



BANCO CENTRAL DE BOLIVIA

Identificación de instituciones financieras sistémicamente importantes en Bolivia a través de la construcción de mapas auto-organizados. Aproximaciones macro y microprudencial

Jonnathan Cáceres Santos *

Documento de trabajo N.° 01/2015

Revisado por: Patricia Mendez Solíz

Octubre de 2015

*Correo electrónico del autor: jcaceres@bcb.gob.bo.

Trabajo presentado en su versión preliminar en el VII Encuentro de Economista de Bolivia efectuado entre el 21 y 22 de agosto de 2014 en la ciudad de La Paz, Bolivia.

El contenido del presente documento es de responsabilidad del autor y no compromete la opinión del Banco Central de Bolivia.

Resumen

La identificación de Instituciones Financieras Sistémicamente Importantes (SIFI por sus siglas en inglés) se constituye en información vital para las entidades encargadas de la supervisión y regulación financiera, ya que les permite enfocar el monitoreo, tratamiento y regulación de entidades de manera diferenciada, y gestionar la prevención de las crisis o la manera en que deben ser afrontadas, en caso de que estas se materialicen. No obstante, se ha tornado en una tarea bastante difícil debido a las características complejas que alcanzaron los mercados financieros.

El objetivo del presente estudio es identificar, clasificar y correlacionar las SIFI en Bolivia, a través de mapas auto-organizados, según los criterios de las aproximaciones macro y microprudencial: tamaño, conectividad, sustituibilidad y concurrencia.

Entre los principales resultados de este documento se destaca que un banco comercial y una cámara de compensación se constituyeron en SIFI de acuerdo con información a 2013. Asimismo se plantea algunas directrices regulatorias.

Clasificación JEL: C45, E42

Palabras claves: Riesgo sistémico, mapas auto-organizados, sistema de pagos, redes neuronales artificiales

Identification of systemically important financial institutions in Bolivia through self-organizing maps. Macro and microprudential approaches

Abstract

Identification of Systemically Important Financial Institutions (SIFI) provides important information for supervision and regulation of the financial system, because it allows focusing on monitoring and preventing crises or how they should be faced. However, it has become a difficult task due to the complex characteristics of financial markets.

The objective of this study is to identify, classify and correlate the SIFI in Bolivia, through self-organizing maps, according to the criteria of macro and micro approaches: size, connectivity, substitutability and number of customers.

The main results of this paper show that a commercial bank and a clearing house are SIFIs according to information of 2013. Some regulatory guidelines are established as a result.

JEL Classification: C45, E42

Keywords: Systemic risk, self-organizing maps, payment system, artificial neural networks

I. Introducción

Los fundamentos de las crisis financieras han cambiado sustancialmente a la par de las transformaciones que han registrado los mercados financieros. Prueba de ello, en 2007 los efectos ampliados de la quiebra y deterioro patrimonial de algunas instituciones alcanzaron a todo el sistema financiero e incidieron negativamente sobre las economías de varios países hasta causar su recesión.

Este episodio puso en evidencia las limitaciones de las autoridades públicas de regulación para evitar que problemas de entidades individuales se propagasen hasta afectar la estabilidad financiera. La intervención a gran escala de los gobiernos se hizo necesaria para poder restablecer la estabilidad y evitar mayores daños económicos.

Entre las lecciones más importantes que dejó esta crisis está que la importancia sistémica de las instituciones financieras ya no dependía únicamente de su tamaño, sino de las interconexiones y lo crítico de sus funciones en los mercados financieros. Consiguientemente, los criterios para catalogar a las Instituciones Financieras Sistémicamente Importantes o SIFI (*Systemic Important Financial Institutions*) fueron sujetos de revisión y análisis, pues estos debían ser coherentes con la complejidad y las condiciones que habían alcanzado los mercados financieros.

Las aproximaciones macro y microprudencial conformaron marcos metodológicos para la regulación de instituciones financieras, y a través de ellos, criterios para la identificación de SIFI. Inicialmente, la aproximación microprudencial asumió el enfoque *'too big to fail'* (demasiado grande para caer). Bajo este punto de vista, las SIFI serían simplemente las instituciones que concentran los mayores volúmenes de activos y/o pasivos en un sistema financiero.

Posteriormente la aproximación macroprudencial bajo una perspectiva más amplia e integral, incorporó nuevos elementos de análisis para la gestión del riesgo sistémico. Además de considerar el enfoque anterior, esta aproximación incluye los enfoques *'too interconnected to fail'* (demasiado interconectado para caer) y *'too non-substitutable to fail'* (demasiado insustituible para caer). Actualmente las SIFI además de concentrar los mayores volúmenes de activos y/o pasivos, también son instituciones estrechamente interconectadas con otras y/o ejecutan funciones vitales que aseguran la continuidad de las operaciones en el sistema financiero.

Por su parte, los organismos financieros internacionales como el Fondo Monetario Internacional y el Banco de Pagos Internacionales (IMF y BIS por sus siglas en inglés) en consideración a los eventos que precedieron a la última crisis, y los posteriores que marcaron en definitiva el contagio financiero, también coincidieron con los enfoques citados para establecer los criterios de tamaño, conectividad y sustituibilidad para identificar a las SIFI.

Para el caso boliviano, además de los criterios citados, adicionalmente se propone el criterio de 'conurrencia' con el enfoque *'too crowded to fail'* (demasiado concurrido para caer) en referencia a la concentración del número de clientes en ciertas instituciones del sistema financiero.¹

Durante la última década el sistema financiero boliviano registró importantes cambios: por un lado se destaca una expansión generalizada de la actividad de intermediación financiera y un mayor acceso de la población a servicios financieros. Pero un elemento aún más sobresaliente, es la creciente actividad de las Infraestructuras del Mercado Financiero como los sistemas de pagos, cámaras de compensación y sistemas de liquidación de valores que cumplen funciones únicas y vitales en el sistema financiero, los cuales debido a su importancia no pueden ser ajenos a las tareas de análisis e implementación de políticas macroprudenciales² orientadas a preservar la estabilidad financiera.

En este sentido, la identificación de SIFI se constituye en información vital para las autoridades de supervisión y regulación financiera, ya que les permite enfocar el monitoreo, tratamiento y regulación de las entidades de manera diferenciada, y gestionar la prevención de las crisis o la manera en que deben ser afrontadas en caso de que estas se materialicen.

En este contexto internacional, y en el boliviano en particular, la identificación de SIFI se ha traducido en una tarea bastante compleja que conlleva ciertos riesgos, como la posibilidad de ejercer criterios subjetivos en la selección, priorización y conjunción de variables, los cuales a su vez podrían sesgar los resultados.

¹ Este criterio es particularmente relevante para analizar a algunas de las entidades financieras en Bolivia, como las Entidades Especializadas en Microfinanzas, las cuales concentran una proporción significativa de clientes.

² La política macroprudencial está definida como aquella que utiliza instrumentos prudenciales para limitar los efectos del riesgo sistémico (Moreno, 2011).

Coherente con los elementos citados y las exigencias para desarrollar un método objetivo que permita identificar y clasificar a las SIFI, el presente estudio propone un método basado en Mapas Auto-Organizados (*Self-Organizing Maps - SOM*).

El objetivo de este trabajo es identificar, clasificar y correlacionar a las SIFI del sistema financiero boliviano en función de su preponderancia sistémica, a través de SOM y de acuerdo con los enfoques de la aproximación macro y microprudencial del riesgo sistémico.

En la segunda parte del documento se efectúa una revisión conceptual del riesgo sistémico y de las directrices para su gestión; en la tercera sección se desarrollan los elementos relacionados con la aproximación macro y microprudencial; seguidamente se realiza una breve revisión teórica sobre las Redes Neuronales Artificiales (RNA) y los SOM; en la quinta parte se presenta el marco analítico y la identificación de SIFI para el caso boliviano. Finalmente, las conclusiones y consideraciones de cierre.

II. Riesgo sistémico y SIFI - directrices para su análisis

Actualmente el riesgo sistémico está fuertemente asociado a la interconexión e interdependencias entre instituciones financieras³, la continuidad de los servicios provistos por las infraestructuras del mercado financiero, esto sin dejar de lado los riesgos y determinantes tradicionales.

