

CONGLOMERADOS FINANCIEROS Y REGULACIÓN SISTÉMICA EN EL
MERCADO BANCARIO COLOMBIANO

LUIS ALFREDO GENTIL DE LA ROSA

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y ECONOMICAS

DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

SANTIAGO DE CALI

2016

CONGLOMERADOS FINANCIEROS Y REGULACIÓN SISTÉMICA EN EL
MERCADO BANCARIO COLOMBIANO

Luis Alfredo Gentil de la Rosa

Código: 0838284

Trabajo de grado para optar al título de economista

Tutor:

Jorge Mario Uribe Gil

Universidad del Valle

Facultad de Ciencias Sociales y Económicas

Departamento de Economía

Santiago de Cali

2016

Contenido

Introducción.....	6
1. MARCO CONCEPTUAL	9
2. REVISIÓN DE LITERATURA	11
2.1. Motivación y antecedentes.....	11
2.2. Trabajos realizados en el área.	12
2.2.1. Internacionales	12
2.2.2. Nacionales.....	15
3. MODELO	19
4. DESCRIPCIÓN DE LAS SERIES	21
5. METODOLOGIA	23
5.1. Construcción de la pseudo-muestra.....	23
5.1.1. Estimación del modelo Auto.arima	23
5.1.2. Test de kolmogorov-smirnov	25
5.2. Estimación de la cópula	26
5.2.1. Beneficios de CDVine cópula	26
5.3. Simulación y estimación de los aportes marginales esperados	26
6. Resultados.....	27
7. Conclusiones	31
Bibliografía	33
Anexos	37

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 Expected shortfall (ES)	20
Ecuación 2 Marginal Expected Shortfall (MES)	20
Ecuación 3 Copula	20
Ecuación 4 Proceso no estacional ARIMA (p,d,q)	24
Ecuación 5 Proceso estacional ARIMA (p,d,q)(P,D,Q)m	24
Ecuación 6 Criterio de Akaike	24

Lista de tablas

Tabla 1 Test de Kolmogorov-smirnov de la pseudo-muestra	25
Tabla 2 Análisis descriptivo de las tasas de Riesgo de Mercado y Riesgo de Cartera	38
Tabla 3 Las mejores 28 par copulas	39

Lista de gráficas

Gráfica 1 MES de las tasas de riesgo.	28
Gráfica 2 MES de las tasas de riesgo	29
Gráfica 3 MES de los Bancos.....	30
Gráfica 4 MES de las tasas de riesgo por bancos conjuntos	37

CONGLOMERADOS FINANCIEROS Y REGULACIÓN SISTÉMICA EN EL MERCADO BANCARIO COLOMBIANO

Luis Alfredo Gentil de la Rosa

Resumen

Este documento presenta una metodología alternativa para estudiar el riesgo sistémico de la estructura del mercado financiero intermediado en Colombia. Método inspirado en el modelo *marginal expected shortfall* (MES) de Acharya, Pedersen, Philippon, & Richardson (2010). Se utiliza la metodología de *cópula-par*, como alternativa de copulas multivariadas. Con lo anterior en mente, se obtuvieron las tasas de riesgo de mercado y cartera de los cuatro bancos del Grupo Aval, en un periodo mensual desde enero del 2007 hasta julio del 2014. Se concluye que no existe evidencia para aceptar la hipótesis de que la sumatoria de los aportes marginales a riesgo sistémico sea diferente que el valor en riesgo sistémico conjunto, además se identificaron las influencias positivas de los bancos Bogotá y Occidente, las influencias negativas de los bancos Popular y Avvillas, por último se logra identificar la influencia positiva de la tasa de riesgo de mercado y la influencia positiva de la tasa de riesgo de cartera al valor de riesgo sistémico.

Palabras claves: Riesgo sistémico, conglomerado financiero, cópula, marginal expected shortfall.

Introducción

La crisis financiera 2007-2009 fue un evento determinante para la economía mundial, reveló muchos problemas e incentivó el análisis sobre la compleja taxonomía de riesgos enfrentados por las instituciones financieras. Este evento, dilucidó un problema estructural en cuanto a la relación interbancaria y las instituciones financieras en general y abrió el debate sobre las posibilidades de configuración de situaciones de riesgo sistemático. Lanzó así, un llamado de atención sobre las medidas regulatorias en el mercado financiero, que debían ser implementadas por la entidad pertinente en cada caso.

El riesgo sistémico, fue una de las situaciones que aumentó su importancia gracias a lo mencionado anteriormente; puede distinguirse como, un riesgo de gran magnitud que afecta no sólo el funcionamiento del sistema financiero, también tiene un fuerte efecto negativo sobre el crecimiento económico European Central Bank, (2010); para fines ilustrativos se puede definir como:

...el riesgo que consiste en la posibilidad de que un efecto negativo en una entidad vinculada a un grupo pueda tener también efectos adversos en otras instituciones vinculadas al mismo grupo o en otras entidades del mismo mercado o de mercados afines. (Zuleta, 1997 pág. 12).

Con esto en mente, en Colombia la entidad encargada del análisis de riesgo es la Superintendencia Financiera de Colombia (SFC), pero el encargado de proveer liquidez ante una eventual materialización del riesgo sistémico es el Banco de la Republica de Colombia; estas dos entidades forman parte de la Red de Seguridad

del Sistema Financiero Colombiano¹. La Red se establece con el fin de facilitar la coordinación entre las entidades responsables del buen funcionamiento del sistema financiero, buscando reducir la probabilidad de quiebra de las entidades financieras y en caso de que esto ocurra evitar el contagio a las demás.

Con base en lo mencionado, la principal motivación de este trabajo de grado es examinar si la regulación actual en materia de agregación de riesgo no subestima el cálculo del mismo, dada la estructura de conglomerados financieros (CF) del país; esta inquietud aunque no fue desarrollada propiamente por Acharya, Pedersen, Philippon, & Richardson, (2010), sí estuvo sujeta a un aporte sustancial, en cuanto a la medición de la exposición ante una crisis sistémica, por medio del modelo *marginal expected shortfall* (MES). Con éste, los autores, pudieron predecir la crisis financiera del 2007-2008 ex post.

Se persigue entonces llamar la atención sobre la posibilidad de que se esté incurriendo en una incorrecta medición del riesgo sistémico, por parte de los agentes regulatorios del mercado financiero colombiano, por lo cual, surge la necesidad de analizar la posible eventualidad de riesgo sistémico en conglomerados financieros en Colombia, centrándose en el Grupo Aval. Para este fin, se utilizarán las series mensuales de riesgo de cartera y riesgo de mercado desde enero del 2007 hasta julio del 2014, de los bancos del grupo Aval. Utilizando el modelo *marginal expected shortfall* (MES) con la metodología de cópulas, se medirá el aporte marginal al déficit esperado de cada banco en la estructura

¹ El resto de entidades que conforman la Red de Seguridad del Sistema Financiero son el Ministerio de Hacienda y Crédito Público y FOGAFIN (Fondo de Garantías de Instituciones Financieras).

financiera del Grupo Aval, además bajo esta metodología es posible medir el aporte a riesgo sistémico del (CF) como un todo.

El problema central de este documento es proponer una alternativa para la identificación de riesgo sistémico por parte de los (CF) colombianos. Es decir, llamar la atención sobre el hecho de que el riesgo sistémico de un conglomerado puede ser diferente que la suma individual de riesgo sistémico de sus entidades, tomando como muestra los bancos del conglomerado del Grupo Aval. Así, el objetivo es identificar los aportes marginales de los factores de riesgo de los bancos del Grupo Aval e identificar las tasas riesgo y bancos, denotando la influencia de la propagación de riesgo sistémico.

Bajo esta explicación, la hipótesis de este trabajo de grado es; la medición de los valores expuesto a riesgo sistémico (CF), en otras palabras, el requerimiento de capital en su todo es distinto que la sumatoria marginal de requerimientos de cada entidad que pertenezca al conglomerado.

La contrastación de esta hipótesis incentivará la implementación de medidas macroprudenciales, como las propuestas por Alexander, (2010). En particular se sugiere aquella que se centra en la identificación de las instituciones que presentan aportes potenciales significativos para la inestabilidad financiera, apoyándose en la medición estadística de los aportes marginales de cada institución. La anterior brinda una guía para las normas de control intensivas, que reducen la probabilidad del evento. Acharya, (2009); Hoque, Andriosopoulos, Andriosopoulos, & Douady, (2015) .

