

Propuesta de mapa térmico del sistema financiero mexicano con alertas tempranas de inestabilidad

A proposed thermal map of the Mexican financial system with early warnings of instability

Recibido: 12 /marzo/2021; aceptado: 20/septiembre/2021; publicado: 06/enero/2022

Marco Ulises Martínez Ledesma^{}*
*Ana Lorena Jiménez Preciado^{**}*
*Francisco Venegas Martínez^{***}*

<https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2022v37n94/Martinez>

RESUMEN

En esta investigación se desarrolló un mapa térmico del sistema financiero mexicano para identificar sus vulnerabilidades. La metodología propuesta extiende la que emplea el Banco de México (Banxico), y sus ventajas son: 1) se reduce el número de variables a las utilizadas originalmente por Banxico (de 58 a 23) eliminando variables redundantes; 2) 22 de las 23 variables están disponibles en plataformas públicas; 3) la categoría de “apetito por el riesgo” es el rubro que genera mayor inestabilidad; 4) genera alertas tempranas de la cartera vencida y del índice de importaciones, este último indicador puede tener repercusiones en la meta de inflación de Banxico. Se discutió también cómo los factores de riesgo identificados pueden magnificarse por el COVID-19. Por último, el mapa térmico propuesto es novedoso por la generación de alertas tempranas además de que permite la detección de elementos adicionales de riesgo a los que señala el Banco Central.

Palabras clave: Estabilidad financiera; mapa térmico; riesgo macroeconómico; apalancamiento financiero; apetito por el riesgo.

Clasificación JEL: E44; E58; G12; G21; G28.



Esta obra está protegida bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional

ABSTRACT

This research developed a heat map of the Mexican financial system to identify its vulnerabilities. The proposed methodology extends that used by Bank of Mexico (Banxico), and its advantages are: 1) the number of variables is reduced to those originally used by Banxico (from 58 to 23) discarding redundant variables; 2) 22 of the 23 variables are available on public platforms; and 3) the category of “risk

* Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Economía, México, correo electrónico: marcomtzl73@gmail.com

** Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Economía, México, correo electrónico: ajimenezp@ipn.mx

*** Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Economía, México, correo electrónico: fvenegas1111@yahoo.com.mx

appetite” is the item that generates the greatest instability; 4) it generates early warnings of overdue loans and the import index; the latter indicator may have repercussions on Banxico's inflation target. It also discusses how the identified risk factors can be magnified by COVID-19. Finally, the proposed thermal map is novel due to the generation of early warnings, in addition to the fact that such a proposal allows the detection of additional risk elements to those indicated by the Central Bank.

Keywords: Financial stability; heat map; macroeconomic risk; financial leverage; risk appetite.

JEL Classification: E44; E58; G12; G21; G28.

INTRODUCCIÓN

La detección de la inestabilidad financiera de las economías, sobre todo temprana, y de las vulnerabilidades de sus componentes se ha convertido en una tarea imprescindible para la toma de decisiones de las autoridades financieras, particularmente para los bancos centrales, ya que esto les permite complementar el monitoreo del sistema financiero, y así, poder diseñar estrategias y realizar acciones anticipadas que disminuyan y, en el mejor de los casos, que eliminen los factores de riesgo que podrían vulnerar la seguridad del sistema.

Si bien los reportes de estabilidad financiera se han popularizado desde su implementación, a partir de las publicaciones del Fondo Monetario Internacional (FMI) en los años 2000 y, posteriormente, por su adaptación por parte de otras instituciones como la Reserva Federal de Estados Unidos (FED), el Banco de Pagos Internacionales (BIS por sus siglas en inglés) y los bancos centrales de diversas economías (industrializadas y emergentes), el uso de mapas térmicos se ha popularizado desde 2017 tras la publicación del Monitor de Vulnerabilidades del Sistema Financiero (FSVM por sus siglas en inglés) elaborado por la Oficina de Investigación Financiera (OFR) de Estados Unidos como parte de sus atribuciones para la medición y el monitoreo de la estabilidad financiera de la economía estadounidense.