El CPSS⁴ (2001) define el riesgo sistémico como el riesgo de que la imposibilidad de uno de los agentes del sistema para cumplir con sus obligaciones, o una alteración en el propio sistema, pueda resultar en la incapacidad de otros agentes del sistema financiero para cumplir con sus obligaciones al momento de su vencimiento. Bajo esta definición, el *shock* financiero puede ser causado por eventos idiosincrásicos o conjuntos, y el contagio financiero tendría un comportamiento similar a un 'efecto dominó' en el cual los agentes del mercado serían inhabilitados de manera sucesiva.

Por su parte, IMF et al. (2009) señalan que el riesgo sistémico es el riesgo de interrupción de los servicios financieros causado por un daño en la totalidad o en partes del sistema financiero que tiene la capacidad de afectar negativamente al sector real de la economía. Con el objeto de evaluar la importancia sistémica de las instituciones formularon los

³ En el presente documento el término 'instituciones financieras' agrupa tanto a instituciones de intermediación financiera como a las infraestructuras del mercado financiero.

⁴ Comité de Sistemas de Pago y Liquidación

criterios de tamaño, conectividad, y sustituibilidad⁵, asimismo, postulan que través de la combinación de estos criterios es posible obtener un mayor beneficio con respecto al análisis de los posibles orígenes del riesgo sistémico.

En abril de 2012 el BIS⁶-IOSCO⁷-CPSS publicaron ‘Los principios para infraestructuras de los mercados financieros’. Este documento establece un conjunto de estándares para reforzar la seguridad y eficiencia de los servicios prestados por las Infraestructuras del Mercado Financiero, con lo que se pretende limitar el riesgo sistémico y potenciar la estabilidad financiera. A través de estos principios se reconoce cinco tipos de Infraestructuras: sistemas de pagos, depositarios centrales de valores, sistemas de liquidación de valores, entidades de contrapartida central y centrales de registro de datos⁸.

La emisión y la consiguiente aplicación de los principios han puesto de manifiesto la relevancia de los servicios prestados por las IMF para el funcionamiento de los mercados financieros y lo crítico que resultaría su fallo o interrupción para el sistema en su conjunto. Como un elemento innovador en el ámbito de la regulación y vigilancia, estas directrices generaron la necesidad de llevar adelante evaluaciones internas y la adopción de periodos de ajuste para su aplicación en cada país, lo cual también podría conllevar cambios de orden jurídico y operativo.

El estudio y diseño de metodologías para la identificación y tratamiento de SIFI es un tema reciente y de vital importancia, por lo cual en el último quinquenio se han desarrollado las primeras aproximaciones metodológicas orientadas a ello.

En 2011, IOSCO (2011), BIS (2011) (a través del Comité de Basilea) y FSB (2011) establecieron metodologías y parámetros generales para la identificación de SIFI, los mismos que fueron divulgados a través de documentos técnicos. Con estos lineamientos generales, ha surgido la necesidad en las instituciones públicas encargadas de precautelar la estabilidad financiera (entidades de supervisión y bancos centrales,

⁵ Con base a estos criterios, también es posible clasificar el tipo de impacto que traería consigo una eventual crisis sistémica. Por un lado, el impacto de tipo directo estaría asociado a la caída de una SIFI calificado así de acuerdo con los criterios de tamaño o sustitución, en tanto que un impacto indirecto estaría vinculado a la caída de una SIFI bajo el criterio de interconexión.

⁶ Banco de Pagos Internacionales.

⁷ Organización Internacional de Comisiones de Valores.

⁸ En Bolivia no operan entidades de contrapartida central ni de centrales de registro de datos.

principalmente) de desarrollar métodos y modelos particulares que permitan identificar SIFI en sus propios países.

Asimismo en el campo de la investigación, se destaca un conjunto de estudios que analizaron el riesgo sistémico a partir de las redes transaccionales y la interconexión de las entidades financieras en los sistemas de pago de alto valor. Estos trabajos coinciden en el uso de la topología de redes y simulación como metodologías de análisis. Por ejemplo, Soramäki et al. (2006) analizaron los flujos de pagos del sistema *Fedwire* en Estados Unidos; de igual manera Becher et al. (2008) exploraron los riesgos asociados a la red del *Clearing House Automated Payment System* (CHAPS) en el Reino Unido; Inaoka et al. (2004) efectuaron un estudio similar para el caso de BOJ-Net en Japón; Cepeda (2008) analizó el Sistema de Cuentas de Depósito (CUD) en Colombia; y Cáceres y Aldazosa (2011) el Sistema de Pagos de Alto Valor, SIPAV para el caso boliviano.

Por su parte León y Machado (2011) presentaron uno de los primeros trabajos en los que se aúnan los criterios de tamaño, conectividad y sustituibilidad para construir un índice de importancia sistémica con el uso de lógica difusa (*fuzzy logic*), para el caso colombiano. Entre los principales resultados, se destaca que la interconexión es el elemento principal para que una institución financiera sea considerada como SIFI.

III. Aproximaciones macro y microprudencial

El objetivo de dar seguimiento a los riesgos sistémicos, responde al criterio de que no es suficiente asegurar individualmente la solvencia de las instituciones financieras para evitar una crisis bancaria, sino que hay amenazas que se ciernen sobre el sistema en su conjunto y que pueden materializarse en crisis sistémicas (Jácome, 2013).

Borio (2003) esquematiza de la siguiente manera los objetivos y marcos de análisis de las aproximaciones macro y microprudencial, y con ello la perspectiva del análisis del riesgo sistémico (Cuadro 1).

Cuadro 1: APROXIMACIONES MACRO Y MICROPRUDENCIALES

	Macroprudencial	Microprudencial
Objetivo próximo	Minimizar la ocurrencia de crisis financieras sistémicas	Minimizar la ocurrencia de crisis en las instituciones
Objetivo final	Limitar los costos reales para la economía	Protección al consumidor financiero (depositante/ inversionista/ prestatario)
Modelo de riesgo	Analiza dependencias y la conducta colectiva del sistema en su conjunto. Considera que el riesgo es en parte endógeno.	Analiza de manera independiente la conducta individual de los agentes. Considera que el riesgo es exógeno.
Análisis de correlaciones y exposiciones comunes de las entidades instituciones	Importante	Irrelevante
Controles prudenciales	En términos del riesgo sistémico bajo el formato 'top-down'	En términos de riesgo de las instituciones individuales, bajo el formato 'bottom-up'

Fuente: Traducción libre de Borio (2003), p. 2

En primer lugar se destaca la diferencia en el alcance de los objetivos de ambas aproximaciones: en términos macroprudenciales, la minimización de la ocurrencia de crisis financieras sistémicas está orientada a evitar costos económicos y sociales, como caídas del Producto Interno Bruto y del empleo, mientras que el enfoque microprudencial procura evitar el riesgo de quiebra de las instituciones financieras de manera individual, sin importar el costo que pueda representar para la economía.

El modelo de riesgo, también presenta diferencias sustanciales. A través de la aproximación macroprudencial se analiza los movimientos colectivos e interdependencias entre instituciones, tomando en cuenta los eventos y fenómenos del sistema financiero como un todo; en cambio, la aproximación microprudencial analiza individualmente a los agentes del sistema y deja al margen las implicaciones del comportamiento colectivo.

Con base en estas diferencias y de acuerdo con Martínez y Torres (2013), el énfasis sobre los elementos del sistema financiero considerados por la aproximación microprudencial deben complementarse con los incluidos en la aproximación macroprudencial para garantizar la solidez del sistema financiero.

Asimismo, los estudios recientes llevados a cabo por los bancos centrales sirvieron para esclarecer determinados tipos de riesgo -como el riesgo de liquidez y de crédito, a los cuales están expuestas las IMF- que tradicionalmente no han sido objeto de regulación microprudencial. Con el tiempo, ello podría facilitar la interpretación y el control sistémico de las exposiciones comunes y de las redes de conexiones que podrían tener repercusiones de carácter sistémico (Moreno, 2011).

El siguiente cuadro precisa las métricas, métodos y criterios para cada aproximación:

Cuadro 2: APROXIMACIONES MACRO Y MICROPRUDENCIALES

	Microprudencial	Macroprudencial
Métricas	Hojas de balance	Hojas de balance, conectividad, liquidez y sustituibilidad
Método	Análisis individual (Visión limitada del riesgo sistémico)	Análisis conjunto, dinámico y proactivo. (Visión amplia del riesgo sistémico)
Criterios y enfoques	Tamaño (<i>Too big to fail</i>)	
		Conectividad (<i>Too connected to fail</i>)
		Sustitución (<i>Too non substitutable to fail</i>)

Fuente: Leon y Machado (2011)

III.1. Criterios y enfoques

Tamaño (*too big to fail*)

Tradicionalmente las autoridades de supervisión emplearon este criterio para clasificar de manera jerárquica a las entidades financieras y con ello identificar a las SIFI. El enfoque '*too big to fail*' considera que los bancos de mayor tamaño son los más representativos en el mercado y a la vez los de mayor importancia sistémica, lo que implicaría que su deterioro o eventual quiebra podría incidir decisivamente sobre el desempeño del sistema.

