devolviera su préstamo, el banco A quebraría por superar el porcentaje de pérdida establecida.

Siguiendo a Čihák, el contagio lo determinaremos por un nivel estipulado de capital óptimo respecto a los préstamos interbancarios otorgados. Expresado en una fórmula sería de la siguiente forma:

$$\text{Si } X_{aB_1} > \% CB_1 \rightarrow B_1 \text{ quiebra si } X_a \text{ no se cobra (5)}$$

Donde  $X_a$  son los préstamos interbancarios de  $B_1$  a otros bancos,  $\% CB_1$  es el porcentaje de Capital del Banco A que se utiliza para determinar si existe o no contagio (el 40% del ejemplo).

### C. Mecanismo de simulación de shocks

En un sistema financiero de  $N$  bancos, habrá  $N - 1$  exposiciones bilaterales. Para desarrollar el mecanismo con mayor claridad vamos a exponer únicamente las exposiciones netas positivas, dado que esos bancos son los expuestos a un riesgo de contagio por sus créditos interbancarios. En la matriz  $B$  de la Figura 4 transponemos las exposiciones bilaterales netas de la matriz  $A$ , a efectos que los activos sean las columnas y los pasivos las filas. Como vemos en

la matriz C de la figura 4, el banco B1 tiene un crédito a su favor respecto del banco B2 valorado en 9.

Figura 4 – Como determinar una matriz de Exposiciones bilaterales netas positivas (los datos son ficticios, con el objetivo de demostrar el caso)

A. Exposiciones iniciales bilaterales					B. Exposiciones bilaterales netas				C. Exp. bilaterales netas positivas					
	B1	B2	B3	B4		B1	B2	B3	B4		B1	B2	B3	B4
B1	0,0	29,7	22,6	3,0	B1		-9,0	-22,6	2,1	B1				2,1
B2	20,7	0,0	39,8	5,3	B2	9,0		-39,8	7,5	B2	9,0			7,5
B3	0,0	0,0	0,0	0,0	B3	22,6	39,8		12,9	B3	22,6	39,8		12,9
B4	5,1	12,9	12,9	0,0	B4	-2,1	-7,5	-12,9		B4				

En la matriz A las filas expresan los créditos interbancarios, por ejemplo B1 le prestó a B2 29,7 y en las columnas las deudas, B1 le debe a B2 20,7. En la matriz B sacamos la deuda neta entre los bancos (B2 le debe a B1 9 neteados), y la transponemos para dejar en las columnas los créditos interbancarios, B1 tiene a su favor los 9 que exponíamos. En la matriz C dejamos establecidas únicamente los créditos positivos para analizar. El impacto de un shock, por ejemplo la quiebra del B2 en matriz C de Figura 4, afecta directamente al capital de los bancos acreedores, B1 y B4. Es decir que si B2 sufriera algún shock que produjese su quiebra, impidiendo el pago de sus compromisos, B1 perdería instantáneamente el valor del crédito, deduciéndose 9 de su capital.

Asumiremos por simplicidad, que si B1 continúa con capital positivo luego del impacto de B2, seguirá en actividad y disponible para pagar todas sus obligaciones interbancarias, por lo cual no habría contagio ya que B1 continuaría operando. Pero si pierde, por la incobrabilidad de sus créditos financieros dada la quiebra de B2, un porcentaje de su capital mayor al supuesto en (5), entonces también B1 quebrará por el efecto del contagio. Por lo tanto se debe desarrollar un segundo proceso de contagio, donde ahora B1 será el que produzca el contagio. En la práctica, esta segunda iteración se logra invirtiendo la matriz de exposiciones ex post del primer shock inicial, donde los bancos que estaban expuestos al contagio, como B1, ahora son la fuente del contagio. De forma sucesiva se debe generar el mismo proceso hasta que ningún banco más caiga por contagio.

Para cubrir el total de combinaciones posibles de contagio en un sistema, primero se calcula de forma bilateral para cada grupo de entidades donde haya exposición, es decir que para el ejemplo de la matriz C habrá un total de combinaciones de  $\binom{2}{N}$ , para cubrir todos los posibles orígenes de contagio en el sistema de forma bilateral. En el caso puntual de la matriz C, estamos realizando 6 pruebas de estrés dentro del escenario.

Una vez culminado el proceso de estresar todas las posiciones banco a banco que surge por un shock idiosincrático, en todas las etapas (procesos de contagios) necesarias, lo que sigue es determinar qué pasa cuando inicialmente cae más de un banco, lo que puede surgir porque la quiebra de los bancos es consecuencia de un escenario de stress. Para desarrollar todas las posibles combinaciones hasta N-1, la cantidad de escenarios de propagación que tengo que simular será del orden de  $2^N-2$ .