1. MARCO CONCEPTUAL

Hasta el momento no existe una sola definición del riesgo sistémico debido a que existen tantas definiciones como forma de medirlo. Freixas, Parigi, & Rochet, (2000) lo definen como una falla de coordinación en la red de contratos financieros, lo cual puede asociarse a un efecto cascada Lorenz & Battiston, (2008). Además, se define como, el conjunto de situaciones que conllevan a la pérdida de la estabilidad y la seguridad en el sistema financiero Billio, Getmansky, Lo, & Pelizzon, (2011); Walter, (2012). Un aporte significativo de los documentos mencionados anteriormente, es que subrayan el grado de conectividad de los participantes del mercado, principalmente las instituciones financieras o holdings, el cual, es un aspecto relevante del riesgo sistémico. El grado de conectividad de las instituciones se torna primordial en estudios de contagio financiero que tiene en cuenta factores como la geografía Allen & Gale, (1999); Tabak, Takami, Rocha, Cajueiro, & Souza, (2014). Los conglomerados financieros (CF), por otra parte, pueden definirse como un grupo de empresas financieras bajo un control común y para propósitos de supervisión en Colombia se define como *“el conjunto de entidades vigiladas por la SFC y sus filiales y subsidiarias en el exterior que ejerzan la actividad financiera, bursátil o aseguradora, entre quienes existen vínculos de propiedad por tener un mismo beneficiario real controlante”* (Banco de la Republica de Colombia, 2013 pág. 9).

De igual manera, es necesario definir las medidas macroprudenciales que consideran los problemas que surgen en el mercado y en toda la estructura. Se diferencian así de las medidas particulares enfocadas en una sola entidad o firma,

dejando de lado la estructura, ellas se denominan medidas microprudenciales. Bajo esta idea, la base informacional del riesgo sistémico es fundamental en el horizonte de toma de decisiones (*ex ante*, durante y después). Una medida de riesgo sistémico *ex ante* de simulación contrafactual y prueba de estrés, es el *marginal expected shortfall* (MES). Esta fue desarrollada por Acharya et al., (2010), y es definida como el aporte marginal a déficit esperado, esto es, la pérdida esperada de rentabilidad media del patrimonio de una firma dentro de un grupo o por el grupo mismo; puede ser medida por la estimación del riesgo en que incurre una firma i dentro de un grupo o la suma ponderada de los riesgos de las firmas pertenecientes a un grupo.

Una forma de calcular la pérdida marginal esperada derivada de una entidad, al interior de un conglomerado económico, o del conglomerado mismo, dentro de una red más amplia, son las cópulas. Una cópula es una función de distribución multivariada, con la cual se puede modelar d factores de riesgo a través de una función que satisface alguna propiedad particular, lo cual la hace idónea para cumplir ese objetivo Mcneil, Frey, & Embrechts, (2005). La cópula nos ayuda a medir los niveles de dependencia de las variables, esta es una útil herramienta que no presenta los problemas del coeficiente de correlación de Pearson, que es la medida de dependencia más usada en el mundo de las finanzas; las diferencias y ventajas que posee la copula sobre el coeficiente de correlación son expuestos en el capítulo 3.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Motivación y antecedentes

La crisis financiera mundial del 2007- 2009, abrió un horizonte de investigación sobre la influencia sistémica de las grandes entidades financieras que se encontraban interconectadas por medio de participaciones accionarias reciprocas Saunders & Walter, (2011) . La situación en Colombia no deja de ser preocupante, debido a la consolidación de CF que constituyen un porcentaje considerable dentro del sistema financiero y aún más, en países emergente a lo que hace alusión Walter, (2012).

La reforma estructural vivida en Colombia desde la década de los 90, específicamente con la ley 45 de 1990 (Normas relativas a las instituciones financieras), incentivó la consolidación de CF, pasando de un “*sistema financiero especializado a un sistema bancario configurado por matrices bancarias con filiales separadas*”(Zuleta, 1997 pág. 5). Así fue como, en 1998 se conformó el conglomerado o red de servicios Aval -conocida como Grupo Aval-, constituida por Banco de Bogotá, Banco de Occidente, Banco Popular y Banco AV Villas, entre otras.

Luego de las reformas estructurales de 1990, los CF se han constituido en un importante agente de la economía del país. Para el año 2012 el 78% de las instituciones financieras formaban parte de un conglomerado; cabe resaltar el proceso de concentración bancaria y de instituciones financieras, que tuvo lugar desde el año 1998 hasta el 2012, el cual implicó una reducción de 53% del número

de las entidades financieras en el mismo periodo de análisis, Banco de la Republica de Colombia, (2013).

Conforme a lo anterior, la motivación surge bajo el pensamiento de “*too-connected-to- fail*” (demasiado conectados para quebrar). Este pensamiento se refiere a que ciertas entidades financieras, como los bancos del Grupo Aval en este caso, podrían estar demasiado interconectadas como para que el gobierno central se diera una licencia de permitir la quiebra de alguna de ellas. Lo anterior puede generar problemas de riesgo moral y debe ser estudiado en detalle para de la estructuración de un esquema regulatorio óptimo.

2.2. Trabajos realizados en el área.

2.2.1. Internacionales

Lelyveld & Schilder, (2002), sustentan su preocupación en términos de riesgo moral sobre la regulación de los CF; exponen razones para las políticas regulatorias sobre los bancos debido a las ventajas de fondos que poseen. Parte de la conclusión en esta investigación se relaciona con un pensamiento regulatorio, toda vez que conecta a los agentes del mercado, y siembra la duda sobre los alcances de un marco regulatorio para los CF que haga valer su responsabilidad en un evento de crisis; subraya igualmente que estas políticas regulatorias no deben afectar al público en general, es decir, ¿cómo se podría delimitar el alcance de una política? Éste documento aunque interesante, no revela ningún indicio sobre políticas impositivas para la prevención de riesgo sistémico, como se está sugiriendo en el estudio presente.

Por otra parte, Bikker & van Lelyveld, (2002), aportan a esta investigación dos cuestiones importantes: primero, la incipiente necesidad de regular a los CF y segundo el cuestionamiento que intento resolver ¿es la suma individual de requerimiento de capital igual a la cantidad requerida de capital por parte del conglomerado? Aunque ellos basan su argumento en una situación de contagio, la que me atrevería a definir como “riesgo de reputación”, la cual consiste en que la quiebra o las pérdidas financieras de una entidad perteneciente a un grupo o conglomerado generan un efecto de desconfianza de los agentes sobre las demás entidades pertenecientes al CF.; me parece valido creer que este argumento puede ser un aliciente para especular que la suma de requerimiento de manera individual es inferior al requerimiento de un CF.

Bikker & van Lelyveld, (2002) no investigan de manera estadística los aportes al riesgo por parte de las entidades pertenecientes al CF, si miden la correlación estadística si miden la correlación como un todo, con lo cual no es posible ver los aportes marginales de las instituciones y por tanto no es posible ver el dilema moralista de que la sumatoria de los aportes marginales sea diferente que el riesgo del conglomerado como un todo, en ello este estudio se queda escueto.

Posterior a los estudios descritos anteriormente, se desarrollaron teorías diferentes que van por otra rama de la economía como es el estudio de Dewatripont & Mitchell, (2005), estiman los conglomerados con riesgos perfectamente correlacionados desarrollarían un riesgo sistémico más fuerte que dos instituciones totalmente independientes. Esta idea es sustentada bajo tres enfoques basados en la teoría de juegos y diferentes conceptos de Equilibrio de Nash sobre la elección de dos proyectos bajo una tasa (i) de riesgo dado que uno es de alto riesgo y el otro es

“seguro”. El primer enfoque plantea que dos empresas independientes tienen la misma probabilidad de pérdida que dos proyectos independientes de un conglomerado; el segundo enfoque concluye que los conglomerados tienen un riesgo menor de quiebra debido a la posibilidad de diversificación que una entidad independiente; el último enfoque estima que las firmas independientes tomarán los proyectos más riesgosos para la maximización de sus beneficios. Este estudio solo aporta una alternativa diversa de como abarcar el análisis de riesgos, pero se queda corto en análisis estadístico y aún más en el tema en cuestión de mi análisis, sobre el aporte marginal de las instituciones pertenecientes a un CF.