El tamaño de las entidades financieras, normalmente es aproximado por el importe de los activos y/o pasivos (cartera crediticia, inversiones o depósitos del público) que figuran en la hoja de balance. De manera casi análoga, IMF et al. (2009) consideran que el tamaño de una institución financiera depende del número de servicios financieros prestados.

Coherente con las condiciones actuales de los mercados financieros, el tamaño de las instituciones no es el único determinante de su importancia sistémica. Por el contrario, es un elemento complementario a la interconexión y la sustituibilidad que debe incluirse para identificar, analizar y regular a las SIFI.⁹

La aplicación exclusiva de este criterio resulta insuficiente para analizar el riesgo sistémico de manera integral, pues los elementos dejan al margen aspectos relevantes de los mercados financieros actuales.

⁹ Zhou (2010) concluye que para una muestra de 28 bancos estadounidenses, el tamaño no está asociado con la importancia sistémica.

Conectividad (*too interconnected to fail*)

El reconocimiento de que la estabilidad financiera depende de la conducta colectiva de los participantes y de sus interconexiones, justifica el énfasis reciente en la adopción de un punto de vista macroprudencial para la regulación financiera (Somaräki, 2012).

El criterio de conectividad se fundamenta en que el alcance de las crisis sistémicas y su propagación dependerían de las interconexiones y las interdependencias que se conforman en los mercados financieros, principalmente por las transferencias de fondos y activos entre entidades financieras a través de los sistemas de pago y de liquidación de valores. Las interconexiones entre bancos de importancia sistémica son responsables de propagar las perturbaciones por todo el sistema financiero y la economía (BIS, 2011).

Por tanto, entre más interconectada esté una institución financiera mayor será su preponderancia en la conformación de la estructura de la red transaccional y su incidencia sobre el sistema ante un eventual contagio financiero.

Para examinar el grado de conectividad de una institución es posible utilizar métricas básicas de la topología de redes, como el grado de entrada o salida, o algunas más sofisticadas como *Betweenness Centrality*¹⁰ o *Hypertext Induced Topic Selection (HITS)*.¹¹

De manera complementaria es posible fundamentar las pruebas de *stress* a partir de la caída de las instituciones más interconectadas, y con ello evaluar la resistencia de la red y la reacción de las demás entidades.¹²

¹⁰ *Betweenness Centrality*: $C_t^B(i) = \frac{1}{(n_t-1)(n_t-2)} \sum_{a \neq i, b \neq i, \sigma_{ab} \neq 0} \frac{\#\sigma_{ab}(i)}{\#\sigma_{ab}}$

donde: n_t : Número de participantes en el sistema de pagos; $\#\sigma_{ab}(i)$: conjunto de caminos que conectan a los agentes (a) y (b) y pasan por el agente (i) (conjunto de geodésicas dirigidas entre a y b) y $\#\sigma_{ab}$: conjunto de caminos que conectan a los agentes (a) y (b) - conjunto de geodésicas dirigidas entre a y b.

¹¹ HITS es un algoritmo para valorar y clasificar, la importancia de una página web. HITS usa dos indicadores: *authority*, que valora cuán buena es la página como recurso de información, y *hub*, que indica cuán buena es la información que se consigue siguiendo los enlaces que tiene a otras páginas

$x_i = \sum_{q, q \rightarrow i} y_i$; $y_i = \sum_{q, i \rightarrow q} x_i$

donde: x_i : *hub*, mide el grado recomendante del nodo (i)

y_i : *authority*, mide el grado de cuan buen recurso es el nodo (i)

Sustitución (*too non substitutable to fail*)

Este criterio se basa en la dificultad que implicaría para un sistema financiero sustituir la ausencia de ciertos servicios y/o funciones ante un fallo o caída de una institución del mercado. De acuerdo con la naturaleza de ellos, la evaluación sistémica debe validar los sustitutos de: i) los servicios prestados por las IMF y ii) la provisión de liquidez en el mercado. Para el primer caso no resultaría complicado establecer el grado de sustitución de ciertos servicios como la compensación de operaciones, la liquidación de fondos y valores, registro y custodia de títulos, entre otros, puesto que los agentes especializados en estos servicios normalmente son muy pocos. Para el segundo caso, es posible considerar la provisión de liquidez a través del sistema de pagos.

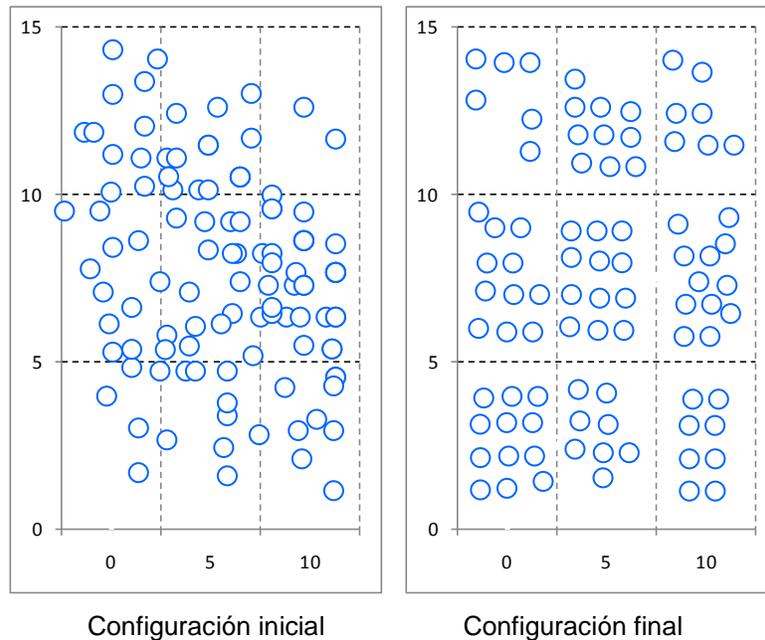
IV. Mapas auto-organizados (*Self-Organizing Maps - SOM*)

La auto-organización es un fenómeno estudiado por diferentes ramas de la ciencia como la sociología, la biología y la química, está referido a un proceso espontáneo que agrupa elementos de un sistema a través de fluctuaciones aleatorias que son amplificadas por una retroalimentación. A manera de ejemplo, se puede mencionar los primeros días de clases en un nivel inicial de la universidad, donde los estudiantes se distribuyen de manera aleatoria en un aula de clases, sin embargo con el paso del tiempo los estudiantes se auto-organizan en grupos por distintas causas que involucran la existencia de particularidades comunes (afinidad, amistad, preferencias, entre otros) Gráfico 1.

Una red auto-organizada debe descubrir rasgos comunes, regularidades, correlaciones o categorías en los datos de entrada, e incorporarlos a su estructura interna de conexiones. Se dice, por tanto, que las neuronas deben auto-organizarse en función de los estímulos (datos) procedentes del exterior.

¹² Para el caso boliviano Cáceres y Aldazosa (2013) emplean esta técnica para analizar la red transaccional del sistema de pagos de alto valor y efectuar simulaciones para establecer el alcance de eventuales contagios financieros que surgieron a raíz de distintas coyunturas.

Gráfico 1: PROCESO DE AUTO-ORGANIZACIÓN



Fuente: Elaboración propia

Los SOM son un tipo de RNA entrenada a través de un esquema no supervisado¹³; están inspirados en la capacidad del cerebro humano de reconocer y extraer rasgos y características relevantes del mundo que los rodea. A través de los SOM se puede simplificar el resultado de un espacio multidimensional (entrada) a un espacio de salida de menor dimensión. Una característica fundamental de los SOM radica en el uso de una función de vecindad para preservar las propiedades topológicas del espacio de entrada; es decir, en la estructura del mapa es posible observar la correlación de los grupos en función a la cercanía de los mismos.