Respecto a la literatura referente a mapas de calor de estabilidad financiera, Sarlin y Peltonen (2011) desarrollaron una metodología denominada mapa de estabilidad financiera autoorganizado con una reducción de dimensión para mapear el estado de estabilidad financiera y visualizar gráficamente fuentes potenciales de riesgos sistémicos. Los autores muestran que los mapas de calor complementados con modelos estadísticos permiten identificar de manera más eficiente los factores de riesgo que detonaron las crisis que comenzaron en 2007 en los Estados Unidos y la Unión Europea. Asimismo, Dattels *et al.*, (2010) complementaron los mapas de calor con otras herramientas estadísticas para evaluar la estabilidad financiera y así superar algunos de los inconvenientes típicos de los mapas. Más recientemente, Gustiana y Nasrudin (2021) examinan a través de un mapa de calor la estabilidad del sistema financiero en Indonesia, que permite evaluar y controlar la amenaza de una crisis potencial. La contribución más importante de los autores es que incluyen el efecto de la economía global en su metodología.

La categorización de los riesgos a partir de los mapas térmicos ha servido como “semáforo” para detectar los factores que presentan mayor vulnerabilidad, los cuales pueden ser: macroeconómicos, de riesgo de mercado, de riesgo crediticio y de riesgo de contagio, así como de riesgo de insolvencia (liquidez) y apalancamiento. En poco tiempo, la incorporación de los mapas térmicos en los reportes de los bancos centrales ha sido una tarea obligada, donde Banxico no ha sido la excepción, incorporándolo en sus *Reportes sobre el Sistema Financiero* (a partir de 2019 denominado *Reporte de Estabilidad Financiera*). Banxico en su análisis incluye 58 variables divididas en 4 categorías: riesgo por exposición a mercados (apetito por el riesgo), apalancamiento del sector financiero, apalancamiento del sector no financiero y riesgo macroeconómico.

En este trabajo se desarrolló un mapa térmico que replica al de Banxico, aunque con el 60% menos de variables bajo el esquema propuesto por Aikman *et al.*, (2017); la propuesta de esta investigación incorpora 23 variables, además que permite la detección de elementos adicionales de riesgo a los que señala

el Banco Central. La hipótesis que sostiene la presente investigación es que un menor número de variables pueden replicar este mapa de riesgos para el sistema financiero mexicano (descartando variables redundantes, *proxies* o variables altamente correlacionadas) y que se puede efectuar con información disponible de las plataformas públicas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV), la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), a excepción de las que se incorporaron de *Thomson Reuters Eikon*). Además, la validación de las variables que conforman los rubros se realiza a partir de matrices de correlaciones y pruebas de causalidad de Granger por pares.

Asimismo, la propuesta permitió también identificar oportunamente las vulnerabilidades a partir de las categorías representadas por el mapa térmico, que impactan la estabilidad financiera del país y evaluar el comportamiento futuro de dichos riesgos en el marco de la evolución futura de la pandemia COVID-19. Si bien, para este documento no se incorporan elementos que directamente modelen la pandemia (como su letalidad, número de defunciones, etc.), sí se destacan las categorías y las variables que presentan mayor vulnerabilidad y que, a partir de la expansión y persistencia de la pandemia, pueden tener repercusiones en los objetivos de inflación de Banxico.

La propuesta realizada para el mapa térmico coincide con Banxico en que el apetito por el riesgo es la categoría que presenta mayor vulnerabilidad y por lo tanto inestabilidad (lo cual se considera como algo positivo respecto a la consistencia de los mapas). Sin embargo, a diferencia de Banxico, proporcionó alertas tempranas para la cartera vencida y para el índice de importaciones, justamente la dinámica de este último indicador puede tener repercusiones en los objetivos de inflación de Banxico que fueron agravadas por la pandemia COVID-19.

La Junta de Gobierno de Banxico, con información propia, y de otros agentes, pronosticó bajo crecimiento y un alza en la tasa de inflación para la mitad del año de 2020. No obstante, el impacto de la crisis sanitaria, o de salud pública, generada por la pandemia del COVID-19 condujo a una caída brusca e inesperada del Producto Interno Bruto (PIB) y a un aumento sustancial en la inflación. De hecho, Banxico pronosticó una caída del PIB de hasta 8.8% en 2020 en un escenario pesimista y un aumento importante en la inflación. Por otro lado, el mercado cambiario mexicano ha sido también afectado por la pandemia del COVID-19. El peso mexicano es una de las monedas que más volatilidad ha presentado en relación con el dólar estadounidense en 2020 y 2021. Asimismo, la desaceleración de la oferta y la demanda agregadas como consecuencia de la pandemia del coronavirus fue inevitable y profundizó la inestabilidad financiera en México.