Seleccionando la caída de dos o más bancos aleatoriamente hasta N-1 (siendo n las entidades del sistema), vamos a buscar si alguna EF quebró en la primera iteración. Si no hay ninguna caída, el proceso terminó. Caso contrario debemos desarrollar una segunda iteración con la nueva situación de los bancos contagiados en la primera iteración, suponiendo que los shocks macroeconómicos se dan en una primera etapa, y luego se suceden consecuencias bilaterales a raíz del shock general. Este proceso se deberá realizar tantas veces como iteraciones muestren bancos caídos, para cubrir todo el contagio posible.

Para simplificar el mecanismo para la simulación del shock sistémico, vamos a dejar expresadas para la primera iteración en la matriz, únicamente aquellos bancos que puedan verse afectados según (5).

Figura 6 – Exposición con activos por préstamos interbancarios, pasivos por deuda interbancaria y Capital total

Exp. bilaterales netas positivas con % Capital					
	B1	B2	B3	B4	Pasivo
B1				2,07	2,1
B2	9,0			7,5	16,6
B3	22,6	39,8		12,9	75,3
B4					0,0
Activo	31,6	39,8	0,0	22,5	
Capital	100	50	30	30	
% Capital	32%	80%	0%	75%	

Si determinamos que el porcentaje de capital afectado para que exista contagio es 40%, aquellos bancos por debajo de este porcentaje no sufrirán nunca un contagio que pueda generar su quiebra. En la figura 6, vemos que B1 y B3 quedan fuera de la simulación inicial pues tienen un % de afectación del capital menor al 40%, lo que los hace inmune de quebrar independientemente de cuantos bancos caigan. Por lo tanto los valores marcados en gris de B2 y B4 son los que efectivamente serán analizados.

Para saber entonces todos los escenarios posibles por los cuales se vería afectado B4, deberíamos primero analizarlo bilateralmente con B1, B2 y B3 de forma independiente, luego

combinaciones de a 2 donde las opciones son que caigan por un shock B1 y B2, B1 y B3 ó B2 y B3, culminando con un shock de los 3 bancos juntos. Esta serie de simulaciones nos da como resultado que tan vulnerable es B4 al total del sistema, dado por su exposición interbancaria.

#### D. Definición de la métrica

Para cada escenario planteado de 1 hasta n-1 bancos shockeados inicialmente, vamos a estimar la vulnerabilidad ex – ante para determinar el probable contagio propagado en todo el sistema.

Para ello calculamos el promedio de activos perdidos por contagio de los bancos contagiados (casos reales), dividido el total de activos potencialmente afectados (casos posibles). A esta proporción la definimos como  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{\bar{\theta}}{(\beta - \bar{\mathcal{E}})} \quad (6)$$

Donde  $\theta$  son los activos de los bancos perdidos por el contagio,  $\beta$  son los activos de los bancos de todo el sistema previo a la crisis,  $\mathcal{E}$  son los activos de los bancos que disparan inicialmente el contagio y  $\beta - \bar{\mathcal{E}}$  son los activos residuales del sistema después de la caída inicial de los primeros bancos. De esta forma, calculamos la tasa de caída o default en cada simulación sobre la base de los posibles casos.

Este ratio en (6) va de 0 a 1, donde 0 indica que no se perdió capital ante el escenario planteado, mientras que 1 determina que se pierde el total de los activos del sistema, por efectos del contagio.

Sabemos que ante un shock inicial, es distinta la probabilidad de que caiga un banco a que, por ejemplo, caigan 50. Por lo tanto el siguiente paso para calcular la métrica, es determinar la probabilidad de cada escenario de los bancos defaulteados, cuya quiebra originará el efecto dominó. Con ello calcularemos la vulnerabilidad esperada, como el resultado de la pérdida esperada de la destrucción de activos por contagio, de la siguiente forma:

$$E(\lambda) = \sum_{n=1}^N \lambda(n_i) \cdot P(n_i) \quad (7)$$

Donde la pérdida esperada  $E(\lambda)$  se define como la sumatoria de las pérdidas  $\lambda$  por contagio en cada escenario, definida en (6), multiplicada por su probabilidad de ocurrencia  $P$ . Ésta probabilidad surgirá de considerar dos estados posibles:

