



**Medición del Riesgo Sistémico Intra-bancario**

Por

Lixander Felipe Cadavid Betancur

Tesis Presentada como Requisito Parcial Para Obtener el Título de

Magíster en Administración Financiera

Asesor

PhD. Diego Alexander Restrepo Tobón

UNIVERSIDAD EAFIT

Medellín, diciembre, 2019

© 2019 por Lixander Cadavid

Todos los Derechos Reservados

## **Medición del Riesgo Sistémico Intra-bancario**

**Lixander Felipe Cadavid Betancur**

*lixandercad@gmail.com*

**Asesor: Diego Alexander Restrepo Tobón**

*drestr16@eafit.edu.co*

### ***Resumen***

El riesgo sistémico se entiende como aquel que hace que un sistema complejo colapse como consecuencia de las decisiones y acciones que toman los agentes individuales que hacen parte del sistema. En este trabajo se utilizan técnicas de aprendizaje de máquinas con el objetivo de analizar desde la transaccionalidad y riesgo crediticio el impacto esperado ante las dificultades financieras que se presentan en clientes con quienes se tienen altas exposiciones de cartera y tienen riesgo de contagiar otros clientes con obligaciones financieras en el sistema bancario. Desde un enfoque de la administración del riesgo crediticio, se proponen recomendaciones sobre buenas prácticas para contribuir con la mitigación de este tipo de riesgo.

### ***Palabras clave***

Riesgo sistémico, riesgo de contagio, técnicas de aprendizaje de máquina.

### ***Abstract***

Systemic risk is understood as the risk that a complete complex system collapses as a result of the decisions and actions taken by the individual agents that are part of the system. It is a subject of high importance for both the real sector and the financial system, since a contribution is made to the management, administration and mitigation of credit and contagion risk. A model is proposed through machine learning techniques with the objective of analyzing from the transactional and credit risk, the expected impact of financial difficulties that arise in clients with high portfolio exposures and contagion risk with other customers. From a credit risk management

and machine learning approach, recommendations of good practices are proposed in this article to contribute to the mitigation of this type of risk.

### **Key words**

Systemic risk, contagion risk, machine learning techniques.

## **1 Introducción**

El riesgo sistémico se entiende como el aquel que hace que un sistema complejo completo colapse. Su medición y gestión es fundamental en muchas áreas en finanzas. Desde el punto de vista del sistema financiero en su conjunto, es de interés medir dicho riesgo teniendo en cuenta todas las entidades financieras que hacen parte de la economía (Chen, Mallemi and Iyengar, 2018). Tradicionalmente, este enfoque *macro* para la medición del riesgo sistémico ha dominado las discusiones sobre su medición, importancia y consecuencias. No obstante, al considerar un banco comercial como un sistema complejo se puede también medir el riesgo de que dicho banco colapse. Esta es la aproximación adoptada en el presente estudio.

Los bancos son intermediarios financieros fundamentales en cualquier economía. Además, de su papel en transformar activos ilíquidos en activos líquidos, brindan otros servicios esenciales en la asignación y acceso del crédito. Su mal funcionamiento puede ser de alto costo para la economía en general y el sector real en particular. Esto ha sido demostrado por los eventos de las crisis financieras de las últimas décadas (Huang, Zhou & Zhu, 2009).

Diversos autores han propuesto modelos para valorar el riesgo sistémico de las instituciones financieras con mayor participación en el mercado. La mayoría utiliza información de los estados financieros de los bancos (Huang, Zhou & Zhu, 2009). Borri, Caccavaio, Di Giorgio y Sorrentino (2012) Rodríguez-Moreno & Peña (2013) y Kou, Chao, Peng, Alsaadi & Herrera-Viedma (2019) resaltan la criticidad que

podría llegar a representar la materialización de un riesgo sistémico. Lo hacen a través de un análisis de las entidades financieras más grandes del sistema bancario europeo y un símil con la crisis financiera mundial de 2008, donde se evidencia que la adecuada administración de este tipo de riesgo resulta fundamental para la prevención de grandes colapsos:

“En finanzas, el riesgo sistémico es una crisis que conduce al colapso de un sistema financiero o un mercado completo de un área o país, incluso los mercados globales. El mayor impacto de la crisis financiera mundial en 2008, con un fuerte poder destructivo económico y causando una gran reacción en cadena para destruir la industria financiera, permitió que el riesgo sistémico fuera considerado un factor crucial en relación con la seguridad financiera.”  
(Kou, Chao, Peng, Alsaadi & Herrera-Viedma, 2019).

Si bien, el riesgo sistémico está inmerso en los sistemas financieros modernos a gran escala y se presentan análisis sobre su identificación y medición desde un enfoque del aprendizaje de máquina automático y métodos inteligentes, en este artículo se plantea desde el enfoque del aprendizaje de máquina y la administración financiera, una identificación y medición del riesgo sistémico interno que representan los clientes con cartera para un banco de Colombia.

Calandro (2016) precisó que el primer parámetro del riesgo sistémico es la complejidad financiera, definiendo “complejo” como el evento en que hay interacciones fuertes entre los elementos que hacen parte del sector financiero. En este sentido, así el riesgo de falla sea bajo, en caso de presentarse, representaría un alto impacto en el sistema. Es así como este riesgo es a nivel mundial una de las mayores preocupaciones, dado que su impacto en el sector real y el sistema financiero puede desencadenar dificultades para la economía nacional en el evento en que se materialice un evento de riesgo sistémico.

En la Maestría de Administración Financiera se analizaron diversos tipos y factores de riesgo asociados a los productos de renta fija y variable, así como de las empresas y su salud financiera. Al resolver este problema se estaría considerando una mezcla de dichos riesgos para contribuir con la salud financiera de los bancos y empresas del sector real que se reflejan en la economía del país.