Otros efectos negativos de la pandemia son las caídas bruscas e inesperadas en los precios del mercado bursátil, el aumento de los diferenciales de riesgo de los préstamos y la alta volatilidad de los precios del barril de la mezcla mexicana de petróleo de exportación; aunado al hecho de que el energético fósil tuvo una caída en la demanda durante un tiempo considerable (sobre todo en China). En el caso mexicano, las presiones sobre el financiamiento han sido descomunales, por lo que la magnitud del ajuste financiero reflejó en buena medida la magnitud del choque económico; las consecuencias fueron evaluadas en el marco de las alertas de nuestra propuesta de mapa térmico. En conclusión, el surgimiento del coronavirus ha revelado diversas fragilidades del sistema financiero, mismas que fueron analizadas en el marco de un mapa térmico para evaluar sus efectos futuros con la finalidad de que las autoridades financieras desarrollen una estrategia con acciones inmediatas para mitigar dichos efectos tomando, particularmente, en cuenta el endeudamiento de los hogares, la emisión de deuda de las empresas y el aumento de las importaciones.

Entre los principales resultados de esta investigación destaca la medición de la vulnerabilidad del sistema mexicano por la alta volatilidad registrada en los mercados financieros. Sin embargo, los componentes de endeudamiento de los hogares, la emisión de deuda de las empresas y el aumento de las importaciones revelaron señales de alerta que, considerando el contexto de una contingencia de carácter

sanitaria, es importante prestar atención a dichas señales y emplear los mecanismos de transmisión que tenga la autoridad monetaria mexicana a la mano, en sintonía con las otras autoridades financieras, para tomar decisiones que contrarrestan (disminuyan) estos inminentes riesgos, los cuales con la evolución de la pandemia del COVID-19, sin duda, se magnificaron.

El presente trabajo desarrolló un mapa térmico del sistema financiero mexicano, con base en la metodología de Aikman *et al.*, (2017), para identificar y administrar los riesgos que impactan negativamente la estabilidad financiera, además de que permite la detección de elementos adicionales de riesgo a los que señala el Banco Central. El mapa desarrollado proporcionó una radiografía del sistema que detecta las vulnerabilidades y los factores de riesgo que afectan la estabilidad financiera. El mapa consideró sólo 23 variables divididas en 4 categorías: apetito por el riesgo, apalancamiento del sector financiero, apalancamiento del sector no financiero y riesgo macroeconómico. El principal hallazgo es que el mapa propuesto, a diferencia del de Banxico, emite para las categorías de apalancamiento del sector financiero y riesgo macroeconómico alertas tempranas para la cartera vencida y el índice de importaciones; este último indicador puede tener repercusiones en los objetivos de inflación de Banxico, sobre todo en el contexto de la de la evolución futura de la pandemia del coronavirus.

El presente trabajo está organizado de la siguiente manera: en la primera sección se presentan los antecedentes de la implementación de mapas térmicos en los reportes financieros de los bancos centrales, en tanto que el segundo apartado muestra los aspectos metodológicos aunado al desarrollo de la propuesta y su validación a partir de las pruebas de causalidad de Granger; en la sección 3 se muestra el mapa térmico de riesgos y el mapa térmico desagregado, así como la discusión de los principales resultados; y, por último, se presentan las conclusiones y ventajas de la propuesta.

I. DE LOS REPORTES FINANCIEROS A LOS DE MAPAS TÉRMICOS DE ESTABILIDAD

Monitoreo de la estabilidad financiera

La medición de la estabilidad financiera de los países, en los reportes financieros de las diferentes instituciones que forman parte del sistema monetario-financiero a nivel internacional, ha sido un asunto complejo en el sentido de representar con una herramienta fiable el funcionamiento del sistema financiero como indicador del desempeño de las economías (Gadanecz y Jayaram, 2009). Dicha complejidad reside en la heterogeneidad de los agentes económicos. En este sentido, se han propuesto diversas metodologías para tratar de “mapear” el sistema financiero de tal manera que sus resultados permitan encontrar aquellos elementos que pongan en riesgo la estabilidad financiera. En este punto es importante mencionar que el término de estabilidad financiera ha sido ampliamente discutido y se pueden encontrar diferentes definiciones de este en la literatura especializada.