$$P(n) = P(n/\alpha) * P(\alpha) + P(n/(1-\alpha)) * (1 - P(\alpha)) \quad (8)$$

La variable  $P(\alpha)$  es la probabilidad de que el sistema económico de un país o región, donde se desarrolla el sistema financiero, se encuentre en un escenario de stress (con alta inflación, gran cantidad de desempleados, caídas abruptas del PBI, etc...). Mientras que  $1 - P(\alpha)$  es la probabilidad de tener un escenario estable en el sistema económico. Observamos que incluimos dos estados posibles y dependientes, cuyas distribuciones se mezclarán para establecer una probabilidad única que contemple las distintas situaciones por donde pueda atravesar la economía de un país. Esta variable podrá ser extraída de análisis macroeconómicos realizados en el sector financiero o de algún estudio de relevancia, a modo de verificar el impacto que pueda tener el estado de la economía sobre las entidades financieras. Este escenario de stress podrá o no influir en las EF, dependiendo del nivel de solvencia de las mismas.

La variable  $P(n/\alpha)$ , es la probabilidad de que a consecuencia de estar en una situación de stress en un momento dado quiebren arbitrariamente  $n$  bancos; surge de la realizar el siguiente proceso combinatorio:

$$\binom{n}{N} * (1 - P_c^{stress})^{N-n} * (P_c^{stress})^n \quad (9)$$

Donde en la combinatoria  $n$  determina las EF afectadas originalmente, mientras que  $N$  es el total del sistema de EF.  $P_c^{stress}$  es un promedio de la probabilidad idiosincrática de cada banco, de no sobrevivir a un escenario de stress en el sistema. Es independiente de la probabilidad de stress del sistema  $P(\alpha)$ , dado que si un banco es altamente solvente podría sobrevivir al peor escenario de stress del sistema.<sup>2</sup>

Por otro lado,  $P(n/(1-\alpha))$  es la probabilidad de que a consecuencia de estar en una situación estable del sistema económico quiebren arbitrariamente  $n$  bancos; y es el resultado de:

$$\binom{n}{N} * (1 - P_c^{norm})^{N-n} * (P_c^{norm})^n \quad (10)$$

Donde  $P_c^{norm}$  es un promedio de la probabilidad idiosincrática de cada banco, de no sobrevivir a un escenario conservador en el sistema.

<sup>2</sup>La  $P_c^{stress}$  podrá surgir del análisis de stress interno de cada banco, o eventualmente de generar un indicador desde el ente regulador

#### 4. Limitantes y discusiones de la Métrica

Con la obtención de  $E(\lambda)$  logramos determinar la métrica que nos calcula la cantidad de activos financieros comprometidos por contagio, en un determinado momento. Si  $E(\lambda)$  es igual a 0, el sistema financiero no tiene riesgo de sufrir contagio en ningún contexto, las EF gozan de gran solvencia asegurando la imposibilidad de que un banco quiebre por contagio independientemente del nivel de concentración de activos existente en el sistema. Al contrario, si su valor es igual a 1, encontramos un sistema totalmente inestable y comprometido, que pende de un hilo, la quiebra de cualquier banco estaría originando la caída de todo el sistema, produciendo un efecto dominó perfecto. Esta última opción en la práctica sería imposible, ya que tendríamos que tener un sistema financiero altamente interconectado (donde todos los bancos sean prestamistas) y una  $P(\alpha)$  igual a 1, generando una combinación extrema y un contagio seguro entre las EF. La misma situación de imposibilidad se da para el indicador igual a 0, ya que sería un sistema totalmente desconectado, donde las EF no se presten dinero o se presten dentro de sus límites sin apalancarse, por lo cual no existiría la posibilidad de contagio.

Si calculáramos la variable como una serie de tiempo, serían cuatro<sup>3</sup> los factores que, de un momento a otro y combinados, afectarían el contagio expresado en la métrica. Su control y desglose particular para cada banco, sería un desafío interesante de desarrollar para los trabajos venideros, ya que darían un mayor nivel de exactitud al cálculo.  $\lambda$  siempre será afectada por la composición de los préstamos interbancarios, mientras se mantenga estable en el tiempo, las  $P(\alpha)$ ,  $P_c^{stress}$ ,  $P_c^{norm}$  son las que determinarán si existe mayor o menor vulnerabilidad del sistema ante el contagio.