El objetivo de este trabajo es contribuir con la administración y gestión del riesgo sistémico de entidades bancarias de Colombia desde el modelamiento y la simulación, tomando como insumo la información financiera y sectorial de las empresas con cartera en un banco nacional, efectuando:

- Una investigación para determinar a nivel internacional las buenas prácticas para la administración y mitigación del riesgo sistémico que representan las empresas que tienen obligaciones con el sistema financiero, de tal forma que sean aplicadas en las etapas del ciclo de crédito en lo referente al otorgamiento, monitoreo y recuperación de la cartera.
- El diseño e implementación de modelos de aprendizaje de máquina para medir y clasificar el riesgo sistémico de las empresas frente al sistema financiero, con base en sus variables económicas e indicadores financieros.
- La definición de las principales variables que aportan una mayor cantidad de información para identificar y medir el impacto de las empresas con mayor riesgo sistémico frente al sistema financiero.

Actualmente, los temas referentes al riesgo sistémico en el sector financiero tienen como propósito principal desarrollar mecanismos para entender, evaluar y gestionar los problemas asociados a este tipo de riesgo. Esto a su vez conlleva a la definición de regulación y buenas prácticas para hacer una adecuada identificación, medición y gestión (Kou, Chao, Peng, Alsaadi & Herrera-Viedma, 2019).

En el presente artículo, se proponen buenas prácticas para la administración del riesgo sistémico, cuyo detalle cuenta con un alcance que comprende los clientes de los bancos y entidades que hacen parte del sistema financiero. Cabe anotar, que en dichas entidades hay una alta probabilidad de desencadenarse un evento de riesgo sistémico, generando un efecto de contagio tanto en otros clientes, como hacia la misma entidad que los financió, incidiendo, por ende, en la salud del sistema financiero completo.

Así mismo, se presentan modelos mediante las técnicas de aprendizaje de máquina no supervisados de clasificación con modelos de mezcla gaussianos (GMM) y K-means. Esto, con el fin de realizar una propuesta para la medición y clasificación del riesgo sistémico de los clientes que tengan endeudamiento con el sistema financiero desde la transaccionalidad, estados financieros y riesgo crediticio de los últimos cinco años, se hace énfasis en el impacto esperado en un banco colombiano, frente a las dificultades financieras que se presenten como agentes individuales, teniendo en cuenta sus altos niveles de exposición y el riesgo de contagio hacia los demás clientes.

De esta forma, se efectúa la propuesta de una medición y clasificación del riesgo sistémico integrando las alertas financieras, el riesgo de contagio y crediticio de aquellos clientes con productos activos en un banco colombiano. Además, se plantean recomendaciones sobre buenas prácticas para contribuir con la mitigación de este tipo de riesgo, desde un enfoque de la administración del riesgo crediticio y con base en la investigación efectuada.

## **2 Marco Teórico**

Actualmente en Colombia no se cuenta con una medición del riesgo sistémico en el sector financiero, así como con un modelo que permita identificar los clientes que presentan este tipo de riesgo que sirvan de modelo en un banco nacional. Tampoco se cuenta con un repositorio de buenas prácticas para la administración y mitigación

del riesgo sistémico con base en sus variables económicas e indicadores financieros.

En Chile se resalta la importancia de realizar una adecuada administración del riesgo sistémico como tema de utilidad para los encargados de regular el sistema financiero del país. Allí se hizo con base en los eventos materializados de este tipo de riesgo a nivel mundial, como el caso de Lehman Brothers y sus consecuencias de un efecto contagio alrededor del mundo, inclusive en las economías avanzadas (Aguirre, 2018).

De acuerdo con las prácticas de administración del riesgo crediticio es importante que tanto las entidades del sector real como financiero cuenten con modelos que permitan garantizar una adecuada gestión del riesgo sistémico, para definir e implementar controles orientados a contribuir a su mitigación. La literatura actual propone modelos teóricos, axiomáticos y desde la estadística para realizar tal medición en empresas del sector real y financiero en economías de primer mundo. Sin embargo, en el presente estudio se abordará desde la perspectiva del riesgo que representa el sector real para el sistema financiero (Departamento de Educación Económica y Financiera del Banco de la República, 2012).

Se pretende entonces implementar los modelos de aprendizaje de máquina Gaussian Mixture Model (GMM) y K-Means para los clientes del sector real de Colombia. Se busca con base en sus estados financieros, realizar una medición y clasificación del riesgo sistémico en el país, y así determinar las variables e indicadores son los más críticos y para los cuales se realizarán recomendaciones de monitoreo y seguimiento, de tal forma que se mitigue el riesgo sistémico asociado.

En (Aguirre, 2018) se determinan cuáles indicadores tienen potencial para ser utilizados por los reguladores del sistema financiero nacional, dado el alto impacto generado a nivel mundial que se podría presentar, así como ocurrió con la quiebra de Lehman Brothers. Si bien su investigación se realiza en torno al riesgo sistémico que representan las instituciones financieras, se pueden abstraer variables para ser utilizadas en la medición de las compañías con deuda con el sector financiero. Toman como base dos investigaciones, donde la primera plantea que a mayor nivel de concentración bancario es mayor el riesgo sistémico. Sin embargo, si se disminuye dicha concentración creando nuevos bancos, no disminuye en igual proporción el riesgo, dado que se comienza a presentar un efecto de contagio.

Una segunda parte del análisis de redes de estados financieros del sistema identifica aquellos que podrían ser clasificados como “Too-Connected-to-fail” (Muy conectados para fallar), para así simular la quiebra de uno de ellos, analizando el efecto de propagación y contagio que se presenta en todo el sistema financiero. Es como lo aplican en Chan-Lau, 2010, donde se resalta que la crisis de 2008 y 2009 en parte se produjo debido a una materialización del riesgo de interconexión entre las entidades financieras, que es consecuencia del aumento del ritmo de la globalización y la integración financiera, denominado “Too-Connected-to-Fail” (TCTF).