De acuerdo con Allen y Wood (2006), el concepto de estabilidad financiera comenzó a utilizarse públicamente por el Banco de Inglaterra en 1994 para referirse a los objetivos de la banca central, con la peculiaridad de excluir la noción de estabilidad de los precios o el funcionamiento “eficiente” del sistema financiero. Estos mismos autores sugieren que para que se pueda hablar de estabilidad financiera, el concepto o indicador debe: 1) estar relacionado con el bienestar de los agentes económicos, 2) ser medible, 3) ser claramente definido en el sentido de que contemple incluso las diferencias jurídicas de un estado a otro dentro de un país y 4) evitar “estigmatizar” las variables o sectores que lo comprenden. Bajo las premisas anteriores, los mapas térmicos podrían ser una propuesta apropiada para capturar y medir la estabilidad.

A partir de los años 2000, el FMI a través de sus reportes de estabilidad financiera, comenzó a ser un referente para presentar la evolución y comparación de variables macroeconómicas y financieras que permiten conocer las condiciones prevalecientes en las economías (industrializadas y emergentes), dando

sugerencias de conducción de política para los distintos países y señalando sus áreas de oportunidad. Sin embargo, después de la crisis hipotecaria iniciada en Estados Unidos en 2008, Dattels *et al.*, (2010) se cuestionaron si realmente era posible mapear los riesgos del sistema financiero.

A raíz de los estragos de la crisis financiera de 2008, se observaron fuertes críticas hacia las metodologías que analizan el sistema financiero, desde las estimaciones de los requerimientos de capital que deben tener las instituciones financieras hasta la valuación de los activos financieros, como se puede apreciar en los cambios de acuerdos de Basilea III en 2009 (Chami & Cosimano, 2010) y sus posteriores modificaciones en Basilea IV en 2017. Lo anterior dio pie al desarrollo de herramientas que permitieran dimensionar y visualizar con mayor simplicidad (o menor complejidad) la gran cantidad de indicadores macroeconómicos y financieros para la evaluación de las vulnerabilidades, abriendo la puerta a los reportes globales de estabilidad.

En este mismo sentido, Dattels *et al.*, (2010) comenzaron a emplear mapas de tipo radial para caracterizar los riesgos; su trabajo fue replicado por Saque *et al.*, (2015) para Albania. Por último, es relevante mencionar que los mapas de radiales comenzaron a formar parte de los reportes de estabilidad financiera global del FMI para las economías.

Otro tipo de mapeo que comenzó a popularizarse (a pesar de que no fue explícitamente incorporado en los reportes del FMI) fue la propuesta de Sarlin y Peltonen (2011) que implementaron mapas autoorganizados (SOM por sus siglas en inglés) los cuales se basan en redes neuronales para retroalimentar el sistema. En su estudio se clasificaron los riesgos en 4 etapas: precrisis, crisis, post crisis y tranquilidad.

Los mapas autoorganizados tienen diversas extensiones que se pueden encontrar en Sarlin (2013) y Peat y Jones (2014) que analizan los reportes financieros de las principales empresas australianas para identificar sus vulnerabilidades. También se registran los primeros “semáforos” en los trabajos de la OFR por Aguilar *et al.*, (2014) que desarrollan un mapa de financiación que considera la calificación del intermediario bursátil, la liquidez en las operaciones y la estructura de derivados de diversas instituciones para hacer una clasificación de riesgos a través de colores. El monitoreo de riesgos para la toma de decisiones macro prudenciales también se hizo parte fundamental de los reportes del Banco de Inglaterra, los cuales consideran más de 50 indicadores para determinar los requerimientos de capital e identificar los elementos que más afectan al ciclo económico. De manera general, en el cuadro 1 se presentan los elementos que se consideran para medir la estabilidad financiera.

Cuadro 1
Sectores y variables asociadas que afectan la estabilidad financiera

Sectores	Variables asociadas		
Bancos e instituciones financieras	Índices bursátiles	Premio al riesgo	Volatilidad
Economía real	Crecimiento	Inflación	Pago del servicio de la deuda
Hogares	Ahorro y endeudamiento de los hogares	Consumo e ingreso de los hogares	Créditos a las empresas y a los hogares
Instituciones no financieras	Razones financieras de las empresas	Notas de las agencias calificadoras	Endeudamiento
Sector Externo	Tipo de cambio	Reservas internacionales	Tasas de interés

Fuente: elaboración propia.