En nuestro sistema descentralizado y sin posible intervención de un banco central,  $\lambda$  y  $P(\alpha)$  podrían relacionarse inversamente, ya que existe la posibilidad de que a medida que empeora el panorama económico de un país (aumenta  $\alpha$ ), menor será el incentivo de los bancos a endeudarse mutuamente ya que este fondeo no sería necesario por la menor actividad financiera, produciéndose entonces un menor apalancamiento entre bancos (baja  $\lambda$ ). También se cumple esta correlación negativa si imaginamos un contexto, donde la inestabilidad aumenta (sube  $\alpha$ ) por falta de liquidez, aumentan el costo de prestar dinero (aumenta la tasa) y por lo tanto los bancos tienen menos acceso a este crédito, reduciéndose  $\lambda$ . Ésta y otras combinaciones serán mejor estudiadas por aquellos que puedan requerir esta información de forma precisa a las entidades financieras.

---

<sup>3</sup> $P(\alpha)$ ,  $P_c^{stress}$ ,  $P_c^{norm}$  y  $\lambda$

Entre las limitantes de la métrica tenemos un punto importante en la forma de determinar las exposiciones entre los bancos. Un banco central que tenga la información precisa del estado de los préstamos interbancarios de forma particular, lograría mejorar este punto sensible de la medición.

## 5. Algunos ejemplos

Partiendo desde un nivel de exposición determinado para un sistema financiero de 11 EF, analizaremos algunos ejemplos ilustrados en el Anexo B, para demostrar cómo trabajan las variables explicadas en el punto 3.D.

### Ejemplo 1

Como definimos para (6), un valor de  $\lambda$  próximo a cero implica un sistema estable donde la propagación, a raíz de la quiebra de  $n$  bancos, tendría efecto cuasi nulo sobre el resto de las EF. El ejemplo 1 del anexo B muestra éste caso, donde  $P(\alpha)$ ,  $P_c^{norm}$  y  $P_c^{stress}$  poseen valores bajos, por lo cual vemos a un sistema financiero estable en un contexto macroeconómico estable. Si vemos los  $\lambda$  de cada escenario, existe un bajo escenario de propagación del contagio, por lo que combinado con una probabilidad baja de contagio, resulta en un valor de 0,07% para nuestro indicador. Siendo un sistema financiero estable.

### Ejemplo 2

Bajo el mismo nivel de exposición del ejemplo 1, vemos como el efecto de un entorno económico más vulnerable y con mayor probabilidad de stress ( $P(\alpha)$  y  $P_c^{stress}$  en niveles altos), influyen para que el indicador se eleve al 13,11%.

La gráfica de probabilidad de cada escenario presenta un aumento en la probabilidad de que entre 3 y 8 bancos sean disparadores del contagio.

### Ejemplo 3

A diferencia de los sistemas anteriores, vemos cómo aumenta el área bajo la curva del gráfico de  $\lambda$ , interpretándose como un mayor nivel de contagio en el sistema financiero. Si le sumamos una economía débil ( $P(\alpha)$  alto) y un sistema financiero en riesgo ( $P_c^{stress}$  del 50%), obtenemos un aumento en  $E(\lambda)$ .

### Ejemplo 4

Si pensamos un escenario de alta volatilidad macroeconómica ( $P(\alpha)$  alto), pero con un sistema financiero que por su fortaleza o su inactividad no sufre los coletazos de la economía

en general estresada; vemos como el indicador no se incrementa mucho respecto al ejemplo 2, dado que aunque aumentó mucho la  $(P(\alpha)$  alto), disminuyó  $P_c^{stress}$  por las condiciones ya explicadas.

#### Ejemplo 5

Un indicador alto de vulnerabilidad surge de combinar elevados escenarios de propagación con alta probabilidad de impacto. En este ejemplo vemos como el área bajo la curva de  $\lambda$  es elevado respecto al área total del gráfico, mostrando fragilidad del sistema ante los diversos contagios, de las muestras obtenidas observamos que a partir de 6 bancos quebrados, originadores del contagio, el sistema del ejemplo cae completamente. A su vez es alta la probabilidad de impacto, ya que las EF están debilitadas y pueden ocasionar el contagio con mayor probabilidad ( $P_c^{stress}$  y  $P_c^{norm}$  elevados). Observemos cómo las probabilidades que de 2 a 6 sean los bancos que ocasionen el contagio aumenta considerablemente llegando al 25%. El valor de 70,29% de nuestro indicador muestra un sistema altamente vulnerable.



## 6. Conclusiones

Determinar la fragilidad del sistema financiero, por las deudas que poseen las EF entre ellas, es una métrica necesaria para un contexto actual de complejas interrelaciones bancarias. No basta un análisis parcial para medir la vulnerabilidad de un sistema.