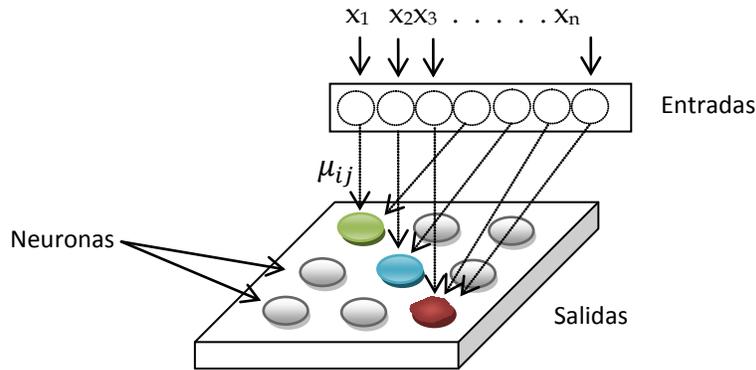
La arquitectura de la RNA es de tipo monocapa constituida por dos niveles de neuronas: la capa de entrada cumple la función de canalizar información, la cual se constituye en la señal de entrada de la red $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$. Cada neurona de la capa de entrada está ligada a las neuronas de la capa de salida a través de pesos sinápticos μ_{ij} .¹⁴ La capa de

¹³ A diferencia de las RNA supervisadas, las RNA no supervisadas no requieren de patrones de entrada (*inputs*) asociados con resultados (*outputs*) deseados. Si bien se incluyen los *inputs*, los *outputs* son determinados por la RNA a través del reconocimiento de regularidades en el conjunto de patrones.

¹⁴ El conjunto de pesos de las conexiones se pueden definir mediante la siguiente matriz: $\mu = \begin{pmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \dots & \mu_{1j} \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ \mu_{i1} & \mu_{i2} & \dots & \mu_{ij} \end{pmatrix}$

salida tiene el propósito de procesar la información y realizar una proyección n -dimensional de los resultados. El resultado final es un SOM que muestra un conjunto de sectores que agrupa los datos con características comunes (Figura 1).

Figura 1: ARQUITECTURA DE MAPA AUTO-ORGANIZADO



Fuente: Caicedo y Lopez (2009)

Las neuronas de salida también presentan conexiones laterales implícitas entre sí, cuya influencia se traduce en excitaciones e inhibiciones. Este efecto se consigue a través de un proceso competitivo entre las neuronas y la aplicación de una función de vecindad. La cercanía es un factor importante, pues hace referencia a una correlación en los resultados.

En este sentido, el objetivo de entrenar a la RNA será para que las salidas cercanas correspondan a entradas cercanas.

El aprendizaje de la RNA está regido por la ecuación que define la variación de μ_i :

$$\Delta\mu_i = \alpha(t)h_{ij}(t)(X - W_i) \quad (1)$$

donde:

X : Vector de entrada

$\Delta\mu_i$: Variación del vector de pesos para la neurona i -ésima

α : Razón de aprendizaje

h_{ij} : Función de vecindad

μ_i : Vector de pesos de la neurona i -ésima

t : Índice de iteración

El cálculo de $\alpha(t)$ esta dado por la siguiente ecuación:

$$\alpha(t) = \alpha_o \left(\frac{\alpha_f}{\alpha_o} \right)^{\frac{t}{t_{max}}} \quad (2)$$

donde α_o y α_f corresponden a las razones de aprendizaje inicial y final; t_{max} es el número máximo de iteraciones¹⁵. Por su parte, la función vecindad está definida de la siguiente manera:

$$h_{ij}(t) = e^{\left[\frac{-d(i,j)^2}{2\sigma(t)^2} \right]} \quad (3)$$

donde d es la distancia euclidiana entre la neurona ganadora j y la neurona i a la cual se le modifican los pesos; el rango o magnitud de vecindad está dado por el parámetro $\sigma(t)$ ¹⁶. Su característica hace que los pesos de las neuronas más alejadas de la unidad ganadora únicamente varíen en una menor proporción que la más cercana.

El entrenamiento de la RNA es efectuado a través de un algoritmo de aprendizaje (Apéndice), que se inicializa con la definición de la arquitectura de la red: N neuronas en la capa de entrada y un mapa de $M \times M$ neuronas en la capa de salida, y la selección aleatoria de algunos patrones de entrada pertenecientes a un vector de entrada X .

Las neuronas de la segunda capa compiten entre sí para decidir cuál de ellas es la más cercana al patrón seleccionado. La neurona ganadora será aquella que tenga una menor distancia con relación al patrón seleccionado $\min \|X_i - \mu_j\|$ ¹⁷. Mediante este paso se busca hallar el vector de referencia más parecido al vector de entrada.

La activación de la neurona j -ésima a_j será posible solo si:

$$a_j = \begin{cases} 1 & \min \|X_i - \mu_j\| \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (4)$$

¹⁵ A través de esta identidad se procura que $\alpha(t)$ siga una trayectoria exponencial decreciente; al inicio registrará fuertes variaciones en los pesos, y a medida que evolucione el algoritmo, el tamaño de los cambios se atenuará para garantizar que las neuronas se distribuyan entre los datos más representativos de la base de entrenamiento. Finalmente, cuando las neuronas ya hayan aprendido la distribución de los datos, las modificaciones de los pesos son pequeños solo para efectuar ajustes mínimos de los pesos.

¹⁶ A su vez $\sigma(t)$ representa la magnitud o ratio de vecindad: $\sigma(t) = \sigma \left(\frac{\sigma_f}{\sigma_o} \right)^{\frac{t}{t_{max}}}$ donde σ_o y σ_f son las magnitudes inicial y final, respectivamente.

¹⁷ Para este propósito debe adoptarse una medida de similitud entre las entradas y los pesos de las conexiones. En este caso se asumió la distancia euclidiana: $d_{ij} = \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu_{ij})^2}$.

Por tanto, lo que hace esta RNA es realizar una tarea de clasificación preliminar, ya que la neurona de salida activada ante una entrada, representa la clase a la que pertenece dicha información de entrada.

Los pesos de la neurona i -ésima, μ_i , que resultó ganadora, se actualizarán a través de la ecuación (1) con el propósito de que se asemeje al vector de entrada, y con ello lograr una clasificación óptima. En este sentido, ante un nuevo vector de entrada parecido al anterior, se activa la misma neurona u otra cercana debido a la semejanza entre las clases. Este procedimiento garantiza que las neuronas topológicamente próximas sean más sensibles a entradas físicamente similares (Loza et al., 2009).

Por su parte, la zona de vecindad J^* está definida por la función de vecindad (ecuación 3). Generalmente J^* decrece a medida que avanza el aprendizaje, y a su vez depende del rango o magnitud de vecindad $\sigma(t)$.

$$\sigma(t) = \sigma \left(\frac{\sigma_f}{\sigma_o} \right)^{\frac{t}{t_{max}}} \quad (5)$$

La neurona j -ésima pertenece a J^* de la neurona ganadora (i -ésima) solamente si su distancia es igual o inferior a $\sigma(t)$.

Cuando se inicia el entrenamiento de la red $\sigma(t)$ se asume un valor grande, el cual va disminuyendo a medida que la red va aprendiendo. Esto garantiza la estabilidad en la convergencia del algoritmo de aprendizaje.

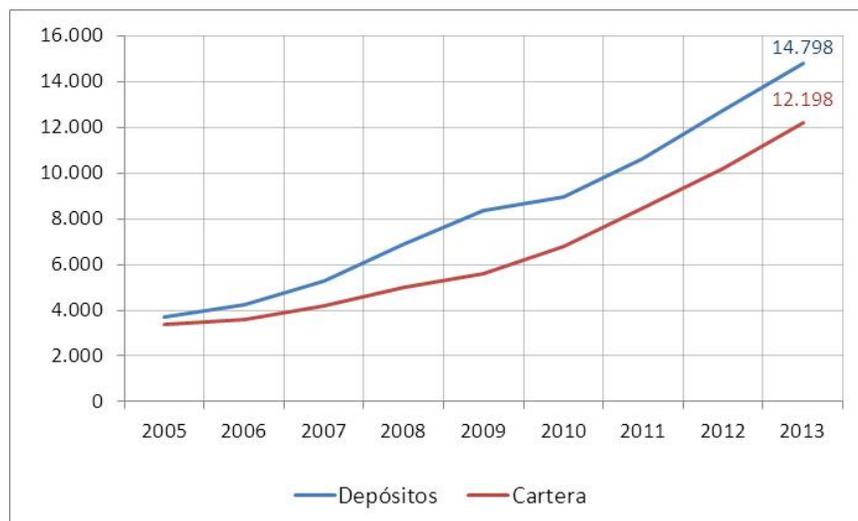
V. Identificación de instituciones financieras sistémicamente importantes - caso boliviano¹⁸

V.1. Elementos de contexto

En los últimos años, el sistema financiero boliviano registró una expansión de la actividad de intermediación financiera, lo cual se tradujo en un incremento importante de la cartera de créditos y el saldo en cuentas de ahorro. El crecimiento promedio de los depósitos del público durante el período 2005 a 2013 alcanzó a 17% y la cartera de créditos a 14% (Gráfico 2).