En su investigación (Chan-Lau, 2010), se plantean recomendaciones sobre la mejor manera de regular las instituciones que presentan TCTF y cómo garantizar que se encuentren en el perímetro de la regulación, dado que las instituciones y empresas podrían tener relaciones directas o indirectas entre sí. Las directas podrían corresponder a exposiciones de una empresa hacia otra en sus estados financieros, mientras que las relaciones indirectas hacen referencia a las derivadas de contrataciones entre las compañías. El documento ilustra el uso del análisis de redes (nodos y conexiones en grafos) basado en el balance general para evaluar el

riesgo interconectado de las exposiciones directas en los sistemas bancarios de las economías de países de mercados avanzados y emergentes.

Así como ocurre en Chile (Aguirre, 2018), en Colombia no todas las instituciones financieras se encuentran listadas en bolsa, lo que implica que no sería concluyente para todo el sistema financiero utilizar la información de dichas instituciones dado que no lo representan en su totalidad.

En Colombia, en “Los Reportes del Emisor” (Banco de la República de Colombia, 2012), se resalta la importancia de identificar las fuentes adecuadas para tener una medición asertiva, integral y completa del riesgo sistémico. Se plantea que la aproximación tradicional para efectuar la medición de este tipo de riesgo, se concentra en las instituciones financieras que son consideradas “muy grandes para caer” (“Too-big-to-fail”), basándose en dos hechos. El primero precisa que son las entidades de mayor tamaño por lo que son objeto de una mayor regulación y supervisión. El segundo, habla que las autoridades correspondientes disponen de herramientas para contrarrestar posibles crisis financieras, que son diseñadas especialmente para dichas entidades, dado que, como se hace mención previamente, son las de mayor tamaño.

Adicionalmente, plantean que, ante la materialización de un evento de riesgo sistémico, las entidades no bancarias son las más afectadas. Esto conlleva a pensar que es insuficiente efectuar una medición del riesgo sistémico considerando únicamente el tamaño de las entidades financieras, puesto que son las no bancarias que tengan productos financieros activos, las que podrían llegar a incidir para la materialización de dicho riesgo. Así las cosas, y teniendo en cuenta los dos hechos previamente descritos, el sector no bancario:

“... ha sido capaz de incursionar en funciones otrora exclusivas de los bancos comerciales (y viceversa), sin que dicho sector esté adecuadamente regulado

o cubierto por los mecanismos de contingencia para la provisión de liquidez por parte del banco central” (Banco de la República de Colombia, 2012).

En (Banco de la República de Colombia, 2011), analizan la relación existente entre el riesgo del sector real y del sistema financiero desde el modelo FAVAR (siglas en inglés de “Factor Augmented Vector Autoregression”). Se resaltan la importancia de medir la forma cómo afecta una crisis del sector real hacia el sistema financiero, así como el efecto de propagación bidireccional que se puede presentar entre el sector real y las entidades financieras. Sus resultados reflejan que en el evento en que se presenten dificultades en el sector real, se ve impactada la rentabilidad, la morosidad y el apalancamiento del sistema financiero y de igual forma, una situación de estrés que tiene efectos de disminución en la dinámica de crecimiento del sector real. En (Benoit, Colletaz & Hurlin, 2011) y (Boman, 2013) encuentran que el nivel de riesgo sistémico de los bancos comerciales medido a través del CoVaR permite identificar cambios exógenos en las medidas econométricas utilizadas para medir el aporte de cada entidad financiera al riesgo sistémico general.

Es así como en 2014 efectúan un nuevo estudio (Cabrera Rodríguez, Melo Velandia & Parra Amado, 2014), cuyos resultados demuestran que una situación de estrés en el sector real genera un efecto de contagio de manera inmediata en el sistema financiero y luego se diluye con el tiempo. Y viceversa, aunque el choque del sistema financiero también contagia al sector real, no tiene efecto inmediato, sí puede presentar una propagación más alta y no se diluye tan fácilmente en el tiempo.

En el Reporte de Estabilidad Financiera de 2013 (Banco de la República de Colombia, 2013) se hace un análisis sobre el comportamiento del efecto de contagio, dadas las relaciones crediticias del mercado interbancario colombiano, identificando que las entidades de mayor tamaño cuentan con una tendencia de fondearse, haciendo uso de mayor cantidad de acreedores que las de menor tamaño que concentran sus fondos con base en una pequeña cantidad. En

consecuencia, representa una mayor probabilidad de fractura frente a las de menor tamaño. Si una entidad financiera entra en dificultades financieras, impactaría en mayor proporción a las de tamaño pequeño que a las grandes, dado que tienen una mayor concentración de sus acreedores.

En (Li, Wang & He, 2013) se plantea la importancia de mantener la estabilidad bancaria como factor fundamental para mitigar el riesgo sistémico, dado el efecto de contagio que representan las entidades financieras de un país. Para ello, proponen un modelo de aprendizaje de máquinas de soporte vectorial tomando como ejemplo el sistema bancario chino, variables microeconómicas para describir las alertas de estrés y macroeconómicas para tener una perspectiva sistémica, haciendo uso de las relaciones interbancarias. En este sentido, se ha evidenciado que un modelo predictivo de máquinas de soporte vectorial cuenta con capacidad, precisión y alta eficiencia para pronosticar el riesgo sistémico.

Uno de los factores más importantes para garantizar unas adecuadas condiciones macroeconómicas y estabilidad de riesgo sistémico es el consumo (Khandani, Kim & Lo, 2010), destacando que al agrupar proyecciones individuales con aprendizaje automático tiene mucho que contribuir a la gestión del riesgo empresarial y sistémico. En consecuencia, las decisiones que se tomen con agentes individuales serán relevantes para las decisiones tácticas de gestión de riesgos por parte de los directores de riesgos y los formuladores de políticas. Adicionalmente, al utilizar técnicas de aprendizaje automático se cuentan con modelos predictivos de fácil adaptabilidad, captando la dinámica del mercado local donde se aplique.