El primer estudio que enfatiza explícitamente el tema en cuestión es el de Acharya, Pedersen, Philippon, & Richardson (2010), ellos proponen una medida de riesgo alternativa que se centra en el riesgo sistémico, nombrada *marginal expected shortfall* (MES), con la cual demuestran que para conjugar los incentivos, la entidad encargada de vigilar la estructura imponiendo un impuesto sobre cada banco que estará relacionado con la cantidad de pérdidas por incumplimiento previsto y claro la contribución esperada que hace cada banco al surgimiento de una crisis sistémica.

Además los autores, generan aportes para la generación de futuras reglamentaciones de políticas macroprudenciales, demostrando por medio del estudio de dos medidas como son el déficit de capital de las instituciones financieras en general que son estimadas por pruebas de tensión y el estudio de credit default swaps (CDS) de los periodos de julio del 2007 hasta finales del 2008, para las instituciones financieras de Estados Unidos, concluyendo que la medida MES

puede predecir los aportes de riesgo sistémico realizados por las instituciones financieras en la crisis del 2007-2009.

Pasando a Latinoamérica más específicamente en Chile Gonzales y Zambrano (2013), realizaron una investigación con el objetivo de identificar los principales conglomerados contribuyentes al riesgo sistémico, realizando análisis cuantitativos como cualitativos. Los análisis cuantitativos se centran en el estudio de los activos financieros, deuda financiera y Market cap de las entidades financieras expuestas a un eventual riesgo por pertenecer a un conglomerado; dentro de estos análisis se concluye que existe una diferencia relevante entre los conglomerados mixtos y financieros, mas no hace contribución alguna sobre la identificación de aportes marginales o colectivos de las entidades sobre la estructura pero incita a este estudio en el futuro. Ellos concluyen su investigación imponiendo una voz de alerta sobre las medidas regulatorias a los conglomerados financieros pues su rápida expansión e interconexión principalmente bancaria puede llevar a inconvenientes estructurales.

2.2.2. Nacionales.

En el ámbito nacional Becerra & Melo, (2008), realizan una descripción de las medidas de dependencia utilizadas en el mundo de las fianzas, mostrando las desventajas de las medidas utilizadas normalmente como el coeficiente de correlación de Pearson e incentivando la medición de riesgos financieros por medio del uso de la cópula. Para el cumplimiento de este objetivo utilizaron el índice general de la bolsa de valores (IGBC), la tasa de cambio (TRM) y un título genérico con vencimiento a 10 años (TES).

De esta manera, concluyen que los modelos de medición de riesgo que utilizan supuestos menos restrictivos sobre las funciones de distribución de las series cuantifican de manera más eficiente el riesgo del portafolio, por ende los modelos derivados de las cópulas son mejores para la estimación de riesgo debido a que brindan una estructura analítica más flexible. Este documento no desarrolla un avance sobre el surgimiento de riesgo sistémico por parte de los conglomerados, pero demuestra las virtudes métricas de la metodología de la cópula.

Por otra parte, el Reporte de Estabilidad Financiera del Banco de la Republica del 2009, revela la importancia de la estabilidad financiera sustentando que, los flujos financieros estimulan la asignación eficiente de recursos, debido a que, los problemas en las entidades financieras tienen impactos directos en los niveles de consumo y eso genera inconvenientes de estabilidad macroeconómica, sustentando así la relevancia del análisis de la estabilidad financiera promoviendo incentivos para su análisis y mantenimiento. Este documento estima que *“La concentración de los créditos constituye un riesgo importante para el sistema financiero, ya que choques inesperados sobre las empresas que tienen la mayor parte de la cartera se traducirían en grandes pérdidas para el sistema.”*(Banco de la Republica de Colombia, 2009, pág. 87).

El reporte exterioriza que el análisis por separado de las variables de riesgo no constituye un análisis de riesgo sistémico, aun cuando realiza un aporte tan crucial como el anterior, se centra en estudiar las implicaciones directas de riesgo sobre las entidades financieras y su estructura pero no hace énfasis en la regulación necesaria o prudente para un funcionamiento óptimo del sistema financiero, por ello, surgen preguntas como ¿Cuál es una regulación optima del riesgo de crédito

en Colombia?, pero primero se debe tener en cuenta ¿cuáles son las consideraciones necesarias para una regulación óptima?

En la línea de investigaciones de estabilidad financiera por parte del Banco de la Republica de Colombia, Rodríguez, Corredor-Waldrón, & Moreno (2012), realizaron una investigación del área de interés de este documento, centrándose en el objetivo de imposición de medidas de requerimiento de capital macropudencial pecuniarias y las relacionadas con los problemas de interconexión. Por medio de la metodología que los autores denominan como *cross-sectional dimensión*, con la cual, se puede modelar las consecuencias de solvencia debido a un evento exógeno adverso sobre la cartera comercial de las entidades, con lo cual, se puede determinar si las entidades se encuentran en la capacidad para el cumplimiento legal de capital.

En su conclusión los autores resaltan que de la muestra de bancos utilizados para su análisis la gran mayoría se encuentran subcapitalizados desde el análisis macropudencial y sugieren que las entidades deberían aumentar su capital en un rango de 1% a 9%; un gran aporte desde el punto de vista de mi investigación es que concluye que los banco de gran tamaño requieren un aumento de capital considerablemente mayor. Esta investigación no tiene en cuenta en la estructura, la presencia de CF y el requerimiento de capital en el conjunto que puede ser mayor que la sumatoria de sus partes o por el contrario menor.

En realidad en Colombia no existen investigaciones sobre el cálculo de déficit esperado, pero si existen llamativas investigaciones sobre la relevancia de las entidades sobre la estructura financiera. Es así es como, León & Machado (2011) y León & Murcia (2012), exponen metodologías similares para estimar la importancia sistémica basados en el “*tamaño, conectividad y sustituibilidad*”, llegando a entablar

relaciones coherentes en la estabilidad financiera y la importancia sistémica. Aunque de gran importancia para tener en consideración las instituciones en la estructura, estos estudios no aportan en cuestiones de medidas macroprudenciales, además de dejar por fuera las mediciones de riesgo de las entidades.

Un importante interrogante surgió después de la crisis mundial reciente, sobre cuál es la metodología correcta para estimar el aporte por parte de las instituciones al riesgo sistémico. El Comité de Supervisión Bancaria Basilea, (2012) postuló métodos de orden cuantitativo y resalto el análisis cualitativo de las instituciones apoyados en la diferencia estructural de cada entidad en el orden mundial. Basado en este documento Cely (2013), realiza una investigación para Colombia teniendo en cuenta indicadores tanto de índole cuantitativa como de forma cualitativa, dentro de las cuales se destacan el tamaño (activo y fuentes de alta exigibilidad) y la interconexión (posiciones activas en el mercado monetario).

Aunque la anterior metodología dista por ser interesante y llamativa, no realiza aportes métricos para la estimación de los requerimientos de capital para el sostenimiento o prevención de la crisis sistémica, lo que si permite es posicionar en una escala a las entidades con mayor relevancia por su importancia dentro de la estructura. Sin embargo el autor se reserva la identidad de las entidades (bancos, corporaciones financieras, compañías de financiamiento comercial, cooperativas financieras, sociedades fiduciarias, sociedades comisionistas de bolsa y sociedades administradoras de fondos de pensiones y cesantías), pero lo que se puede concluir es que los bancos presentan una mayor relevancia que el resto de entidades. El índice dentro del cual se destacan los bancos es en tamaño, seguramente por el

volumen de capital. Un índice que llama la atención es el de la interconectividad en donde unos bancos se destacan más que otros.

En materia de indicadores Cabrera, Hurtado, Morales, & Rojas (2014) realizan el *Composite Indicator of Systemic Stress* (CISS) para Colombia, con el cual pudieron identificar el periodo de Septiembre de 2008 a Septiembre de 2009 como el periodo con mayor tensión de riesgo sistémico. Adicionalmente, se identificaron otros potenciales episodios de tensión sistémica, como fueron los episodios de la crisis griega y el caso de interbolsa. Es decir, no es un índice que estima valores de riesgo sistémico, pues se centra en encontrar los periodos con mayor presencia de riesgo sistémico, lo cual puede ser de gran utilidad para estudiar el comportamiento de las variables de esta investigación.