El cuadro 1 ejemplifica, de manera general, los sectores que comúnmente se incluyen para la evaluación de los riesgos que afectan al sistema financiero, así como una pequeña proporción de las variables que lo conforman (ya que los mapas no consideran restricciones en el número de elementos). A partir del comportamiento de las variables que conforman los sectores representantes de la estabilidad

financiera, se dice que caen en una situación de vulnerabilidad cuando los sectores presentan signos o síntomas de debilitamiento (Office of Financial Research's, 2020). En ese sentido, la heterogeneidad de sus componentes es uno de los desafíos más importantes que presenta el mapeo de la estabilidad financiera en los países. Posteriormente, los mapas térmicos se comienzan a incorporar en los reportes financieros de los bancos centrales tras la publicación de la ORF en 2017, lo cual se precisa a continuación.

Mapeo en Estados Unidos y en México

En 2017, la ORF desarrolló dos herramientas para la administración y monitoreo de riesgos para la estabilidad financiera de Estados Unidos: el Monitor de Vulnerabilidades del Sistema Financiero (FSVM) y el Índice de Estrés Financiero (FSI). La novedad del FSVM fue la implementación de mapas térmicos para el análisis de la estabilidad financiera y tiene las siguientes tres características:

- a) Considera 58 indicadores potenciales de vulnerabilidad.
- b) Los indicadores se clasifican en 6 categorías: macroeconomía, mercado, crédito, solvencia, apalancamiento, fondeo y liquidez, así como contagio.
- c) El uso de colores en el mapa caracteriza a los indicadores de largo plazo en donde el rojo indica vulnerabilidad potencial respecto a su pasado y el color verde indica estabilidad. Conforme los colores se van acercando al rojo entonces se está creando una vulnerabilidad potencial.

Para el 2018, algunos bancos centrales, como es el caso de México, comenzaron a implementar los mapas térmicos como complemento a los reportes de estabilidad financiera. La metodología implementada por la banca central se basa en el trabajo de Aikman *et al.*, (2017) que, a través de la normalización y estandarización de los sectores y sus componentes, generan un índice agregado para monitorear y medir la estabilidad financiera, detectando las vulnerabilidades del sistema a través de un esquema de colores como lo hace la OFR, con la particularidad de que la estabilidad se representa con el color azul y conforme ésta se acerca a rojo denota fragilidad o riesgos potenciales. Otra característica relevante de este análisis es la desagregación del mapa térmico en sus categorías, subcategorías y las variables implícitas en ellas, mismo que se puede observar en el cuadro 2.

Cuadro 2
Índice agregado de estabilidad financiera

Categoría	Subcategoría			
Apetito al riesgo	Liquidez	Riesgo/volatilidad	Crédito corporativo	Crédito a las empresas y hogares
Sector Financiero	Empresas	Crédito al consumo	Amortizaciones	Ahorro
Sector no financiero	Apalancamiento no bancario	Apalancamiento bancario	Tamaño	Madurez

Fuente: elaboración propia con base en Aikman *et al.*, (2017).

Tomando en consideración la extensión de Aikman *et al.*, (2017), se procede al apartado metodológico.

II. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Selección de variables

Bajo el esquema de clasificación de variables¹, las categorías utilizadas en el presente análisis son: 1) riesgo por exposición de mercados o apetito por el riesgo, 2) apalancamiento del sector financiero, 3) apalancamiento del sector no financiero y 4) riesgo macroeconómico. Esta investigación utiliza una muestra de 10 años (de enero de 2009 a diciembre de 2019) con periodicidad mensual². El cuadro 3 presenta el catálogo completo y estructurado de las variables elegidas.

Las series de tiempo que componen el cuadro 3 se obtuvieron de distintos portales digitales especializados en materia económica y financiera: del INEGI se obtuvo la variable 19; de Banxico se obtuvieron de 1 a 5, 9, 14-18, y de la 20 a 23; y de la CNBV se tomaron las variables 12 y 13. En tanto que del portal de datos abiertos de la SHCP se obtuvo la variable 8. Por último, se hizo uso de la plataforma *Thomson Reuters Eikon* para obtener las variables 6, 7, 10 y 11.