¹⁸ En esta sección se consideró información de 54 instituciones financieras: 10 bancos comerciales, 7 Entidades Especializadas en Microfinanzas (4 bancos y 3 bancos Pyme), 8 mutuales, 27 cooperativas de ahorro y crédito y 2 cámaras de compensación.

Gráfico 2: DEPÓSITOS DEL PÚBLICO Y CARTERA DE CRÉDITOS
(En millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia con datos de la Autoridad de Supervisión del Sistema Financiero (ASFI)

La expansión financiera también se reflejó en un mayor acceso de la población a los servicios de ahorro y crédito. A diciembre de 2013, cerca de 1,3 millones de personas eran clientes de crédito en el sistema financiero; las Entidades Especializadas en Microfinanzas (EEM) concentraron el 63% de este número, los bancos comerciales el 28%, las cooperativas el 7% y las mutuales únicamente el 2% (Gráfico 3).

Al cierre de 2013, alrededor de 7,1 millones de cuentas de ahorro estaban vigentes en el sistema financiero. Las EEM concentraron el 44%, seguido de los bancos con 39%, cooperativas 12% y mutuales (5%). En los últimos años las cooperativas y mutuales fueron perdiendo gradualmente su participación de mercado¹⁹ (Gráfico 4).

¹⁹ En 2005, en su período más alto, este tipo de instituciones llegaron a concentrar el 45% del número total de cuentas de ahorro (cooperativas 26% y mutuales 19%).

Gráfico 3: NÚMERO DE CLIENTES DE CRÉDITO Y PARTICIPACIÓN PORCENTUAL

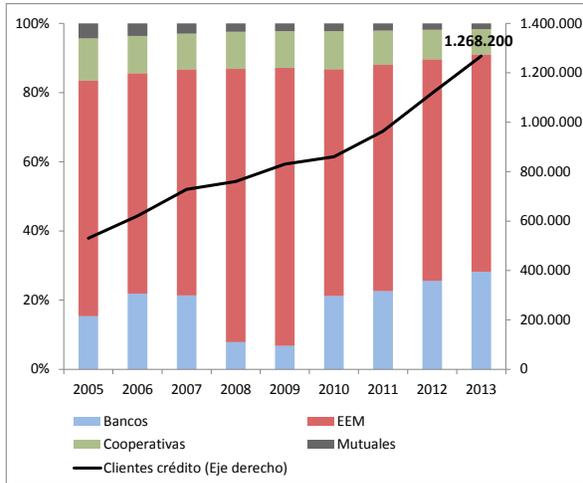
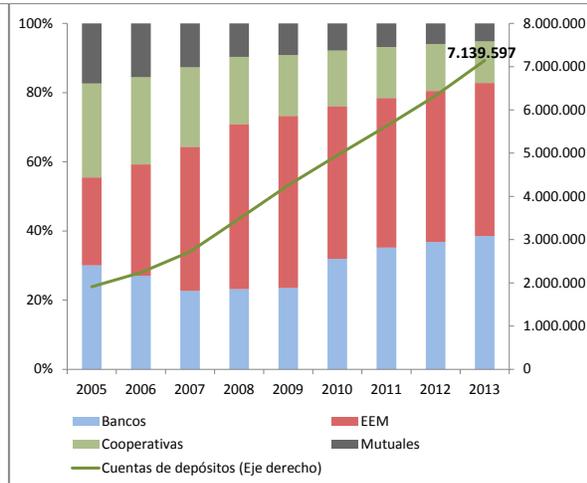


Gráfico 4: NÚMERO DE CUENTAS DE AHORRO Y PARTICIPACIÓN PORCENTUAL

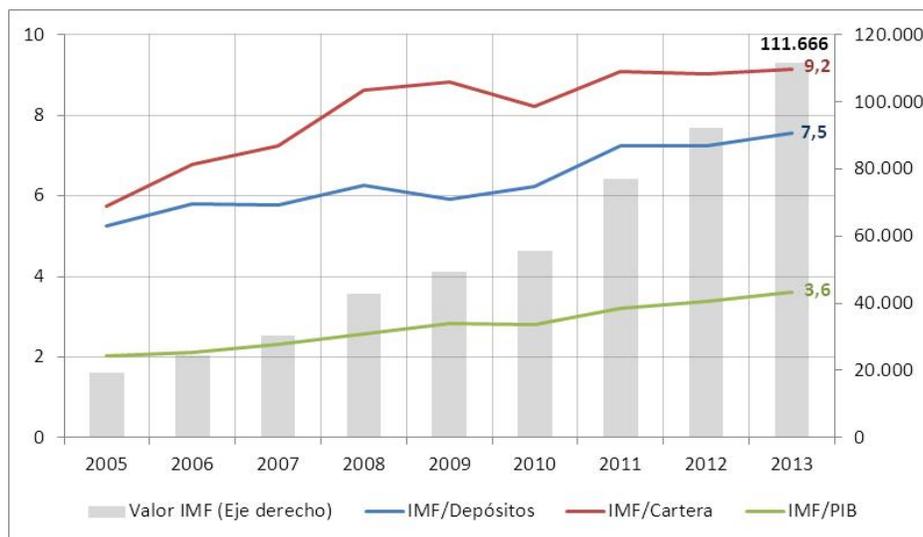


Fuente: Elaboración propia con datos de la ASFI

Las transacciones procesadas por las IMF también evolucionaron positivamente, debido a una mayor preferencia por el uso de instrumentos electrónicos de pago. En 2013, los sistemas de pago y de liquidación de valores de importancia sistémica²⁰, procesaron USD 111.666 millones. Esta magnitud representó 9,2 veces la cartera de créditos, 7,5 veces los depósitos del público y 3,6 veces el PIB (Gráfico 5).

²⁰ Se consideró las operaciones procesadas por el Sistema de Pagos de Alto Valor, la Entidad de Depósito de Valores, la Cámara de Compensación de Cheques y de Órdenes Electrónicas, de Transferencia de Fondos y el Sistema de Pagos del Tesoro.

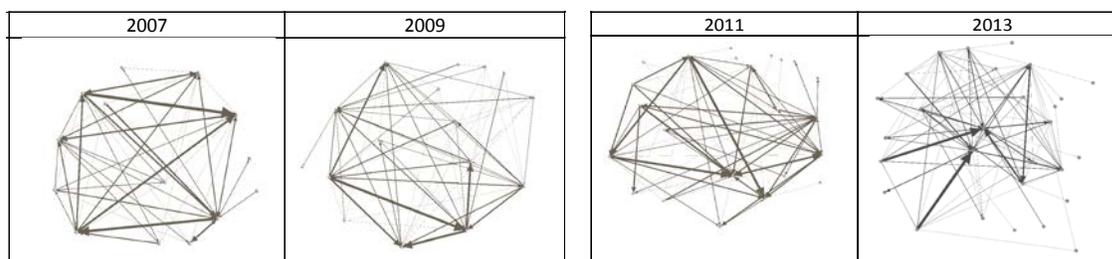
Gráfico 5: OPERACIONES PROCESADAS POR LAS IMF
(En millones de dólares y número de veces)



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Central de Bolivia (BCB) -ASFI

En Bolivia, gran parte de las entidades de intermediación financiera y Cámaras de Compensación (CC) utilizan el Sistema de Pagos de Alto Valor (SIPAV)²¹ para procesar sus transferencias de fondos. El SIPAV es un sistema administrado por el BCB, y es la principal IMF de Bolivia. A través de él se producen conexiones que conforman redes transaccionales. Estas redes evolucionaron hasta conformar estructuras cada vez más complejas (Gráfico 6).