En nuestro modelo determinamos los pasos para que, con las herramientas y los datos necesarios, establezcamos la inestabilidad de un sistema ante el contagio por los préstamos interbancarios. Fuimos un paso más allá de Čihák (2007) al extrapolar el proceso de contagio para todas las combinaciones disparadoras posibles.

Vimos que tenemos dos partes importantes para determinar la métrica, por un lado la definición de las exposiciones y por el otro determinar las propagaciones. Luego tuvimos que agregarle la probabilidad de ocurrencia de los bancos en situación conservadora y de stress, para luego vincularla a la probabilidad de stress del sistema en sí. Tener de cada EF éstos valores es el siguiente paso para poder desarrollar la métrica y probar su elasticidad antes los cambios en alguna de sus variables.

Llegar al valor de la métrica será un objetivo que no solo tendrá valor para saber el estado del sistema, sino que será un fuerte herramienta de los bancos centrales para estudiar qué medidas estratégicas establecer para evitar el contagio, en vez de dedicarse a mitigarlo.

El desafío será medirlo y compararlo entre países para calibrarlo de la mejor manera posible. Su comparación y evolución a lo largo del tiempo demostrarán si puede o no ayudar a ser un indicador líder de contagio.

## Bibliografía

- Bech, M. L., & Garratt, R. (2003). The intraday liquidity management game. *Journal of Economic Theory*, 109(2), 198-219.
- Beck, N., Katz, J. N., Alvarez, R. M., Garrett, G., & Lange, P. (1993). Government Partisanship, Labor Organization, and Macroeconomic Performance: A Corrigendum. *American Political Science Review*, 87(04), 945-948.
- Blåvarg, M., & Nimander, P. (2002, October). Interbank exposures and systemic risk. In This volume contains papers presented and papers based on presentations at the Third Joint Central Bank Research Conference on Risk Measurement and Systemic Risk held at the BIS in March 2002. The views expressed in this volume are those of the authors and do not necessarily reflect the views of the BIS or the central banks represented at the conference. Authors retain the copyright for their individual papers. (p. 287).
- Calomiris, C. W., & Mason, J. R. (2003). Consequences of bank distress during the Great Depression. *American Economic Review*, 937-947.
- Cihák, M. M. (2007). Introduction to Applied Stress Testing (EPub) (No. 7-59). *International Monetary Fund*, 38-42
- Diamond, D. W., & Dybvig, P. H. (1983). Bank runs, deposit insurance, and liquidity. *The journal of political economy*, 401-419.
- Furfine, C. H. (2003). Interbank exposures: Quantifying the risk of contagion. *Journal of money, credit and banking*, 111-128.
- Informe sobre Bancos, publicación del Banco central de la República Argentina en su Web, Agosto 2014
- International Monetary Fund (Abril 2014), , Moving from Liquidity- to Growth-Driven Markets. *Global Financial Stability Report*, 105-106
- Kodres, L. E., & Pritsker, M. (2002). A rational expectations model of financial contagion. *The journal of finance*, 57(2), 769-799.
- Lublóny, Á. (2005). Domino effect in the Hungarian interbank market. *Hungarian Economic Review*, 52(4), 377-401.
- Upper, C. (2011). Simulation methods to assess the danger of contagion in interbank markets. *Journal of Financial Stability*, 7(3), 111-125.
- Upper, C., & Worms, A. (2004). Estimating bilateral exposures in the German interbank market: Is there a danger of contagion?. *European Economic Review*, 48(4), 827-849.

- Sheldon, G., & Maurer, M. (1998). Interbank lending and systemic risk: an empirical analysis for Switzerland. *REVUE SUISSE D ECONOMIE POLITIQUE ET DE STATISTIQUE*, 134, 685-704.
- Rochet, J. C., & Tirole, J. (1996). Interbank lending and systemic risk. *Journal of Money, credit and Banking*, 733-762.
- Wells, S. (2002). UK interbank exposures: systemic risk implications. *Financial Stability. Bank of England. Review*, 13(12), 175-182.