Cuadro 3
VARIABLES IMPLEMENTADAS PARA EL MAPA TÉRMICO DE MÉXICO

Categoría	Subcategoría	Variable
<i>Apetito por el Riesgo</i>	Flujos	1. Tenencia de valores gubernamentales en manos de extranjeros 2. Tenencia de CETES en manos de extranjeros 3. Bonos M 4. Flujos acciones 5. Flujos Bonos
		Diferencias de Tasas
	Rendimientos	7. Razón precio-valor Mexbol 8. Índice de Precios de la Vivienda en México 9. Cambio mensual del precio del Petróleo
	Volatilidad de Precios	10. Índice de Volatilidad Global (VIX) 11. Índice de Volatilidad Local (BMVVIX)
<i>Apalancamiento del Sector Financiero</i>	Endeudamiento Bancario	12. Índice de capitalización del sistema bancario 13. Índice de capitalización de las casas de bolsa
<i>Apalancamiento del Sector No Financiero</i>	Índices de Concentración del Crédito	14. Cambio mensual de la cartera vigente 15. Cambio mensual de la cartera vencida
	Hogares	16. Razón de endeudamiento contra ahorro total
	Empresas	17. Razón de la deuda a corto plazo emitida en México por empresas contra la deuda total emitida por las mismas

¹ Para llevar a cabo la elaboración del mapa térmico bajo el enfoque de Aikman *et al.*, 2017, se hizo uso del programa “R-Studio”. Una breve descripción de la implementación se puede observar en el Anexo 1.

² Se estandarizaron las variables que presentan periodicidad distinta a fin de homologar y comparar las series, esto permite mejorar el proceso de interpretación del mapa.

<i>Riesgo Macroeconómico</i>	Deuda	18. Crecimiento mensual del gasto público
	Precios	19. Cambio mensual del INPC
	Sector Externo	20. Cambio mensual en el tipo de cambio real 21. Cambio mensual de las reservas internacionales 22. Índice de Precios de Exportación 23. Índice de Precios de Importación

Fuente: Elaboración propia

Con la finalidad de justificar y validar las variables utilizadas para la construcción del mapa térmico y considerando la limitación de que no todas son de acceso público, se implementaron pruebas de causalidad de Granger por pares³. Cabe destacar que dicha prueba es sugerida por Aikman *et al.*, (2017). En el cuadro 4 se observa que la categoría del Apetito por el Riesgo (APR) causa al Apalancamiento del Sector Financiero (ASF), al Apalancamiento del Sector No Financiero (ASNF) y el Riesgo Macroeconómico (RM). No obstante, el ASF y RM no causan el Apetito por el Riesgo. Por otro lado, el Apalancamiento del Sistema Financiero sólo causa el RM, mientras que el ASNF no causa el Apalancamiento en el Sector no Financiero. Ahora bien, el Apalancamiento en el Sector No Financiero la evidencia estadística sugiere que causa el APR y el RM. Por último, el Riesgo Macroeconómico solo causa el ASNF.

Cuadro 4
Prueba de Causalidad de Granger por categoría

Hipótesis Nula	Resultado
El Apetito por el Riesgo no causa el Apalancamiento en el Sector Financiero	2.9554* (0.05021)
El Apetito por el Riesgo no causa el Apalancamiento en el Sector No Financiero	3.3452** (0.03844)
El Apetito por el Riesgo no causa el Riesgo Macroeconómico	2.9741* (0.05067)
El Apalancamiento en el Sector Financiero no causa el Apetito por el Riesgo	0.8096 (0.3452)
El Apalancamiento en el Sector Financiero no causa el Apalancamiento en el Sector No Financiero	0.6583 (0.5538)
El Apalancamiento en el Sector Financiero no causa el Riesgo Macroeconómico	3.7432** (0.02637)
El Apalancamiento en el Sector No Financiero no causa el Apetito por el Riesgo	2.9554* (0.05021)
El Apalancamiento en el Sector No Financiero no causa el Apalancamiento en el Sector Financiero	0.7152 (0.4370)

³ Adicional a las pruebas de causalidad, en el Anexo 2 se presentan las matrices de coeficientes de correlación para construir las distintas subcategorías.

El Apalancamiento en el Sector No Financiero no causa el Riesgo Macroeconómico	4.438** (0.01374)
El Riesgo Macroeconómico no causa el Apetito por el Riesgo	1.9237 (0.10742)
El Riesgo Macroeconómico no causa el Apalancamiento en el Sector Financiero	0.9971 (0.12521)
El Riesgo Macroeconómico no causa el Apalancamiento en el Sector No Financiero	2.7412* (0.05321)

Nota. Se reporta el estadístico F y entre paréntesis el *p-value* para probar la hipótesis nula de que las variables independientes no tienen causalidad en el sentido de Granger sobre la dependiente. Los símbolos *, ** y *** denotan significancia al 10%, 5% y 1% respectivamente.