3. MODELO

El modelo *marginal expected shortfall* (MES), fue desarrollado por Acharya et al. (2010), este modelo nace bajo la necesidad de estimar de manera óptima los requerimientos de capital necesarios para el sostenimiento del sistema. Para su estimación los autores tiene en cuenta el *expected shortfall* (ES) que se define como la pérdida esperada condicionada a un evento negativo, en otros términos, el retorno promedio en los días en que la cartera supera el límite de valor en riesgo (VaR) de un grupo económico determinado. Para la óptima regulación es necesario descomponer este indicador entre las diferentes empresas pertenecientes al grupo económico, para lo cual, se descompone los retornos R del grupo por la sumatoria de retornos r_i de esta manera obtenemos:

Ecuación 1 Expected shortfall (ES)

$$ES_{\alpha} = - \sum_i y_i E[r_i | R \leq q_{\alpha}]$$

Donde y_i , se define como el peso del grupo i en la cartera total y a q_{α} como $Var = -q_{\alpha}$, en el cual q_{α} es el α cuantil de los retornos del grupo R de esta manera podemos calcular el aporte marginal de cada institución perteneciente al grupo.

Ecuación 2 Marginal Expected Shortfall (MES)

$$\frac{\partial ES_{\alpha}}{\partial y_i} = -E[r_i | R \leq q_{\alpha}] \equiv MES_{\alpha}^i$$

Una manera de poder estimar este indicador es por la metodología de copulas, con la cual se pretende estimar la dependencia existente entre las variables de este estudio que serán descritas en el capítulo 4. De manera formal, una copula es una función de distribución multivariada, según:

Ecuación 3 Copula

$$C = [0,1]^N \rightarrow [0,1]$$

Donde N denota las series del análisis, en este caso particular $N = 1,2, \dots, 4$. por cada análisis de riesgo, además C denota la copula, esta ecuación expresa el mapeo desde el hipercubo unitario N dimensional al intervalo unitario, el cual cumple el teorema de Sklar, A. (1959) Uribe, (2014). El teorema establece que una función multivariante puede ser descrita por las marginales que la componen.

Entonces se puede explicar la copula como una generalización del coeficiente de correlación de Pearson, expresado como la función de dependencia llamada $C(X)$, que se expresa como la función de dependencia entre las variables a lo largo de todo el espectro y no solo en un espacio de este.

La cópula además, posee unas ventajas, no es una medida de dependencia escalar, a saber, no resume toda la relación de dependencia en un solo número como el coeficiente de Pearson, lo cual puede llevar a tomar decisiones no deseables en situaciones de estrés financiero, por ejemplo. Otra ventaja, es que aunque existan variables perfectamente dependientes esto no implicaría que el coeficiente de correlación sea igual a uno, esto es importante debido a que coeficientes no muy cercanos a uno impliquen un alto grado de asociación entre dos factores de riesgo. También la cópula tiene en cuenta todos los posibles casos de dependencia, en otras palabras, si existe dependencia perfectamente positiva o perfectamente negativa, que se definen “comonotónicas” y “contramonotónicas” en ese orden y para cada una existe una cópula específica. Por último, la cópula posee una estructura de dependencia independiente de las funciones de distribución marginales, esto significa que se puede estimar con múltiples especificaciones de funciones de distribución, sin dejar por fuera las que no tiene algunos de sus momentos definidos Mcneil et al., (2005).

4. DESCRIPCIÓN DE LAS SERIES

Comprendido lo anterior, es importante tener claro el concepto de las series a utilizar. El riesgo de cartera, mide la probabilidad de ocurrencia de pérdida a la que puede incurrir una entidad por el incumplimiento de pago de los deudores propios de cada entidad, los criterios de evaluación para la medición deben tener en cuenta unos lineamientos establecidos en el Sistema de Administración de Riesgo de Crédito que no son pocos y que tiene una coherencia razonable, dado que no solo deben medir la capacidad de pago de los deudores sino que deben además hacer

un seguimiento al parecer constante de los niveles de flujo de los deudores y proyectos SUPERINTENDENCIA BANCARIA DE COLOMBIA, (2002).

Por otra parte, el riesgo de mercado mide la posibilidad de entrar en pérdidas por la disminución de valor de los activos comerciales de la entidades, al igual que el riesgo de crédito cada entidad debe medir este índice siguiendo los lineamientos del Sistema de Administración de Riesgo de Mercado, los cuales se encuentran enmarcados en el capítulo XXI de Superintendencia Financiera de Colombia (SFC). Este capítulo divide la metodología de cálculo por entidades y actividades, teniendo en cuenta esto, la metodología del banco de este estudio es estándar, la cual tiene en cuenta cuatro módulos de análisis donde se destaca para objetivo de esta investigación el Riesgo de inversiones en carteras colectivas, debido a que esta encierra la exposición a pérdida por actividades comerciales sobre otras instituciones.

Para este estudio, como ya se mencionó, se utilizarán las series mensuales de riesgo de cartera y riesgo de mercado desde enero del 2007 hasta julio del 2014, de los bancos del Grupo Aval².

Para iniciar con el análisis de las series, es importante tener en cuenta en primera instancia que las series financieras suelen tener un comportamiento característico, por ende, es conveniente realizar un análisis descriptivo; en la Tabla 2 (Ver anexos) son expuestos los resultados del análisis descriptivo, en el cual, según el estadístico

² Las series utilizadas para esta medición fueron extraídas de la página de la Superintendencia Financiera de Colombia el 13 de octubre del 2014, de un documento público que contenía otra serie de indicadores financieros, los datos no fueron actualizados debido a que el documento fue extraído y no se volvió a publicar más actualizaciones del mismo ni similares por la superintendencia.

Jarque-Bera solo las series del riesgo de cartera del Banco de Occidente y el Banco Avvillas, como también la serie de riesgo de mercado del Banco Avvillas, no siguen una distribución normal con una probabilidad del 5%.

5. METODOLOGIA

Para la contrastación de la hipótesis, se utiliza el modelo *marginal expected shortfall* (MES) con la metodología de cópulas binarias, con el cual mediré el aporte marginal a déficit esperado de cada banco separando por riesgo en la estructura financiera del Grupo Aval. La metodología será descrita por pasos a continuación:

5.1. Construcción de la pseudo-muestra

En primera instancia, para la estimación por medio de copulas se debe realizar un filtro a los datos, para la construcción de una pseudo-muestra, debido a que la cópula se encuentra definida dentro del intervalo $[0,1]$ y los datos utilizados en este estudio se encuentran dentro de los números reales, por ende, puede ser cualquier valor, en este caso son valores porcentuales; entonces, se realiza un filtro por medio de un modelo auto regresivo integrado de medias móviles (ARIMA), utilizando el software de R y el paquete de Forecast con el código de Auto.arima se realiza la estimación automática de cada una de las series.

5.1.1. Estimación del modelo Auto.arima

El procedimiento automático del Auto.arima es explicado por Hyndman & Khandakar, (2008), consiste en la identificación del orden del modelo por medio de la prueba de raíz unitaria y el criterio de AIC. En primera instancia el autor tiene en cuenta procesos no estacionales y estacionales, descritos como:

Ecuación 4 Proceso no estacional ARIMA (p,d,q).

$$\phi(B)(1 - B^d)y_t = C + \theta(B)\varepsilon_t$$

Donde $\{\varepsilon_t\}$ es un proceso ruido blanco, B es el proceso Backshift, $\phi(z)$ y $\theta(z)$ son polinomios de orden p y q respectivamente. Si $C \neq 0$, entonces existe un polinomio de orden d implícitamente en la función de predicción.

Ecuación 5 Proceso estacional ARIMA (p,d,q)(P,D,Q)m

$$\Phi(B^m)\phi(B)(1 - B^m)^D(1 - B)^d y_t = c + \Theta(B^m)\theta(B)\varepsilon_t$$

Donde $\Phi(z)$ y $\Theta(z)$ son polinomios de orden P y Q respectivamente, cada uno no contiene raíz en el círculo unitario. Si $c \neq 0$, entonces existe un polinomio implícito de orden $d + D$ en la función pronóstico.