Gráfico 6: REDES TRANSACCIONALES DEL SIPAV



Nota. Las redes fueron construidas con observaciones de un día cotidiano de operaciones para las gestiones 2007 a 2013

Fuente: Elaboración propia con datos del BCB

El número de enlaces por cada participante se incrementó notablemente entre 2004 a 2013 (de 2,55 a 4,75 en el grado medio y de 3,36 a 11,3 en el grado medio con pesos).

²¹ Desde septiembre de 2014, el sistema Liquidación Integrada de Pagos (LIP) se constituye en el SIPAV en Bolivia. Este sistema reemplazó al SIPAV que operó desde el año 2004.

No obstante el nivel de conectividad de la red -evaluado a través de la densidad de la red- ha permanecido en niveles bajos (0,18 sobre un máximo de 1 en 2013) Cuadro 3.

Cuadro 3: MÉTRICAS DE LA RED TRANSACCIONAL DEL SIPAV

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Grado medio	2,55	4,31	4,60	4,86	5,13	5,56	4,95	4,30	3,31	4,75
Grado medio c/ pesos	3,36	7,92	9,80	10,71	10,47	11,94	9,38	8,17	6,96	11,30
Diametro de la red	4,00	3,00	3,00	3,00	4,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00
Densidad de la red	0,26	0,36	0,33	0,37	0,37	0,37	0,25	0,20	0,13	0,18
Modularidad	0,26	0,10	0,12	0,12	0,09	0,10	0,12	0,15	0,19	0,13
Componentes conexos	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Coficiente medio de clustering	0,35	0,62	0,63	0,62	0,60	0,62	0,53	0,40	0,37	0,36
Longitud media de camino	2,12	1,68	1,74	1,64	1,70	1,72	1,81	1,92	2,12	1,93

Fuente: Elaboración propia con datos del BCB

Gran parte de la provisión de liquidez al sistema financiero se efectúa por el SIPAV a través de operaciones como créditos de liquidez interbancarios²², créditos de liquidez con el BCB²³, transferencias interbancarias y liquidación final de operaciones con instrumentos de pagos y títulos valores desmaterializados que son efectuados por la CC.²⁴

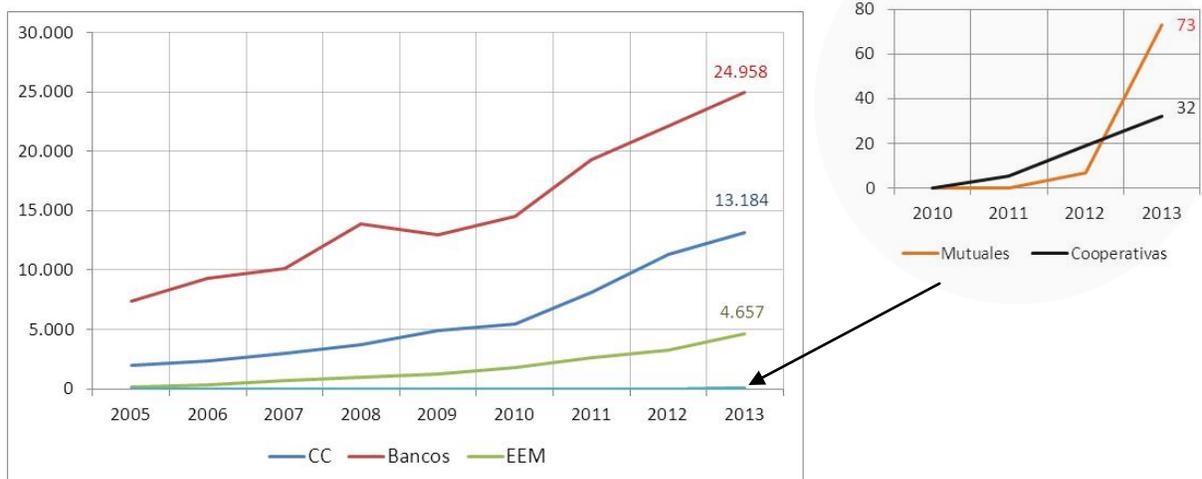
Las entidades bancarias fueron las principales proveedoras de liquidez (USD 24.958 millones) seguidas de las CC (USD 13.184 millones) y EEM (USD 4.654 millones). Contrariamente las cooperativas y las mutuales no cumplieron un papel preponderante en este ámbito, no obstante se observó un aumento de sus operaciones en los últimos años (Gráfico 7).

²² Son los préstamos de dinero que las entidades de intermediación financiera se otorgan entre sí, con un plazo máximo de 30 días para cubrir necesidades temporales de liquidez.

²³ El crédito intradiario cumple el objetivo de facilitar los pagos a través del SIPAV. El desembolso de este crédito es inmediato, automático y sin costo en el día corriente. Los créditos de liquidez con garantía del Fondo RAL (Requerimiento de Activos Líquidos) proveen liquidez de corto plazo; las instituciones financieras pueden hacer uso de este instrumento en dos tramos, a tasas de interés que son establecidas por el BCB.

²⁴ Las transferencias interbancarias y la liquidación final de operaciones son consideradas como operaciones de liquidez que posibilitan pagos futuros y el consiguiente cumplimiento de obligaciones contractuales.

Gráfico 7: PROVISIÓN DE LIQUIDEZ A TRAVÉS DEL SIPAV
(En millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia con datos del BCB

V.2. Identificación de agentes sistémicamente importantes

La identificación de SIFI es información particularmente relevante para las autoridades encargadas de la supervisión y regulación financiera, pues les permite enfocar el monitoreo, tratamiento y regulación de las entidades de manera diferenciada, de igual forma, para la prevención de las crisis o la manera en que deben ser afrontadas en caso de que estas se materialicen.

Para el caso boliviano, además de los criterios citados en la sección III (tamaño, conectividad y sustitución), se consideró pertinente incorporar un criterio adicional que tome en cuenta el número de clientes que acceden a servicios financieros, el cual, para fines de este estudio se denominó 'conurrencia', con el enfoque *too crowded to fail* (demasiado concurrido para caer)²⁵.

A través de la conjunción de estos enfoques se pretende capturar íntegramente la importancia sistémica de las instituciones financieras.

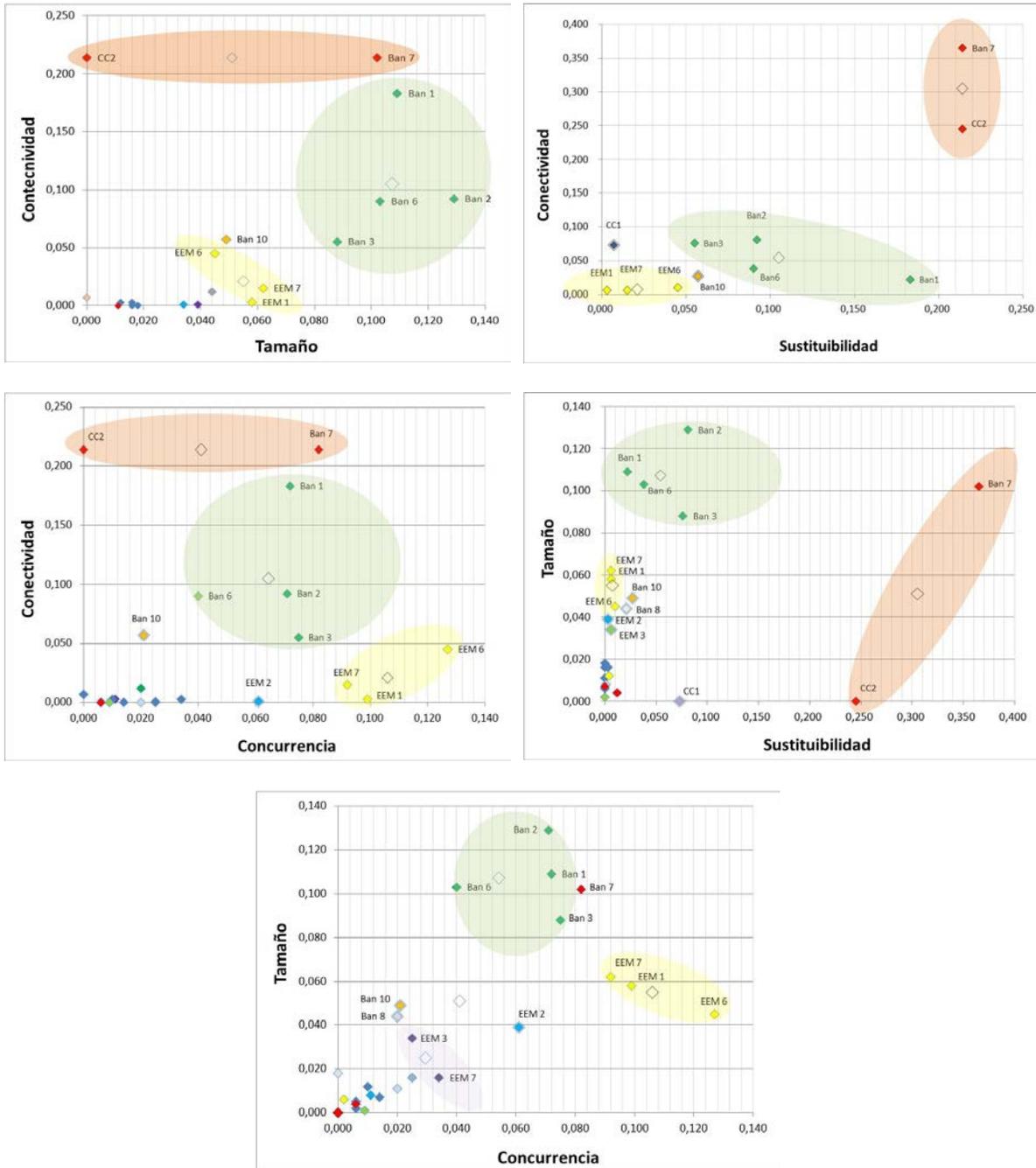
²⁵ La evidencia empírica ha demostrado que en ausencia de un marco regulatorio sólido y de una eficiente gestión de supervisión, el cierre de algunas instituciones financieras puede incidir negativamente sobre las expectativas de un gran número de clientes generando una desconfianza generalizada entre el público (entre ellos clientes de otras instituciones financieras) con una fuerte propensión a disipar información infundada en el mercado. Episodios como estos se presentaron en Bolivia en las décadas de los 80 y 90 con el cierre de los bancos Sur, Cochabamba, de la Vivienda, Potosí, Boliviano Americano, entre otros.