Universidad de  
**San Andrés**

## Anexo I

```
Matriz=zeros(10,10);

A=[0.055, 0.055, 0.080, 0.087, 0.087, 0.081, 0.073, 0.102, 0.128,
0.252];

N=length(A);
pA=A/sum(A);
pAc=cumsum(pA);

L=[0.090, 0.098, 0.085, 0.089, 0.107, 0.107, 0.105, 0.090, 0.142,
0.089];
pL=zeros(N,N-1);
pLc=zeros(N,N-1);
index=zeros(N,N-1);

pL(1,:)=[L(2);L(3);L(4);L(5);L(6);L(7);L(8);L(9);L(10)]/(L(2)+L(3)+L(4)+L(5)+L(6)+L(7)+L(8)+L(9)+L(10));
pL(2,:)=[L(1);L(3);L(4);L(5);L(6);L(7);L(8);L(9);L(10)]/(L(1)+L(3)+L(4)+L(5)+L(6)+L(7)+L(8)+L(9)+L(10));
pL(3,:)=[L(1);L(2);L(4);L(5);L(6);L(7);L(8);L(9);L(10)]/(L(1)+L(2)+L(4)+L(5)+L(6)+L(7)+L(8)+L(9)+L(10));
pL(4,:)=[L(1);L(2);L(2);L(5);L(6);L(7);L(8);L(9);L(10)]/(L(1)+L(2)+L(2)+L(5)+L(6)+L(7)+L(8)+L(9)+L(10));
pL(5,:)=[L(1);L(2);L(3);L(4);L(6);L(7);L(8);L(9);L(10)]/(L(1)+L(2)+L(3)+L(4)+L(6)+L(7)+L(8)+L(9)+L(10));
pL(6,:)=[L(1);L(2);L(3);L(4);L(5);L(7);L(8);L(9);L(10)]/(L(1)+L(2)+L(3)+L(4)+L(5)+L(7)+L(8)+L(9)+L(10));
pL(7,:)=[L(1);L(2);L(3);L(4);L(5);L(6);L(8);L(9);L(10)]/(L(1)+L(2)+L(3)+L(4)+L(5)+L(6)+L(8)+L(9)+L(10));
pL(8,:)=[L(1);L(2);L(3);L(4);L(5);L(6);L(7);L(9);L(10)]/(L(1)+L(2)+L(3)+L(4)+L(5)+L(6)+L(7)+L(9)+L(10));
pL(9,:)=[L(1);L(2);L(3);L(4);L(5);L(6);L(7);L(8);L(10)]/(L(1)+L(2)+L(3)+L(4)+L(5)+L(6)+L(7)+L(8)+L(10));
pL(10,:)=[L(1);L(2);L(3);L(4);L(5);L(6);L(7);L(8);L(9)]/(L(1)+L(2)+L(3)+L(4)+L(5)+L(6)+L(7)+L(8)+L(9));

fori=1:N
pLc(i,:)=cumsum(pL(i,:));
end

fori=1:N
for j=1:N
if j<i
index(i,j)=j;
elseif j>i
index(i,j-1)=j;
end
end
end
```