La principal función del Auto.arima es la elección del mejor modelo que se ajuste según los datos, para ello, es necesario tener un criterio de elección, en este caso es el criterio de Akaike AIC el cual es expuesto por Hyndman & Khandakar, (2008) como:

Ecuación 6 Criterio de Akaike

$$AIC = -2 \log(L) + 2(p + q + P + Q + k)$$

Donde $k = 1$ si $c \neq 0$ y $k = 0$ en otro caso, además L es la probabilidad máxima del modelo ajustado a los datos diferenciados, o en otras palabras el valor de máxima verosimilitud $(1 - B^m)^D(1 - B)^d y_t$.

La metodología que se aplica con el código Auto.arima, es la realización de 3 modelos posibles de cada serie, de los cuales, basado en el criterio mencionado

anteriormente, se escoge el que mejor se ajuste y de ese mejor modelo se realizan tres posibles modificaciones, es decir, se hacen otros tres modelos posibles del modelo base y de ellos se escoge el que tenga mejor AIC, en otras palabras el modelo que minimiza el AIC; este proceso se realiza hasta que no se encuentre un mejor modelo que él ya encontrado. La ventaja de este método son que se preocupa por los grados de libertad esto reduce los problemas de sobre ajuste de la muestra Manotas, Ulloa, & Uribe, (2015).

5.1.2. Test de Kolmogorov-Smirnov

Una vez seleccionados los modelos de las series, el siguiente paso es extraer los residuales para la construcción de una pseudo-muestra, como se mencionó anteriormente es necesario que la pseudo-muestra se encuentre en un rango de 0 a 1, lo cual se logra restringiendo los residuales de los modelos arima por medio del código seq; se requiere adicionalmente que esta pseudo-muestra se distribuya uniforme por lo cual se realiza la prueba de kolmogorov-smirnov para la comprobación de la distribución; como se puede observar en la siguiente Tabla 1 todas las series de la pseudo-muestra no rechazan la hipótesis nula que distribuyen uniforme.

Tabla 1 Test de Kolmogorov-smirnov de la pseudo-muestra

	Banco de Bogotá		Banco Popular		Banco de Occidente		Banco Avvillas	
Tasas	Ries. Mercado	Ries. Cartera	Ries. Mercado	Ries. Cartera	Ries. Mercado	Ries. Cartera	Ries. Mercado	Ries. Cartera
Statistic	0.1318681	0.1428571	0.0989011	0.1208791	0.07692308	0.06593407	0.06593407	0.1428571
P-valor	0.4073938	0.3110648	0.7650309	0.5193434	0.95057429	0.98897797	0.98897797	0.311064

Fuente: Datos obtenidos de la superintendencia financiera, cálculos propios.

5.2. Estimación de la cópula

Por consiguiente, una vez identificado la función distribución de la pseudo-muestra denominada $u_n \in [0,1]$ ($n = 1,2, \dots, 4.$), se realiza el cuarto paso, efectuar la cópula para estimar la dependencia que pega las funciones de distribución multivariadas, para ello se recomienda utilizar el paquete CDVine de R Brechmann & Schepsmeier, (2013); D. E. Allen, Ashraf, Mcaleer, & Powell, (2013), que no realiza específicamente copulas multivariadas por su complejidad. No obstante, lo que realiza es un conjunto de cópulas bivariadas con todas las posibles combinaciones de la muestra llamadas cópula-par, en este caso serían 28 copulas los resultados son expuestos en la Tabla 3 (ver anexos).

5.2.1. Beneficios de CDVine cópula

El CDVine se considera recomendado cuando se trabajan diferentes factores de riesgo, debido a que la aplicación de copulas multivariadas es de gran dificultad. El CDVine realiza un proceso llamado *pair-copula*, el cual consiste en expresar una copula multivariada en el producto de diferentes par-copulas, esto es, que el producto de las diferentes cópula-par, en este caso 28 copulas bivariadas, puede expresar bajo condiciones de regularidad apropiadas, la densidad conjunta de la pseudo-muestra, para mayor información dirigirse a Manotas et al., (2015) o Aas, Czado, Frigessi, & Bakken, (2009).

5.3. Simulación y estimación de los aportes marginales esperados

Una vez obtenidas las cópulas, se realiza la simulación de 1.000 escenarios de las series, con las cuales se obtiene el aporte marginal a riesgo sistémico. Para lo mencionado, se supone que la capitalización de mercado del Grupo Aval es de

\$100.000.000 de pesos colombianos³; ahora se multiplica esta capitalización con el promedio simple de la suma de las 8 tasas de riesgo en cada periodo simulado, o sea, se obtiene el valor promedio de riesgo en cada periodo, obteniendo así, el riesgo conjunto del Grupo Aval; prosiguiendo, se realiza la misma táctica extrayendo cada una de las tasas de riesgo, este proceso se efectúa para cada uno de los 4 tasas de riesgo de cada banco, obteniendo así el valor en riesgo conjunto del Grupo Aval, suponiendo que una de las tasas no es tomada en cuenta, por último, se le resta este valor al valor conjunto y se obtiene el valor marginal de la tasa de riesgo analizada.

Otro proceso similar al anterior es calcular el valor en riesgo marginal del banco este se obtiene de igual forma extrayendo del valor conjunto de cada uno de los bancos analizados, entendido que no se tendría en cuenta ninguna de las dos tasas de riesgo de cada banco.

6. Resultados

Los resultados expuestos en la Gráfica 1, muestran que es posible calcular el aporte marginal al riesgo sistémico por parte de cada tasa de riesgo, como se mencionó en la sección 3, con la metodología de cópula-par. Los aportes marginales al riesgo sistémico del conglomerado por parte del riesgo de cartera de todos los bancos, reducen significativamente su valor, lo que indica este resultado, es que al incluir las tasas de riesgo de cartera el valor en riesgo conjunto del conglomerado se ve reducido en ese valor, lo cual resalta su importancia en el análisis de riesgo

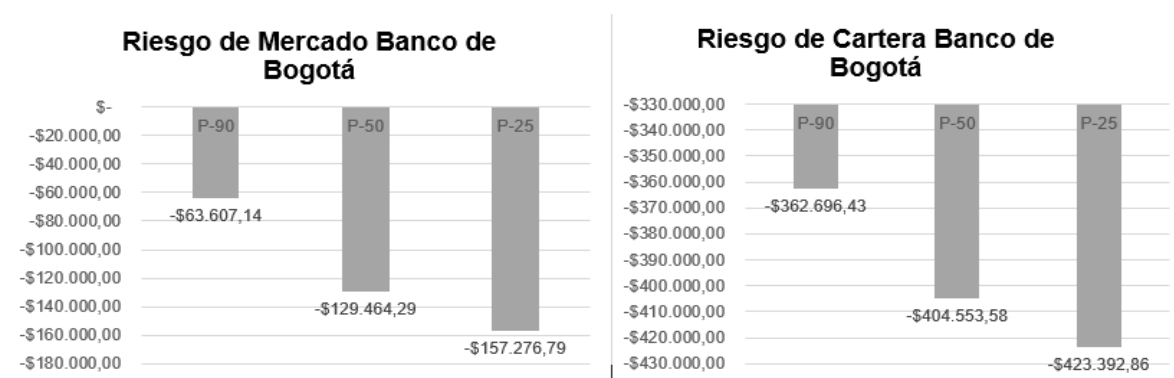
³ Este valor es supuesto por simplicidad, este valor es sustentado en el balances generales del 2015.