En (Serguieva, 2014) se plantea que el riesgo sistémico es uno de los mayores desafíos para el que es importante establecer una regulación, dado que la literatura académica sobre el tema se encuentra haciendo grandes avances teóricos. En su propuesta, efectúan una red multicapa basada en una evaluación de los más grandes bancos internacionales, buscando alinear la teoría con la dinámica actual de los mercados. Adicionalmente, en (Kara, 2013) se concluye que se requiere de

una regulación que busque la coordinación y cooperación entre las entidades financieras y países para así tener medidas efectivas para la mitigación del riesgo sistémico. Cabe tener en cuenta, ante la ausencia de cooperación, que así existan normas que busquen administrar dicho riesgo, serían ineficientes puesto que cada entidad actuaría como un agente individual siendo el riesgo sistémico un tema a gran escala.

En (Karmel, 2009) y (Chen, 2014) se expone un debate acerca de hasta dónde deberían acudir los bancos centrales y reguladores, para asesorar y definir norma que permitan administrar el riesgo sistémico de forma prudente y oportuna, generando cambios en los mercados y entidades financieras. El autor recomienda, para el caso particular de Estados Unidos, la creación de un nuevo actor con características de agencia, que sea independiente de las ramas ejecutivas del congreso, que investigue y analice el riesgo sistémico para dar reportes directamente a las entidades que lo requieren. Adicionalmente, propone que las instituciones del mercado financiero que sean muy grandes (“too big to fail”) o estén muy interconectadas (“too interconnected to fail”) deberían ser desmanteladas, de tal forma que se diluya el riesgo.

Desde la crisis financiera global, los revisores y reguladores del sector bancario han comenzado a rediseñar la razón fundamental o base lógica de la legislación de los bancos (Huang, Zhou & Zhu, 2011), basándose en que en Basilea I y Basilea II se plantea la propuesta tradicional de asegurar la solidez de los bancos como agentes individuales. Sin embargo, esta requiere ser ajustada incorporando temas macroeconómicos del sistema financiero. Exponen un marco de referencia con el objetivo de medir el riesgo sistémico en el sistema financiero, teniendo en cuenta la participación de cada banco como agente individual para la medición.

Así también, es como lo mencionan en (Billio, Getmansky, Lo & Pelizzon, 2010) y (Deltuvaitė, 2012), desde la crisis financiera, se define el riesgo sistémico como la

probabilidad de que se presente una serie de incumplimientos correlacionados entre instituciones bancarias durante en un periodo de tiempo corto y desencadene un retiro de liquidez y genere una pérdida generalizada de confianza hacia el sistema financiero como un todo, no únicamente con bancos en específico. Proponen medidas econométricas de riesgo sistémico con base en las propiedades estadísticas de los rendimientos de los mercados de fondos de cobertura, bancos, corredores y compañías de seguros, haciendo uso de las técnicas de análisis de componentes principales y pruebas de causalidad de Granger.

Existe un reconocimiento global de que el riesgo sistémico hace un llamado para nuevas responsabilidades (Ford, 2016), basándose en que es un riesgo diferente de los demás, puesto que no está asociado a la pérdida de un tipo de inversión específico sino, que representa amenazas para el adecuado funcionamiento del mercado como un todo. Además, puede presentarse como un riesgo emergente, asociado a ciertos tipos de productos, lo que lo hace impredecible y con alta probabilidad de contagio.

En (Fiordelisi & Marqués-Ibañez, 2013) estudian cómo los incumplimientos hacen parte del riesgo sistémico, de acuerdo con tres razones. La primera se relaciona con la naturaleza sistémica de la banca, pues existen entidades de tal tamaño cuya quiebra desencadenarían una serie de quiebras de otras entidades financieras. La segunda está asociada con el riesgo de contagio de dichos bancos en caso de entrar en quiebra. Y la tercera, es que cada banco, individualmente, puede tener efectos en entidades no financieras, debido al impacto en sus clientes al no poder suplir sus necesidades de financiación. En consecuencia, plantean que existen bancos cuya quiebra, representaría no solo un impacto en su nicho de mercado, sino también en todos los mercados, incluyendo el sector real.

Desde antes de la crisis de 2008, se plantea la importancia del sector bancario (Dichev, 1998) y su relación con el tamaño y efectos del libro al mercado, puesto

que la bancarrota, al ser un indicador natural de las dificultades de la industria, brinda medidas de riesgo para calcular el riesgo sistemático. Adicionalmente al tamaño bancario, se asocia la pérdida dada la tasa de incumplimiento al riesgo sistemático en (Gamberger, Lučanin & Šmuc, 2012), (Caselli, Gatti & Querci, 2008) y (Pennacchi & Iannotta, 2012), demostrando que además existe una relación entre la tasa de incumplimiento de los préstamos bancarios y el estado de la economía.

Más tarde en (Gudelytė & Navickienė, 2013), analizan las redes interbancarias teniendo en cuenta los préstamos entre las entidades financieras para simular mediante teoría de grafos. Se encuentra que cuando existen distinciones notorias entre los tamaños de los bancos, se distinguen subgrafos en la red general, definiendo los criterios para la vulnerabilidad de cada banco, así: Número de relaciones interbancarias, volumen de las exposiciones interbancarias, cantidad de intermediarios financieros, relevancia de las contrapartidas y la distancia entre los bancos en una red de mercado interbancario. Concluyen que las características descritas, permiten conocer el riesgo sistémico de los bancos en el sector financiero. Sin embargo, dado que existe una falta de información para hacer la simulación no se pueden llegar a resultados con un alto nivel de confianza.

### **3 Metodología**

Se analiza el riesgo sistémico desde un enfoque financiero, haciendo uso de los estados financieros, transaccionalidad, productos, comportamiento crediticio y alertas financieras de 273.644 clientes de un banco colombiano. Se hace mediante la implementación de los modelos de aprendizaje de máquina Gaussian Mixture Model (GMM) y K-Means para dichos clientes, y con base en sus estados financieros realizar una medición y clasificación del riesgo sistémico en el país, y así determinar las variables e indicadores más críticos, para los cuales se realizarán

recomendaciones de monitoreo y seguimiento, de tal forma que se mitigue el riesgo sistémico asociado.