## Anexo I (continuación)

```
fori=1:10000000
aux=rand;
rama=sum(aux>pAc)+1;
aux=rand;

    if(aux<pLc(rama,1))
Matriz(rama,index(rama,1))=Matriz(rama,index(rama,1))+1;
elseif (aux<pLc(rama,2))
Matriz(rama,index(rama,2))=Matriz(rama,index(rama,2))+1;
elseif (aux<pLc(rama,3))
Matriz(rama,index(rama,3))=Matriz(rama,index(rama,3))+1;
elseif (aux<pLc(rama,4))
Matriz(rama,index(rama,4))=Matriz(rama,index(rama,4))+1;
elseif (aux<pLc(rama,5))

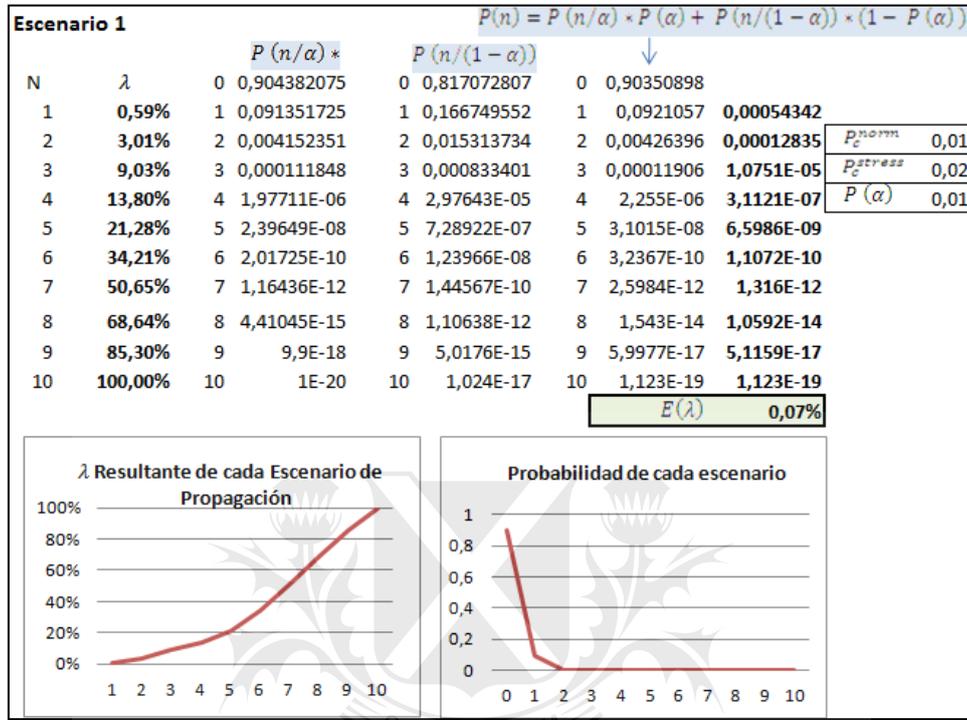
Matriz(rama,index(rama,5))=Matriz(rama,index(rama,5))+1;
elseif (aux<pLc(rama,6))
Matriz(rama,index(rama,6))=Matriz(rama,index(rama,6))+1;
elseif (aux<pLc(rama,7))
Matriz(rama,index(rama,7))=Matriz(rama,index(rama,7))+1;
elseif (aux<pLc(rama,8))
Matriz(rama,index(rama,8))=Matriz(rama,index(rama,8))+1;

else
Matriz(rama,index(rama,9))=Matriz(rama,index(rama,9))+1;
end

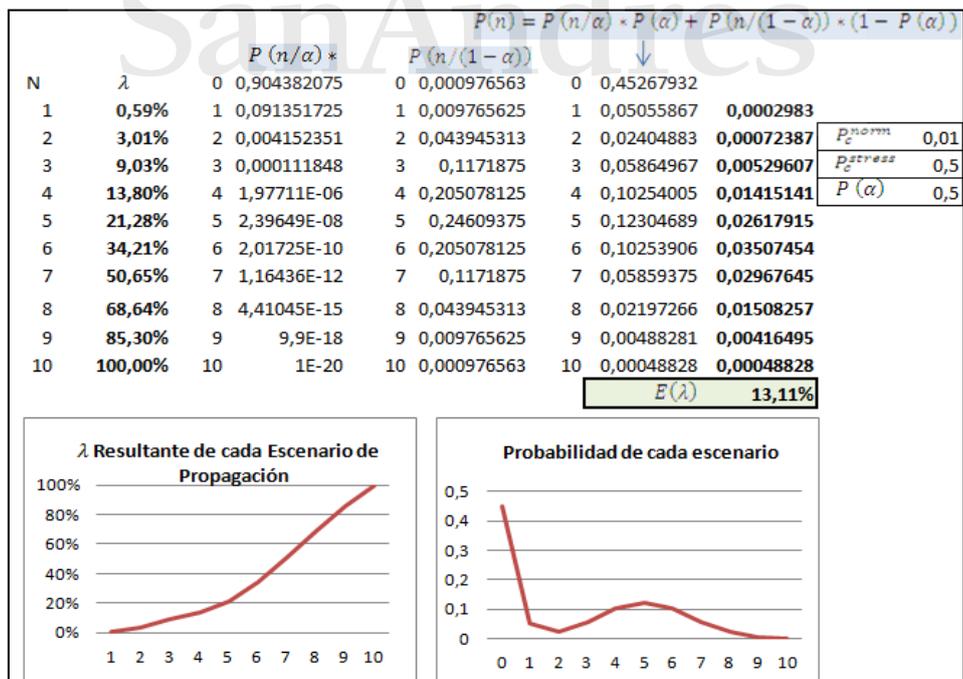
end
```