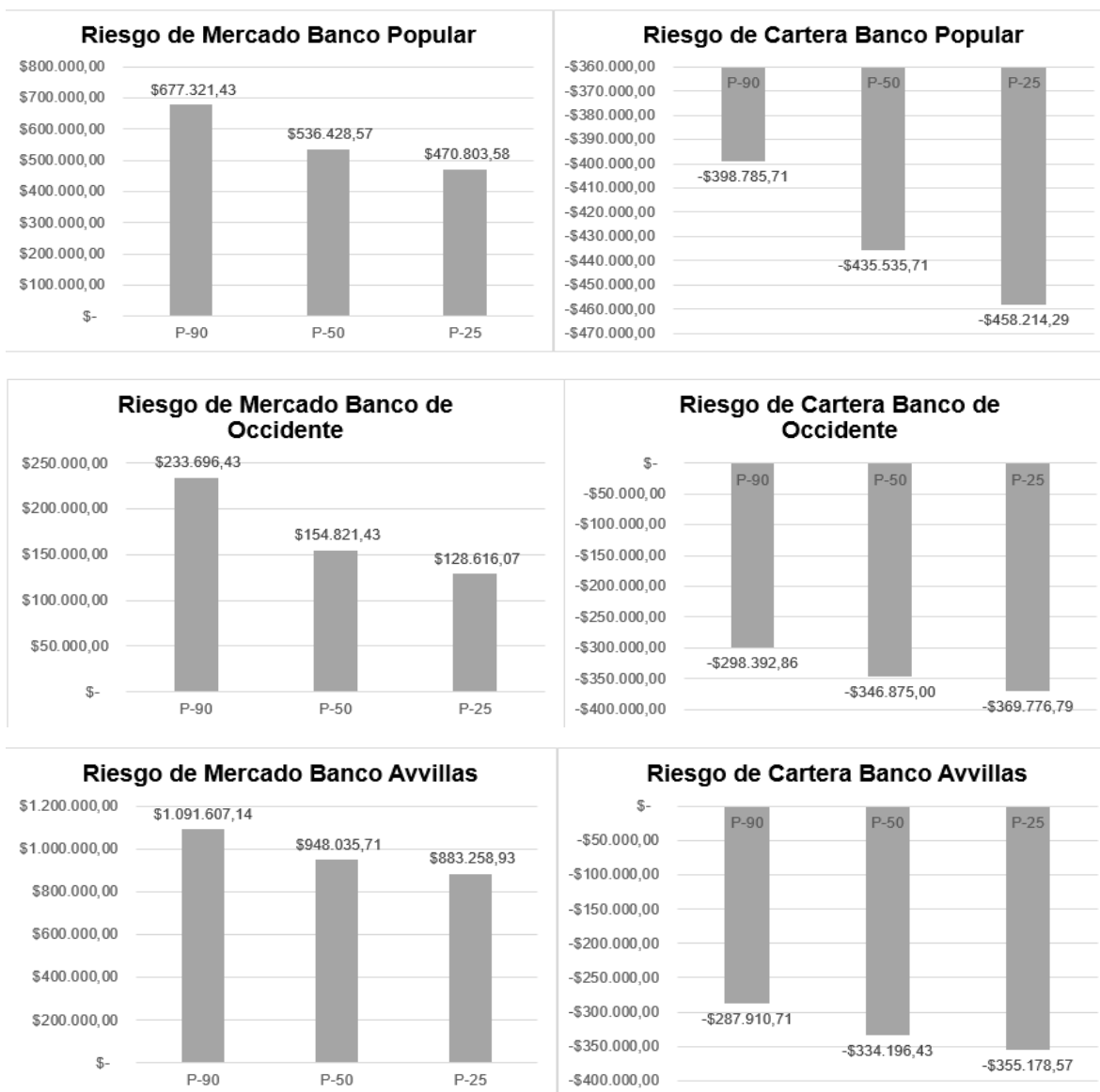
sistémico, debido a que, al no tenerlo en cuenta dentro del estudio del riesgo sistémico se puede sobreestimar su valor.

Por otra parte, el MES de la tasas de riesgo de mercado tienen valores positivos, solo excluyendo el riesgo de mercado del Banco de Bogotá, mostrando así, que esta tasa de riesgo suele aportar positivamente el valor al riesgo sistémico del conglomerado, esto puede atribuirse a que el riesgo de mercado suele ser de mayor variabilidad por su exposición a choques del mercado.

Comprendido lo anterior, es importante también mencionar cuál de los dos realiza un mayor aporte en volumen. Dentro de las tasas de riesgo de cartera el Banco de Occidente realiza el aporte más significativo seguido del Banco de Bogotá y por último y en casi un mismo volumen están los bancos Popular y Avvillas. En las tasas de riesgo de mercado el banco de mayor aporte es el Banco Avvillas seguida del Banco Popular y por último los bancos de Occidente y Bogotá, pero en direcciones diferentes como ya se mencionó; para ver la diferencia explícitamente ver la Gráfica 4 (ver anexos).

Gráfica 1 MES de las tasas de riesgo.

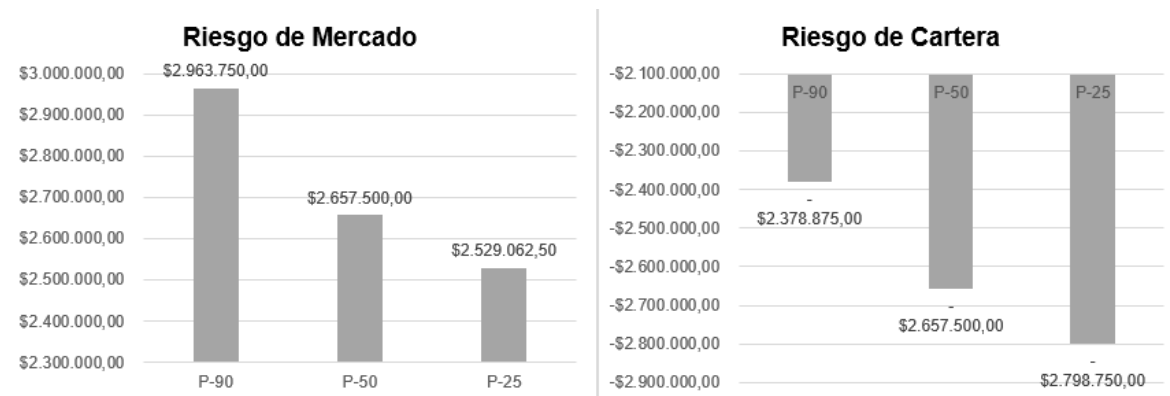




Fuente: Datos obtenidos de cálculos propios. Percentiles (90; 50 y 25) de las 1000 simulaciones.

Lo comentado anteriormente, es apoyado por el análisis de las tasas por separado que se expone en la Gráfica 2, como se puede ver, los valores son casi iguales pero difieren en la dirección de la contribución; para la tasa de mercado es positiva mientras para la tasa de crédito es negativa.

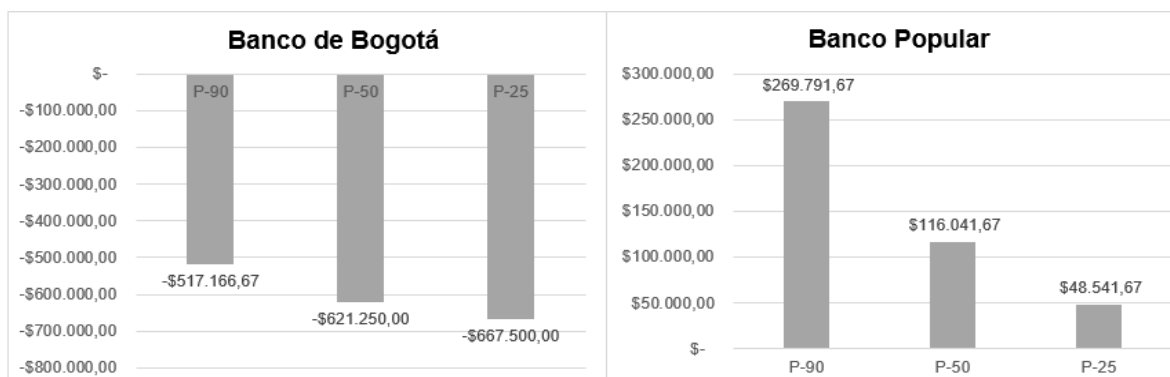
Gráfica 2 MES de las tasas de riesgo

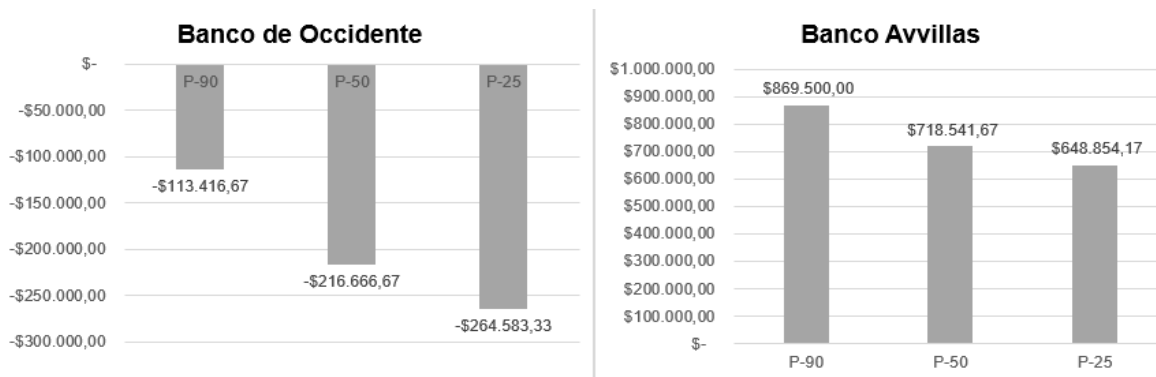


Fuente: Datos obtenidos de cálculos propios. Percentiles (90; 50 y 25) de las 1000 simulaciones.