Dada la particularidad de cada conjunto de clientes, se proponen variables e indicadores financieros agrupados por el sector, puesto que dependiendo de su actividad económica y negocio tendrán diferentes comportamientos. Con el objetivo de desarrollar un modelo que se permita medir adecuadamente el riesgo sistémico de cada agrupación de clientes, se proponen los siguientes indicadores, los cuales son una proporción porcentual del nivel de importancia del cliente en su subsector. De esta forma, se evitarán sesgos para la medición del riesgo sistémico dado el desbalance en las clases de subsectores en los que se encuentran los clientes.

### 3.1 Variables con información interna insumo para la implementación de los modelos:

Inicialmente, se proponen las siguientes variables con base en la información interna de los clientes y los productos de un banco colombiano, tomadas para medir la importancia del cliente, con respecto al subsector al que pertenece:

**3.1.1**  $\frac{\text{Saldo capital del Cliente}}{\text{Saldo capital del Subsector}}$  (%)

La variable 3.1.1 se propone con el objetivo de exponer la concentración de la deuda del cliente con respecto a su subsector. Este factor podría representar el nivel del impacto interno en el banco en el evento en que el cliente presente dificultades financieras.

Se consideran con mayor riesgo sistémico aquellos clientes con un mayor porcentaje de concentración de deuda con respecto a la deuda de su subsector con el banco colombiano. Si dichos clientes presentan un quebranto patrimonial generarán un impacto mayor en su subsector, no solamente para el banco que se encuentra analizando en específico, sino también para todo el sistema financiero que tenga cartera en exposición en dicho sector.

**3.1.2**  $\frac{\text{Flujo de dinero hacia el proveedor}}{\text{Ventas del proveedor}}$  (%)

La variable 3.1.2 indica la relación de las ventas de los clientes con respecto al flujo de dinero que reciben de los demás, teniendo en cuenta la transaccionalidad entre los clientes a través de los canales digitales del mismo banco colombiano.

Tiene como objetivo medir qué tan relacionados y conectados están los clientes, puesto que ante las dificultades financieras de uno se podría presentar un efecto contagio en los demás. En este trabajo se considera que un mayor valor de dependencia refleja un incremento en el contagio, y por ende, en el efecto que traería la materialización de la quiebra del cliente.

En el evento en que un cliente con el que se tiene exposición desde la entidad financiera presente quebranto patrimonial, no solamente su cartera será la que se encuentra en alto riesgo de pérdida, sino también, la de aquellos que dependan en gran medida de este. A manera de ejemplo, si el cliente A reporta ventas anuales por \$1.000 millones, y el cliente B le envía flujos de dinero por valor de \$800 millones durante el mismo año, la variable 3.1.2 indicaría que el cliente A depende del cliente B en un 80%. Esto podría conllevar a que si el cliente B, repentinamente deja de suministrarle dichos recursos, siendo este es una cifra relevante frente a las ventas del cliente A, entonces el último podría tener dificultades para cumplir con sus obligaciones financieras.

Dado que uno de los objetivos de este trabajo es proponer una adecuada medición, identificación y clasificación del riesgo sistémico que representan los clientes para un banco en Colombia, se toman estas variables, de tal forma que permitan realizar una ponderación de la exposición de los clientes con el sistema financiero, tomando como base en la importancia de cada uno de ellos frente a su subsector.

Además de la información interna de los clientes y productos de un banco colombiano, se hace uso de los estados financieros que reportan dichos clientes. Cabe tener en cuenta que el riesgo sistémico no solamente es el que representa el cliente frente a su entidad financiera, sino también, el que representa frente a todo el sistema financiero colombiano.

Para ello se proponen las siguientes variables, con el objetivo de medir e identificar el riesgo sistémico frente a todo el sector financiero, así como los posibles efectos en cada subsector al que pertenece cada cliente. Se tienen en cuenta las cifras de obligaciones financieras, gastos por interés, ventas, cuentas por cobrar y cuentas por pagar, así:

**3.1.3**  $\frac{\text{Pasivo financiero del Cliente}}{\text{Pasivo financiero del Subsector}}$  (%)

Porcentaje de representación del pasivo financiero del cliente reportado en estados financieros con respecto al pasivo financiero de su subsector. En el evento en que el cliente presente dificultades financieras, a través de esta variable se podría calcular no solamente el posible impacto interno para el banco colombiano, sino también, con el sistema financiero completo, dado que se están teniendo en consideración las obligaciones financieras reportadas por el cliente con todo el sistema financiero.

**3.1.4**  $\frac{\text{Gasto por interés del Cliente}}{\text{Gasto por interés del Subsector}}$  (%)

Porcentaje de importancia que representa la proporción de los gastos por interés reportados por el cliente en sus estados financieros con respecto a los reportados por el total de su subsector. Estos gastos son directamente, parte de los ingresos que generan los clientes para el sistema financiero.

Para este estudio, se plantea que un mayor porcentaje de la variable representa un mayor riesgo sistémico, dado que, si el cliente presenta un quebranto patrimonial, entonces el sistema financiero dejará de percibir ingresos que se esperaban recibir por parte de dicho cliente, además del capital que adeuda.

**3.1.5**  $\frac{\text{Ventas del Cliente}}{\text{Ventas del Subsector}}$  (%)

Proporción de las ventas del cliente con respecto a las del subsector, lo que brinda información del tamaño comercial del cliente y magnitud de un posible impacto en caso de entrar en dificultades financieras.

Si bien existen múltiples clientes de cada sector, los que tengan un mayor porcentaje en esta variable, por ende, son los más grandes productores, que aporta un crecimiento a su sector. En consecuencia, se considera que a medida que sea mayor el valor, representarán un mayor riesgo sistémico para su sector y el sistema financiero.