Para este propósito se seleccionaron las siguientes variables de acuerdo con los criterios citados: i) volumen de activos – tamaño, ii) *Betweenness centrality*- conectividad, iii) provisión de liquidez a través del SIPAV – sustitución, y iv) número de clientes por entidad financiera – concurrencia.

El modelo de RNA posibilitó la construcción de los siguientes SOM²⁶ que clasificaron a las instituciones financieras del sistema en función a su importancia sistémica de acuerdo con los criterios mencionados (Gráfico 8).

²⁶ La construcción de los SOM se realizó con ayuda de *Neural Network Toolbox* del software Matlab, versión R2014b y el software Tanagra desarrollado en la Universidad de Lyon.

Gráfico 8: MAPAS AUTO-ORGANIZADOS



Fuente: Elaboración propia con datos de ASFI, BCB y la Asociación de Cámaras de compensación y liquidación (ACCL)

En el Cuadro 4 se sintetiza los resultados del modelo. Coherente con sus particularidades, las instituciones financieras fueron clasificadas en 19 grupos. De igual forma, la cercanía entre grupos representados por medio de celdas segmentadas, permiten ver la estrecha correlación existente entre las SIFI.

Cuadro 4: MAPAS AUTO-ORGANIZADOS

		Coordenada Columna				
		1	2	3	4	5
Coordenada fila	1	0	4	3	1	1
	2	2	0	0	0	2
	3	0	1	0	1	1
	4	1	0	0	3	1
	5	1	0	2	0	2
	6	0	12	13	2	1

Nota. Para su diferenciación se presentan los grupos a través de coordenadas (fila y columna). Por ejemplo, el grupo (2,1) corresponde a la celda segmentada roja que agrupa a 2 entidades, y el grupo (1,2) a la celda naranja que agrupa a 4 entidades.

Fuente: Elaboración propia

La celda (2,1) agrupa a dos instituciones financieras, una cámara de compensación (CC2) y un banco comercial (Ban7). Ambas cumplen dos roles importantes en el mercado financiero. En primer lugar, están estrechamente interconectadas a través del SIPAV, posibilitando que la red transaccional se mantenga unida²⁷, y al mismo tiempo son los mayores proveedores de liquidez del mercado. En 2013 ambas entidades concentraron el 61% de la liquidez provista. Bajo los criterios de ‘conectividad’ y ‘sustitución’ ambas entidades se constituyen en SIFI.

Asimismo, se identificó un segundo grupo (celda 1,2) conformado por cuatro bancos comerciales (Ban1, Ban2, Ban3 y Ban6). Estas instituciones son representativas, puesto que concentran una importante proporción de activos (aproximadamente 43% de la cartera de créditos). Estos se constituyen en SIFI bajo el criterio de ‘tamaño’, no obstante, se observa que este grupo está fuertemente correlacionado con el primero, es decir, también juegan un papel importante dentro de la red transaccional aunque no tan relevante como los agentes del primer grupo. Este aspecto sugiere que también deben ser analizados para el criterio de ‘conectividad’.

²⁷ Al posibilitar la liquidación de fondos por operaciones con cheques y órdenes electrónicas de transferencia de fondos entre entidades financieras, CC2 se conecta diariamente con entidades financieras, en tanto que Ban7 concentró una importante proporción de transferencias interbancarias de fondos.

En la celda (1,3) se identificaron a tres EEM las cuales son preponderantes en cuanto al número de clientes, por tanto se constituirían en SIFI bajo el criterio de 'conurrencia'. También es posible observar que este grupo está correlacionado con el grupo anterior, celda 1,2) puesto que estas EEM también concentran un porcentaje importante (16%) de la cartera de créditos.

Finalmente en las celdas (6,2) y (6,3) se agruparon un número representativo de cooperativas y mutuales. La escasa correlación con los primeros grupos descritos sugiere que su importancia sistémica no es significativa para el mercado.

La identificación de SIFI en Bolivia a través de SOM arrojó elementos de análisis que se constituyen en información relevante para la ASFI y el BCB en su propósito de adoptar medidas para la gestión del riesgo sistémico. En este sentido, la integración de criterios de la aproximación micro y macroprudencial, así como la regulación diferenciada para SIFI se constituirían en aspectos a ser analizados para su posterior implementación.

Finalmente, la identificación de las SIFI bajo el criterio de 'conurrencia' debe servir para reforzar las directrices regulatorias vigentes puesto que la caída de algunas EEM además de tener efectos económico-financieros también podría tener implicaciones sociales.

VI. Consideraciones finales

Los mercados financieros han alcanzado un importante grado de complejidad, por ello los fundamentos de las crisis financieras han cambiado sustancialmente, al igual que las características de las SIFI. En este sentido, las interdependencias entre instituciones financieras, así como la continuidad de los servicios provistos por las IMF, son elementos que no pueden estar al margen de la gestión del riesgo sistémico.

La aproximación macroprudencial en relación a la microprudencial, ofrece una perspectiva más amplia para el análisis del riesgo sistémico y la identificación de SIFI. No obstante esta última no debe ser excluida, sino que por el contrario debe constituirse en un elemento complementario.

A través de las aproximaciones micro y macroprudencial, y la conjunción de los criterios de tamaño, conectividad, sustitución y conurrencia es posible conformar un marco analítico integral para identificar a SIFI.

Asimismo a través de la construcción de SOM con información a diciembre de 2013, se pudo obtener resultados coherentes con la identificación, clasificación y correlación de SIFI.

Entre los principales resultados se destacó que una CC y un banco comercial se constituyeron en SIFI bajo los criterios de 'conectividad' y 'sustitución'. Este aspecto demostró la relevancia que cobraron las IMF para el funcionamiento óptimo del sistema financiero. Consecuentemente estas instituciones no pueden ser ajenas a las tareas de análisis e implementación de políticas macroprudenciales orientadas a preservar la estabilidad financiera.

De igual forma los resultados permitieron observar que cuatro bancos comerciales son SIFI bajo el criterio de 'tamaño'. También se observó una estrecha correlación de este grupo con el primero, lo cual sugiere que también deben ser analizados con el criterio de 'conectividad'.

Bajo el criterio de 'conurrencia', tres EEM se constituyeron en SIFI. Esta información debe servir para reforzar las directrices regulatorias vigentes puesto que la caída de algunas EEM además de tener efectos económico-financieros también podrían tener implicaciones sociales.