Ahora bien, pasemos al análisis de las entidades bancarias pertenecientes al grupo de estudio, esto se obtuvo excluyendo las dos tasas de riesgo de cada banco y realizando el mismo procedimiento descrito anteriormente para las tasas de riesgo. Los resultados de la Gráfica 3, muestran que los bancos de Bogotá y Occidente contribuyen negativamente en cada percentil mostrado, siendo el primero el de mayor volumen; los bancos Popular y Avvillas aportan positivamente al riesgo sistémico del conglomerado en cada percentil, siendo el segundo el de mayor volumen.

Gráfica 3 MES de los Bancos





Fuente: Datos obtenidos de cálculos propios. Percentiles (90; 50 y 25) de las 1000 simulaciones.

7. Conclusiones

Este trabajo mostró que es posible calcular el riesgo sistémico del conglomerado financiero Grupo Aval con el modelo *Marginal Expected Shortfall* (MES) bajo la metodología de cópulas, con las series de tasa de riesgo de mercado y cartera de los bancos del conglomerado. Se encontró que los aportes marginales a déficit de las tasas de riesgo de los bancos tienen influencias positivas y negativas sobre el valor conjunto del riesgo sistémico, siendo la tasa de mercado la que lo aumenta y la tasa de riesgo de cartera la que lo disminuye.

Los valores de riesgo sistémico que incluyen la tasa de riesgo de cartera son menores, mientras los valores de riesgo sistémico que incluyen la tasa de riesgo de mercado suelen ser mayores. Las instituciones bancarias también tiene influencias diferentes; los bancos de Bogotá y Occidente suelen disminuir el valor de riesgo sistémico, mientras que los bancos Popular y Avvillas incrementan su valor, estos resultados son consistentes con lo mostrado por Acharya et al., (2010).

Por último, no se encontró evidencia suficiente para aceptar la hipótesis de que la sumatoria de los aportes marginales de las entidades y de las tasas de riesgo sea

diferente que el valor de riesgo sistémico como un todo. La prueba de esta afirmación se sustenta en que los aportes marginales son obtenidos por medio de un promedio ponderado del resultado de la simulación de la copula, por lo cual al sumar los aportes marginales se obtendrá el mismo valor conjunto.

Se sugiere, dados los resultados del estudio, que el conglomerado Grupo Aval debe realizar una intervención o prestar cuidado a los bancos Av Villas y Popular por su influencia de incrementar el valor de riesgo sistémico. Además debería contemplar la posibilidad de un llamado de atención a las instituciones que presenten tasa de riesgo de mercado que aumenten su aporte marginal a riesgo sistémico, en otros términos, la idea sería instaurar un pico de influencia, a partir del cual se hiciera una intervención por parte del ente encargado.

No se puntualiza sobre el valor explícito de los resultados debido a que es el resultado de una simulación, lo cual no reflejan concretamente la realidad, pero si inducen una posible expectativa del comportamiento. Por ende, no se sugiere que la entidad regulatoria tome como base los valores puntuales de este estudio para una medida impositiva, pero si, se debe tener especial interés en resultados concretamente llamativos, como los que se mencionaron.

Con respecto a la regulación macropudencial, se sugiere que el requerimiento de capital de cada banco perteneciente al conglomerado del Grupo Aval, no solo tenga en cuenta el riesgo asociado a su actividad sino que además se le sume el requerimiento de capital asociado a la inestabilidad sistémica expuesto en este estudio, como sugiere Rodríguez et al. (2012).

Bibliografía

- Aas, K., Czado, C., Frigessi, A., & Bakken, H. (2009). Pair-copula constructions of multiple dependence. *Insurance: Mathematics and Economics*, 44(2), 182–198. doi:10.1016/j.insmatheco.2007.02.001
- Acharya, V. V., Pedersen, L. H., Philippon, T., & Richardson, M. (2010). *Measuring Systemic Risk* (No. 10-02). New York.
- Acharya, V. V. (2009). A Theory of Systemic Risk and Design of Prudential Bank Regulation. *Journal of Financial Stability*. Retrieved from https://www.stern.nyu.edu/sites/default/files/assets/documents/con_039424.pdf
- Alexander, L. (2010). "Opening Remarks," Measuring Systemic Risk: A Conference Sponsored by the Milton Friedman Institute.
- Allen, D. E., Ashraf, M. A., McAleer, M., & Powell, R. J. (2013). Financial Dependence Analysis: Application of Vine Copulae.
- Allen, F., & Gale, D. (1999). Financial Contagion. *Journal of Political Economy*, 108(1), 1–33.
- Banco de la Republica de Colombia. (2009). *Reporte de Estabilidad Financiera*. Bogota.
- Banco de la Republica de Colombia. (2013). nota editorial El sistema financiero colombiano : estructura y evolución reciente. *Banco de La Republica de Colombia.*, 5–17.
- Basilea, C. de S. B. De. (2012). *Comité de Supervisión Bancaria de Basilea Marco aplicable a bancos de importancia sistémica local*.
- Becerra, O., & Melo, L. F. (2008). Medidas de riesgo financiero usando cópulas:

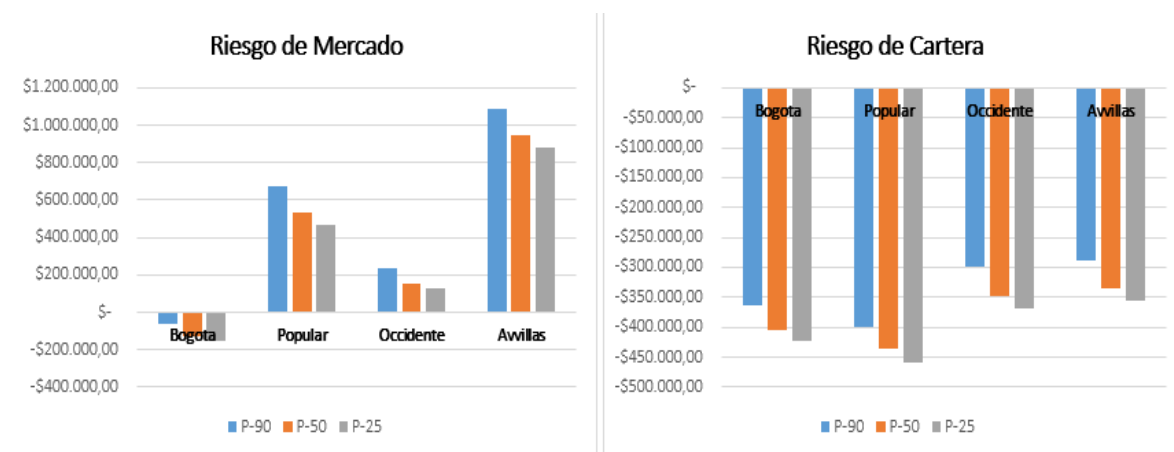
- teoría y aplicaciones Por: Oscar Becerra Luis F. Melo. *Borrador de Economía*, 489(4), 93. Retrieved from <http://www.banrep.gov.co/docum/ftp/borra489.pdf>
- Bikker, J. A., & van Lelyveld, I. P. P. (2002). Economic versus Regulatory Capital for Financial Conglomerates. *DNB Research Series Supervision*, 45.
- Billio, M., Getmansky, M., Lo, A. W., & Pelizzon, L. (2011). *Econometric Measures of Systemic Risk in the Finance and Insurance Sectors* * (Vol. 0920).
- Brechmann, E. C., & Schepsmeier, U. (2013). Modeling Dependence with C- and D-Vine Copulas: The R Packatge CDVine. *Journal of Statistical Software*, 52(3), 1–27.
- Cabrera, P. W., Hurtado, J., Morales, M., & Rojas, J. S. (2014). A Composite Indicator of Systemic Stress (CISS) for Colombia. *Borrador de Economía Banco de La Republica de Colombia.*, 826, 22. Retrieved from http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/be_826.pdf
- Cely, J. (2013, September). ENTIDADES DE IMPORTANCIA SISTÉMICA LOCAL (METODOLOGÍA BIS). *REPORTE DE ESTABILIDAD FINANCIERA*, 100–103. Retrieved from http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/ref_sep_2013.pdf
- Dewatripont, M., & Mitchell, J. (2005). Risk-taking in Financial Conglomerates, 2005(May), 1–33.
- European Central Bank. (2010). Financial networks and financial stability. *Financial Stability Review*, (June), 155–160.
- Freixas, X., Parigi, B. M., & Rochet, J.-C. (2000). Systemic Risk, Interbank Relations, and Liquidity Provision by the Central Bank. *Journal of Money, Credit and Banking*, 32(3), 611–638. doi:10.2307/2601198