**3.1.6**  $\frac{\text{Cuentas por pagar comerciales del Cliente}}{\text{Cuentas por pagar comerciales del Subsector}}$  (%)

Las cuentas por pagar del cliente aportan información con respecto al nivel de endeudamiento que tiene la empresa con sus proveedores, lo que representaría un riesgo sistémico en el evento en el que la empresa entre en dificultades financieras. Esto generaría un efecto contagio con sus proveedores, toda vez que posiblemente dejarían de percibir oportunamente los ingresos que esperaban de esta relación comercial para completar el recaudo de sus cuentas por cobrar. Así se podría incidir negativamente en la salud financiera de dichos proveedores y a su vez, en caso de tener endeudamiento con el sistema financiero, también podrían entrar en dificultades para cubrir el servicio a la deuda.

Se utiliza la información financiera de los clientes de un banco colombiano que cuenten con productos activos y/u obligaciones financieras con corte a diciembre de 2018, generando las siguientes variables:

Los modelos descritos se ejecutarán sobre la información de la Superintendencia de Sociedades con respecto a los indicadores financieros y sectoriales de la totalidad de las empresas que reportan, así como una base de datos simulada de la transaccionalidad entre las empresas, su calificación y comportamiento de pago frente al sistema financiero, determinando variables principales y comportamientos similares entre las compañías que permitan realizar una medición y clasificación del riesgo sistémico.

Se aplicarán las técnicas de machine learning dado que éstas permiten:

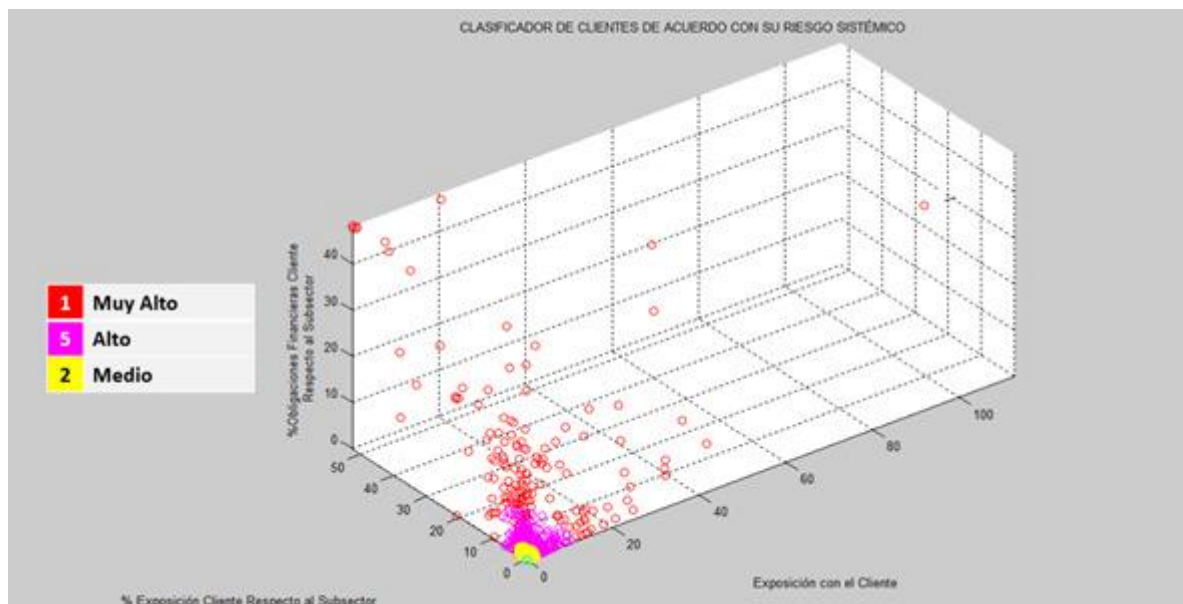
- La aplicación de un modelo ajustado al negocio y comportamiento propio de los datos.
- La predicción de tendencias y necesidades.
- La alineación de innovación con el negocio.
- La administración de los riesgos identificados y emergentes.

### **3.2 Resultados**

Al implementar los modelos de Mezcla Gaussianas (GMM por su sigla en inglés, Gaussian Mixture Model) y K-Means, se observa que para ambos casos el riesgo sistémico se concentra en pocos clientes del sistema financiero, así:

Luego de efectuar iteraciones con diferentes números de clases para el modelo GMM, se obtiene un modelo óptimo de 12 clases, que clasifica en una etiqueta a 266 de los 273.644 como clientes con riesgo sistémico. Es decir, dicho riesgo se encuentra concentrado en un 0.097% de los clientes.

En el modelo de K-means se observa que la ejecución con seis clases es óptima. Sin embargo, a diferencia del algoritmo GMM, al analizar la información resultante con su respectiva clasificación, se observa que categorizó a los clientes sistémicos en cuatro clases diferentes, mientras GMM lo hizo en una. Finalmente, se obtiene un resultado de 114 clientes clasificados con mayor categoría de riesgo sistémico, es decir, el 0.042%.



En la gráfica anterior, se observan las variables de relevancia de la deuda, ventas y obligaciones financieras del cliente con respecto al sector. Aquí, las observaciones de color rojo, que son las más alejadas del centro, representan un mayor riesgo sistémico, puesto que son las que corresponden a los datos atípicos que tienen mayor importancia en sus respectivos sectores.

Las que se encuentran cerca a la coordenada  $(0,0,0)$ , corresponden al otro 99.9% de los clientes que no tienen alta importancia con respecto a su sector, y por ende, no representan un riesgo sistémico para el sector financiero.

Así como se presenta en el marco teórico, otros autores también han identificado la concentración de este tipo de riesgo en un grupo reducido de individuos, resaltando que sus niveles no solamente representan un riesgo para el banco con el que tiene productos, sino también para el sistema financiero como un todo. En el evento de que uno de dichos clientes presente un quebranto patrimonial no solamente tendría dificultades para cumplir con sus obligaciones financieras con el banco analizado

en este estudio, sino también, se estaría afectando el sector bancario, dado que el pasivo financiero se tiene en cuenta como una de las variables.