## Anexo B

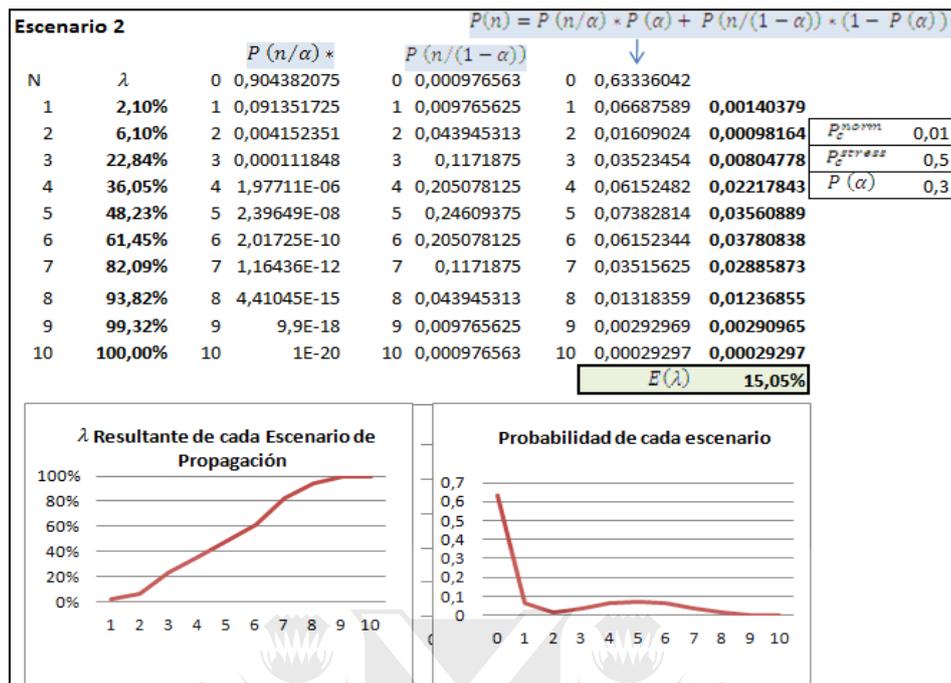
Ejemplo 1– Sistema financiero intrínsecamente estable, en un escenario estable de la macroeconomía.



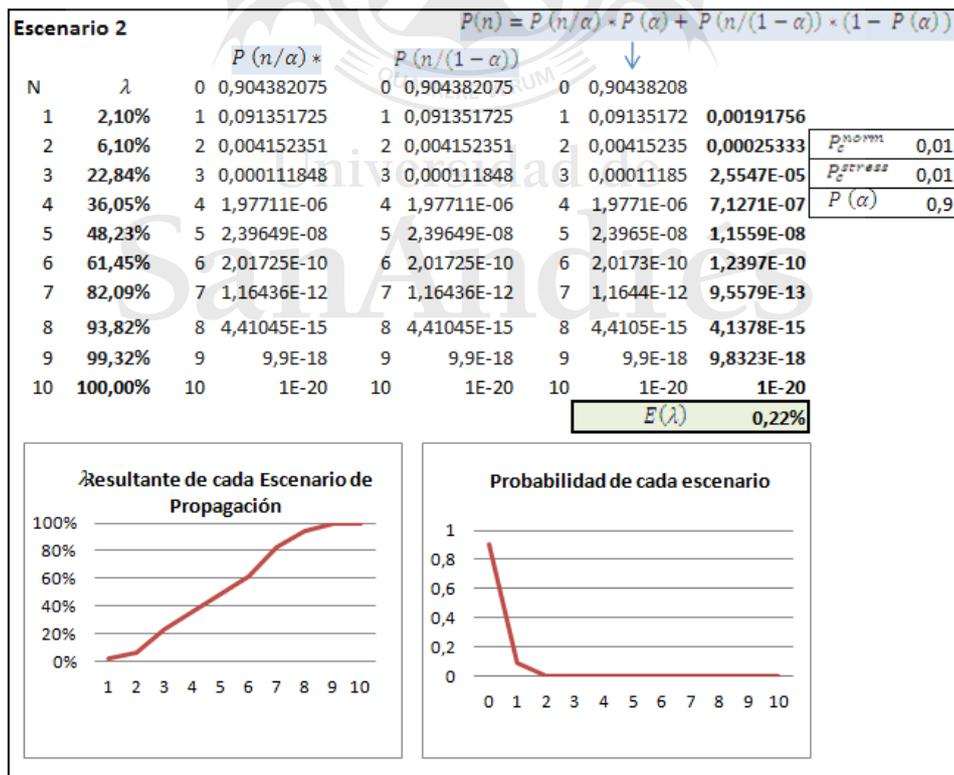
Ejemplo 2 - Sistema financiero intrínsecamente estable, en un escenario de mayor stress en la economía, con un mayor nivel de  $P_c^{stress}$  en los bancos.



Ejemplo 3 – Sistema financiero inestable con mayor probabilidad de stress



Ejemplo 4 – Sistema financiero inestable, en un escenario estable de la macroeconomía



Ejemplo 5 – Sistema financiero inestable con mayor probabilidad de stress