La identificación de SIFI en Bolivia a través de SOM arrojó elementos de análisis relevantes. Estos a su vez se constituyen en insumos para las instituciones nacionales de regulación en su propósito de adoptar medidas para la gestión del riesgo sistémico. La integración de criterios de la aproximación micro y macroprudencial, así como la regulación diferenciada de SIFI para el caso boliviano, se constituirían en los primeros aspectos a ser analizados para su posterior implementación.

Finalmente se considera que los futuros trabajos de investigación deben abordar aspectos relacionados con la regulación específica de SIFI en Bolivia y la medición de los riesgos a los cuales están expuestos.

Referencias bibliográficas

BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS (2011). "Global systemically important banks: assessment methodology and the additional loss absorbency requirement", Basel Committee on Banking Supervision, November 2011

BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS (2012). "Models and tools for macroprudential analysis", Basel Committee on Banking Supervision, Working Paper No. 21, May

BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS, (2011). "Basel III: A global regulatory framework for more resilient banks and banking systems", Basel Committee on Banking Supervision, December 2010 (rev June 2011)

BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS, (2004). "*International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards. A Revised Framework*", Basel Committee on Banking Supervision, , June

BARRÓN, P. (2011). "El efecto del tamaño y la concentración del mercado bancario sobre el riesgo sistémico de la banca privada boliviana", Banco Central de Bolivia, *Revista de Análisis*, 15, pp. 97-143

BECH, M. and R. GARRATT (2006). "Illiquidity in the Interbank Payment System following Wide-Scale Disruptions", Federal Reserve Bank of New York, Staff Report No. 239, March

BECHER, Ch., S. MILLARD, K. SORAMÄKI (2008). "The network topology of CHAPS Sterling", Bank of England, Working Paper No. 355, November

BORIO, C. (2003). "Towards a macroprudential framework for financial supervision and regulation?", Bank for International Settlements, BIS Working Paper No. 128, February

CÁCERES, J. y R. ALDAZOSA, (2013). "Analizando el riesgo sistémico en Bolivia: una aplicación de modelos de topología de redes y simulación al funcionamiento del Sistema de Pagos de Alto Valor", Banco Central de Bolivia, *Revista de Análisis*, 17-18, pp. 9 - 44

CAICEDO, E. y J. LÓPEZ (2009). *Una aproximación práctica a las Redes Neuronales Artificiales*, Primera edición, Programa Editorial Universidad del Valle, Colombia

CEPEDA, F. (2008). "La topología de redes como herramienta de seguimiento en el Sistema de Pagos de Alto Valor en Colombia", Banco de la República de Colombia, Borradores de Economía No 513, mayo

CHOQUE, G., R. LOZA, R. MENDEZ (2010). *Redes neuronales artificiales: aplicaciones en MATLAB*, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias Puras y Naturales, La Paz, Bolivia

CHUMACERO, R. y P. LANGONI (2001). “Riesgo, tamaño y concentración en el sistema bancario chileno”, Banco Central de Chile, *Revista Economía Chilena*, 4 (1), pp. 25 - 34

COMMITTEE ON PAYMENT AND SETTLEMENT SYSTEMS (2001). *Core Principles for Systemically Important Payment Systems*, Bank for International Settlements, January

COMMITTEE ON PAYMENT AND SETTLEMENT SYSTEMS and TECHNICAL COMMITTEE OF THE INTERNATIONAL ORGANIZATION OF SECURITIES COMMISSIONS (2012). *Principles for financial market infrastructures*, Bank for International Settlements, April

CRAIG, B. and J. DOS SANTOS (1997). “The Risk Effects of Bank Acquisitions”, Federal Reserve Bank of Cleveland, *Economic Review* 33 (2), pp. 25-35

FINANCIAL STABILITY BOARD (2011). “Effective Resolution of Systemically Important Financial Institutions”. July

HUDSON, M., M. HAGAN, H. DEMUTH, (2014). *Neural Network Toolbox™ User's Guide MATLAB*, The MathWorks Inc., Massachusetts, United States

INAOKA, H., T. NINOMIYA, K. TANIGUCHI, T. SHIMIZU, H. TAKAYASU (2004). “Fractal Network derived from banking transaction – An analysis of network structures formed by financial institutions”, Bank of Japan, Working Paper Series No.04- E-04, April

INTERNATIONAL MONETARY FUND (2011). “Macroprudential Policy: An Organizing Framework”, March

INTERNATIONAL MONETARY FUND, BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS, FINANCIAL STABILITY BOARD (2009). “Report to G20 Finance Ministers and Governors. Guidance to Assess the Systemic Importance of Financial Institutions, Markets and Instruments: Initial Considerations”, October

JÁCOME, L. (2013). “Política macroprudencial: en qué consiste y cómo ponerla en práctica”, Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos, *Boletín* LIX (2), pp. 93 – 120

LEÓN, C. y C. MACHADO (2011). “Designing an expert knowledge-based Systemic Importance Index for financial institutions”, Banco de la República de Colombia, Borradores de Economía No 669, septiembre

MACHADO, C. L., C. LEÓN, M. SARMIENTO, F. CEPEDA, O. CHIPATECUA, J. CELY (2010). "Riesgo sistémico y estabilidad del sistema de pagos de alto valor en Colombia: análisis bajo topología de redes y simulación de pagos", Banco de la República de Colombia, Borradores de Economía No. 627, noviembre

MARTÍNEZ, M. y X. TORRES, "Hacia la madurez de la supervisión financiera: una aproximación a los retos de la política macroprudencial" en LUCENA, M. y R. REPULLO (Coordinadores) (2013) *Ensayos sobre economía y política económica. Homenaje a Julio Segura*, Antoni Bosch Editor, España, pp. 197-220

MORENO, R. (2011). "Policymaking from a "macroprudential" perspective in emerging market economies", Bank for International Settlements, Monetary and Economic Department, BIS Working Paper No. 336, January

SORAMÄKI, K. (2012). "Network topology, system mechanics and behavioral dynamics in interbank payment systems", dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology, Aalto University School of Science, February

SORAMÄKI, K., M. L. BECH, J. ARNOLD, R. J. GLASS, W. E. BEYELER (2006). "The Topology of Interbank Payment Flows", Federal Reserve Bank of New York, Staff Report No. 243, March

TECHNICAL COMMITTEE OF THE INTERNATIONAL ORGANIZATION OF SECURITIES COMMISSIONS (2011). "Mitigating Systemic Risk. A Role for Securities Regulators", Discussion Paper OR01/11, February

ZHOU, C. (2010). "Are Banks Too Big to Fail? Measuring Systemic Importance of Financial Institutions", International Journal of Central Banking, Special Issue: The Theory and Practice of Macroprudential Regulation, 6 (4), pp. 205-250

APÉNDICE

ALGORITMO DE APRENDIZAJE

1. En primer lugar se define la arquitectura de la red, N neuronas en la capa de entrada y un mapa de $M \times M$ neuronas en la capa de salida.
2. Se asigna a cada neurona un vector de pesos sinápticos, μ_i , el cual debe tener la misma dimensión R^n del espacio de entrada. Los valores iniciales de μ_i son asignados aleatoriamente.
3. Se selecciona un vector de entrada X aleatoriamente, tal que pertenezca al conjunto de patrones de entrenamiento.
4. Debe calcularse una medida de similitud entre las entradas y los pesos de las conexiones. A través de la distancia euclidiana $D_j = \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu_{ij})^2}$.
5. Se define las magnitudes de los parámetros de control $\sigma_o, \sigma_f, \alpha_o, \alpha_f$ y t_{max} .
6. Se modifican los pesos de la neurona i -ésima de acuerdo con:

$$\Delta\mu_i = \alpha(t)h_{ij}(t)(X - W_i)$$

donde:

$$\alpha(t) = \alpha_o \left(\frac{\alpha_f}{\alpha_o} \right)^{\frac{t}{t_{max}}}$$

$$h_{rs}(t) = e^{\left[\frac{-d(i,j)^2}{2\sigma(t)^2} \right]}$$

$$\sigma(t) = \sigma \left(\frac{\sigma_f}{\sigma_o} \right)^{\frac{t}{t_{max}}}$$

7. La unidad de salida con μ_i más parecidos a X es la ganadora. El vector de pesos de la unidad ganadora W_{i^*} se convierte en el centro de un grupo de vectores cercanos a él.
8. Se incrementa el parámetro t .
9. Si $t < t_{max}$ se retorna a la fase 3.