Al agregar las variables que relacionan las cuentas por pagar y flujos de dinero, se tienen en cuenta los posibles efectos de contagio que se presentarían en caso tal de que los clientes con riesgo sistémico presenten dificultades financieras o un quebranto patrimonial. Adicionalmente, al agregar el endeudamiento de obligaciones financieras reportado por los clientes en sus estados financieros, se suma el componente de riesgo sistémico que representan, no únicamente con el banco colombiano analizado, sino también con todo el sistema financiero, lo que permitirá concluir sobre la exposición del sector financiero como un todo con respecto a dicho riesgo.

Como resultado de ambos modelos, se observa que los clientes clasificados como sistémicos, son aquellos que cuentan con una mayor relevancia con respecto a su sector. Es decir, se caracterizan por tener un alto porcentaje de participación con respecto a su sector, en lo referente al pasivo financiero, cuentas por pagar y ventas. Dicho resultado está acorde con la teoría del riesgo sistémico, donde se plantea que éste se encuentra altamente concentrado en pocos actores del sistema financiero.

## **Conclusiones**

De acuerdo con los distintos autores que han abordado el riesgo sistémico desde un punto de vista teórico y con los resultados obtenidos en la presente investigación, los clientes clasificados por los modelos como sistémicos, representan menos del 0.01% de la población analizada. Ello indica, así como lo menciona la teoría, éstos son “muy grandes para caer” (“too big to fail”), y representarían un impacto, no únicamente en sus sectores, sino también en el sistema financiero.

Como buena práctica de las entidades financieras para la administración de este tipo de riesgo, es importante contar con modelos que permitan realizar una clasificación de sus clientes sistémicos, dado que su colapso podría representar un alto impacto para las mismas. Es recomendable contar con unos parámetros y criterios estándar que sirvan de base para que las entidades financieras efectúen la clasificación y administración de los clientes sistémicos. Sin embargo, dada la particularidad de cada tipo de cliente, es importante que se efectúe un análisis a los resultados obtenidos para considerar la relevancia de otras variables que podrían aportar a la estimación del riesgo sistémico de los clientes.

Los modelos planteados en la literatura consultada proponen modelos teóricos, matemáticos y de aprendizaje de máquina para la predicción de la materialización de un riesgo sistémico. Estos se enfocan en el riesgo interbancario, es decir, el que representan los grandes bancos frente al sector financiero. También, hacen alusión a las crisis financieras históricas que se han materializado para pronosticar posibles casos o factores que probablemente desencadenen nuevas crisis.

A diferencia de la literatura, en este modelo se plantea el riesgo sistémico intra-bancario, es decir, el riesgo que representan los clientes de los bancos frente al sistema financiero. En el evento en que presenten un quebranto patrimonial, esto podría generar un efecto contagio que no solo se materializaría en el sector real, sino también en el sistema financiero, dado que el efecto de cadena generaría también dificultades financieras en los clientes del sector real, quienes a su vez cuentan con obligaciones con el sector bancario.

Adicionalmente, al tener identificados dichos clientes como resultado de los modelos, se recomienda tener un proceso especial de crédito con ellos, en dónde se les ofrece un trato diferencial para las etapas del ciclo de crédito, considerando aspectos como:

- Definición de límites y alertas de exposición: Dado que son clientes sistémicos, es importante considerar que no solamente su cartera se encuentra en riesgo, sino también la de los otros clientes que dependen altamente de él, teniendo en cuenta la variable de flujos de dinero considerada en esta investigación.
- Identificación de clientes sistémicos potenciales: Los clientes clasificados por los modelos como sistémicos, no son los únicos que deben contar con alertas y tratamientos diferenciales, puesto que, dada la dinámica del mercado, en cualquier momento otros clientes podrían incrementar sus niveles de exposición con el sistema financiero y comenzar a ser relevantes para los demás, teniendo en cuenta nuevamente sus flujos de dinero. Así las cosas, es importante definir controles preventivos para el otorgamiento del crédito, con los cuales se evalúe si con los nuevos niveles de exposición de cada cliente, éste sería denotado como sistémico.
- Proyecciones del cliente sistémico y sus relacionados: Para la etapa de originación del crédito, se recomienda diseñar e implementar un proceso robusto en cuanto a los escenarios de proyecciones financieras efectuados para el análisis de capacidad de pago del cliente, donde no sólo se implementen escenarios base y ácidos para el cliente en cuestión, sino también para los relacionados que dependan en un alto porcentaje de sus flujos de dinero.
- Toma de decisiones: Se deben tener en cuenta no solamente los posibles impactos de contagio y cadena que se podrían presentar en la toma de decisiones como calificación de cartera, reestructuraciones o castigos dado el riesgo que representan los clientes sistémicos con los demás participantes de su sector y el sistema financiero.