- Hoque, H., Andriosopoulos, D., Andriosopoulos, K., & Douady, R. (2015). Bank regulation, risk and return: Evidence from the credit and sovereign debt crises. *Journal of Banking & Finance*, 50, 455–474.
doi:10.1016/j.jbankfin.2014.06.003
- Hyndman, R. J., & Khandakar, Y. (2008). Automatic time series forecasting : the forecast package for R Automatic time series forecasting : the forecast package for R. *Journal Of Statistical Software*, 27(3), 1–22.
doi:10.18637/jss.v027.i03
- Lelyveld, I. Van, & Schilder, A. (2002). Risk in Financial Conglomerates Management and Supervision.
- León, C., & Machado, C. (2011). *Designing an expert knowledge-based Systemic Importance Index for financial institutions* (No. 669). Bogota.
- León, C., & Murcia, A. (2012). Systemic Importance Index for financial institutions: A Principal Component Analysis approach. *Banco de La República*, 741, 29.
Retrieved from
http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/be_741.pdf
- Lorenz, J., & Battiston, S. (2008). Systemic risk in a network fragility model analyzed with probability density evolution of persistent random walks. *Networks and Heterogeneous Media*, 3(2), 185–200.
doi:10.3934/nhm.2008.3.185
- Manotas, D. F., Ulloa, I. M., & Uribe, J. M. (2015). MODELACIÓN DE RIESGO OPERACIONAL CAUSADO POR FACTORES DEMOGRÁFICOS. *Revista de Ingenierías*.
- Mcneil, A. J., Frey, R., & Embrechts, P. (2005). *Quantitative Risk Management:*

- Concepts Techniques and Tools* (Princeton .). New Jersey.
- Rodríguez, W. C., Corredor-Waldron, A., & Moreno, C. A. Q. (2012).
Requerimientos Macropрудenciales de capital y riesgo sistémico : (No. 74).
Bogota.
- Saunders, A., & Walter, I. (2011). Financial architecture, systemic risk, and
universal banking. *Financial Markets and Portfolio Management*, 26(1), 39–59.
doi:10.1007/s11408-011-0175-9
- SUPERINTENDENCIA BANCARIA DE COLOMBIA. (2002). *CAPITULO II
GESTIÓN DEL RIESGO DE CRÉDITO*. Bogota.
- Tabak, B. M., Takami, M., Rocha, J. M. C., Cajueiro, D. O., & Souza, S. R. S.
(2014). Directed clustering coefficient as a measure of systemic risk in
complex banking networks. *Physica A: Statistical Mechanics and Its
Applications*, 394, 211–216. doi:10.1016/j.physa.2013.09.010
- Uribe, J. M. (2014). Riesgo sistémico en el mercado de acciones colombiano :
alternativas de diversificación bajo eventos extremos, 613–634.
- Walter, I. (2012). Universal banking and financial architecture. *The Quarterly
Review of Economics and Finance*, 52(2), 114–122.
doi:10.1016/j.qref.2011.12.007
- Zuleta, L. A. (1997). *Regulación y supervisión de conglomerados financieros en
Colombia*. Chile.

Anexos

Gráfica 4 MES de las tasas de riesgo por bancos conjuntos



Fuente: Datos obtenidos de cálculos propios. Percentiles (90; 50 y 25) de las 1000 simulaciones.

Tabla 2 Análisis descriptivo de las tasas de Riesgo de Mercado y Riesgo de Cartera

	Banco de Bogotá		Banco de Occidente		Banco Popular		Banco Avvillas	
Tasas	Ries. Mercado	Ries. Cartera	Ries. Mercado	Ries. Cartera	Ries. Mercado	Ries. Cartera	Ries. Mercado	Ries. Cartera
Media	3,8904%	1,6505%	3,6789%	2,5470%	9,3413%	1,8179%	8,5036%	1,89650%
Mediana	3,7100%	1,6000%	3,5900%	2,4100%	9,1200%	1,7800%	9,1200%	1,8200%
Máximo	6,7100%	2,1200%	6,3600%	3,8600%	16,7700%	2,7500%	12,2103%	2,6100%
Mínimo	2,1200%	1,2600%	1,8100%	1,7500%	5,1100%	1,2000%	4,4600%	1,4500%
Des. Estándar	1,0347%	0,2264%	1,3057%	0,6371%	2,7470%	0,3904%	2,1064%	0,2836%
Sesgo	0,570738	0,361977	0,307552	0,633909	0,781794	0,519363	-0,441355	0,809330
Curtosis	3,210276	2,202459	1,950054	2,142732	3,294148	2,783390	2,103892	2,765608
Jarque-Bera	5,108066	4,399021	5,614473	8,831119	9,597954	4,273397	5,933120	10,15745
Prob.	0,077767	0,110857	0,060372	0,011789	0,008238	0,118014	0,049809	0,006228

Fuente: Datos obtenidos de la superintendencia financiera, cálculos propios.

Tabla 3 Las mejores 28 par copulas

		<i>Banco de Bogotá</i>		<i>Banco Popular</i>		<i>Banco de Occidente</i>		<i>Banco Avvillas</i>	
		<i>R. M.</i>	<i>R. C.</i>	<i>R. M.</i>	<i>R. C.</i>	<i>R. M.</i>	<i>R. C.</i>	<i>R. M.</i>	<i>R. C.</i>
<i>Banco de Bogotá</i>	<i>R. M.</i>		Clayton	Clayton* (90°)	Clayton	Joe** (180°)	Clayton* (270°)	Joe** (180°)	Frank
	<i>R. C.</i>	Clayton		Gaussian	Frank	Student t	Joe** (180°)	Gumbel** (180°)	BB8
<i>Banco Popular</i>	<i>R. M.</i>	Clayton* (90°)	Gaussian		Gaussian	Clayton* (90°)	Frank	Gaussian	Gaussian
	<i>R. C.</i>	Clayton	Frank	Gaussian		Frank	Student t	Frank	Gaussian
<i>Banco de Occidente</i>	<i>R. M.</i>	Joe** (180°)	Student t	Clayton* (90°)	Frank		Frank	Gaussian	Gaussian
	<i>R. C.</i>	Clayton* (270°)	Joe** (180°)	Frank	Student t	Frank		Student t	Joe** (180°)
<i>Banco Avvillas</i>	<i>R. M.</i>	Joe** (180°)	Gumbel** (180°)	Gaussian	Frank	Gaussian	Student t		Gaussian
	<i>R. C.</i>	Frank	BB8	Gaussian	Gaussian	Gaussian	Joe** (180°)	Gaussian	

Los (*) indican que la copula elegida fue girada bajo los grados descritos en cada caso, los (**) indican que además de ser girada bajo los grados descritos en cada caso, son sobrevivientes de la copula de cada caso. **Fuente:** cálculos propios.