#### 4 Referencias

1. Chen, C., Moallemi, C. C. and Iyengar, G. (2018). An Axiomatic Approach to Systemic Risk. *MANAGEMENT SCIENCE*, (Vol. 59, No. 6), pp. 1373–1388.
2. Huang, X., Zhou, H., & Zhu, H. (2009). A Framework for Assessing the Systemic Risk of Major Financial Institutions. *Finance And Economics Discussion Series Divisions Of Research & Statistics And Monetary Affairs Federal Reserve Board, Washington, D.C.*, (37).
3. Aguirre, J. (2018). *Indicadores de riesgo sistémico en el sector bancario chileno* (Ingeniero Comercial Mención Economía). Universidad de Chile.
4. Chan-Lau, J. (2010). Balance Sheet Network Analysis of Too-Connected-To-Fail Risk in Global and Domestic Banking Systems. *SSRN Electronic Journal*. doi: 10.2139/ssrn.1566442
5. Banco de la República de Colombia. (2012). LA IMPORTANCIA DE LA CONECTIVIDAD PARA IDENTIFICAR Y MEDIR FUENTES DE RIESGO SISTÉMICO. Bogotá, D. C.: Banco de la República de Colombia. Consultado en [http://www.banrep.gov.co/publicaciones/pub\\_emisor.htm](http://www.banrep.gov.co/publicaciones/pub_emisor.htm)
6. BANCO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. (2011). Relación entre el riesgo sistémico del sector real y el sistema financiero. BOGOTÁ D. C.: BANCO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.
7. Cabrera Rodríguez, W., Melo Velandia, L., & Parra Amado, D. (2014). Relación entre el riesgo sistémico del sistema financiero y el sector real: un enfoque FAVAR. *Ensayos Sobre Política Económica*, 32(75), 1-22. doi: 10.1016/j.espe.2014.08.001

8. BANCO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. (2013). Relaciones crediticias y riesgo de contagio en el mercado interbancario no colateralizado colombiano. BOGOTÁ D. C.: BANCO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.
9. Kou, G., Chao, X., Peng, Y., Alsaadi, F., & Herrera-Viedma, E. (2019). MACHINE LEARNING METHODS FOR SYSTEMIC RISK ANALYSIS IN FINANCIAL SECTORS. *Technological And Economic Development Of Economy*, 25(5), 716-742. doi: 10.3846/tede.2019.8740
10. Li, S., Wang, M., & He, J. (2013). Prediction of Banking Systemic Risk Based on Support Vector Machine. *Mathematical Problems In Engineering*, 2013, 1-5. doi: 10.1155/2013/136030
11. Your Bibliography: Khandani, A., Kim, A., & Lo, A. (2010). Consumer credit-risk models via machine-learning algorithms. *Journal Of Banking & Finance*, 34(11), 2767-2787. doi: 10.1016/j.jbankfin.2010.06.001
12. Serguieva, A. (2014). Systemic risk identification, modelling, analysis, and monitoring: An integrated approach. 2014 IEEE Conference On Computational Intelligence For Financial Engineering & Economics (Cifer). doi: 10.1109/cifer.2014.6924043
13. Karmel, R. (2009). THE CONTROVERSY OVER SYSTEMIC RISK REGULATION. *Brooklyn Law School Legal Studies Research Papers*, (179).
14. Ford, C. (2016). Systemic Risk Regulation in Comparative Perspective. *SSRN Electronic Journal*. doi: 10.2139/ssrn.2798419
15. Huang, X., Zhou, H., & Zhu, H. (2011). Systemic Risk Contributions. *Journal Of Financial Services Research*, 42(1-2), 55-83. doi: 10.1007/s10693-011-0117-8

16. Billio, M., Getmansky, M., Lo, A., & Pelizzon, L. (2010). Econometric Measures of Systemic Risk in the Finance and Insurance Sectors. doi: 10.3386/w16223
17. Fiordelisi, F., & Marqués-Ibañez, D. (2013). Is bank default risk systematic?. *Journal Of Banking & Finance*, 37(6), 2000-2010. doi: 10.1016/j.jbankfin.2013.01.004
18. Gamberger, D., Lučanin, D., & Šmuc, T. (2012). Descriptive Modeling of Systemic Banking Crises. *Discovery Science*, 67-80. doi: 10.1007/978-3-642-33492-4\_8
19. Pennacchi, G., & Iannotta, G. (2012). Bank Regulation, Credit Ratings, and Systematic Risk. *SSRN Electronic Journal*. doi: 10.2139/ssrn.2021355
20. Dichev, I. (1998). Is the Risk of Bankruptcy a Systematic Risk?. *The Journal Of Finance*, 53(3), 1131-1147. doi: 10.1111/0022-1082.00046
21. Caselli, S., Gatti, S., & Querci, F. (2008). The Sensitivity of the Loss Given Default Rate to Systematic Risk: New Empirical Evidence on Bank Loans. *Journal Of Financial Services Research*, 34(1), 1-34. doi: 10.1007/s10693-008-0033-8
22. Borri, N., Caccavaio, M., Di Giorgio, G., & Sorrentino, A. (2012). Systemic Risk in the European Banking Sector. *SSRN Electronic Journal*. doi: 10.2139/ssrn.2112919
23. Gudelytė, L., & Navickienė, O. (2013). Modelling of Systemic Risk of Banking Sector. *Social Technologies*, 3(2), 359-371. doi: 10.13165/st-13-3-2-09
24. Deltuvaitė, V. (2012). THE IMPORTANCE OF SYSTEMIC RISK MANAGEMENT IN THE BANKING SECTOR. *ECONOMICS AND MANAGEMENT*, 17(3). doi: 10.5755/j01.em.17.3.2097

25. Calandro, J. (2016). Systemic Risk and Risk Management: Overview and Approach. SSRN Electronic Journal. doi: 10.2139/ssrn.2815616
26. Chen, J. (2014). A Systematic Approach to Measures of Systemic Risk. SSRN Electronic Journal. doi: 10.2139/ssrn.2460486
27. Rodríguez-Moreno, M., & Peña, J. (2013). Systemic risk measures: The simpler the better?. *Journal Of Banking & Finance*, 37(6), 1817-1831. doi: 10.1016/j.jbankfin.2012.07.010
28. Benoit, S., Colletaz, G., & Hurlin, C. (2011). A Theoretical and Empirical Comparison of Systemic Risk Measures: MES versus CoVaR. SSRN Electronic Journal. doi: 10.2139/ssrn.1973950
29. Kara, G. (2013). Systemic Risk, International Regulation, and the Limits of Coordination. SSRN Electronic Journal. doi: 10.2139/ssrn.2356924
30. Boman, A. (2013). How Much Can Regulation Lower Systemic Risk?. SSRN Electronic Journal. doi: 10.2139/ssrn.2358556