Fuente: Elaboración propia con salida de R-Project.

Un último proceso de validación para verificar la efectividad del mapa térmico es tomar como referencia la Brecha crédito / PIB, es decir, la desviación de la razón del crédito con respecto al PIB de su tendencia de largo plazo. Dicho indicador fue propuesto por el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea para evaluar si el crecimiento del crédito ha sido excesivo, además de ser un indicador útil para detectar la acumulación de desequilibrios financieros. Por lo tanto, es de esperarse que el Índice General de Vulnerabilidad Financiero (IGVF) se correlacione positivamente con el indicador de la Brecha Crédito-PIB. El cuadro 5 presenta una Prueba de Granger-VAR en donde se observa que el Índice de Vulnerabilidad General Financiera, el Apetito por el Riesgo y el conjunto de las cuatro categorías (APR, ASF, ASNF y RM) causan la Brecha de Crédito-PIB. No obstante, ASF, ASNF y RM no causan la Brecha de Crédito-PIB, es decir no hay cierto “poder predictivo”, lo cual coincide con los argumentos de Aikman *et al.*, (2017).

Cuadro 5
Prueba de Causalidad Granger-VAR sobre la brecha de crédito

Hipótesis Nula	Resultado
El Índice de Vulnerabilidad General Financiera no causa la Brecha de Crédito-PIB	4.8831** (0.01097)
El Apetito por el Riesgo no causa la Brecha de Crédito-PIB	2.8161* (0.05397)
El Apalancamiento en el Sector Financiero no causa la Brecha de Crédito-PIB	0.6851 (0.5130)
El Apalancamiento en el Sector Financiero no causa la Brecha de Crédito-PIB	1.9027 (0.10829)
El Riesgo Macroeconómico no causa la Brecha de Crédito-PIB	0.5983 (0.6134)

Las cuatro categorías juntas no causan la Brecha de Crédito-PIB	7.3261*** (0.00176)
-----------------------------------------------------------------	------------------------

Nota. Se reporta el estadístico F y entre paréntesis el *p-value* para probar la hipótesis nula de que las variables independientes no tienen causalidad en el sentido de Granger sobre la dependiente. Los símbolos *, ** y *** denotan significancia al 10%, 5% y 1% respectivamente.

Fuente: Elaboración propia con salida de R-Project.

Implementación del mapa térmico

A continuación, se presenta la metodología de Aikman *et al.*, (2017), con la notación de Banxico por simplicidad. Se asigna a cada variable un componente denominado $x(l, k, t)$, donde l es el indicador específico, k es cada componente y t es el periodo de estudio del indicador. Para estandarizar los indicadores, a cada uno se le resta la media y se divide entre la desviación estándar, el indicador estandarizado se denota como $\varkappa(l, k, t)$. Cada índice de componente, $V(k, t)$, se genera como el promedio simple no ponderado de los indicadores estandarizados como se observa en la ecuación 1.

$$V(k, t) = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \varkappa(l, k, t). \quad (1)$$

Cada componente k se ajusta a una distribución normal. La observación mensual para cada componente se lleva al intervalo (0,1) mediante percentiles asociados a la distribución normal estándar. Para construir el Indicador de Vulnerabilidad Global en el Sistema Financiero (IVGF) mexicano se toma la expresión de la ecuación 2:

$$IVGF = \left[\sum_{k=1}^N w(k) V(k, t)^r \right]^{\frac{1}{r}} \quad (2)$$

donde $w(k)$ es el peso en el componente k (los pesos suman uno) y $1/(1-r)$ es la elasticidad de sustitución a través de componentes. Posteriormente, se realiza un promedio aritmético considerando a $r = 1$ y $w(k) = 1/N$. Por lo que la expresión anterior se transforma conforme lo muestra la ecuación 3:

$$IVGF = \sum_k \frac{V(k, t)}{N} \quad (3)$$

Para terminar la construcción del IVGF y poder normalizar los índices, se hace uso de una función de distribución normal acumulada, la cual permitirá asociar el componente y los índices agregados en el intervalo (0,1). Ante el planteamiento anterior, si $\Psi(\cdot)$ representa la función de distribución normal acumulada, el IVGF se define conforme a lo establece la ecuación 4:

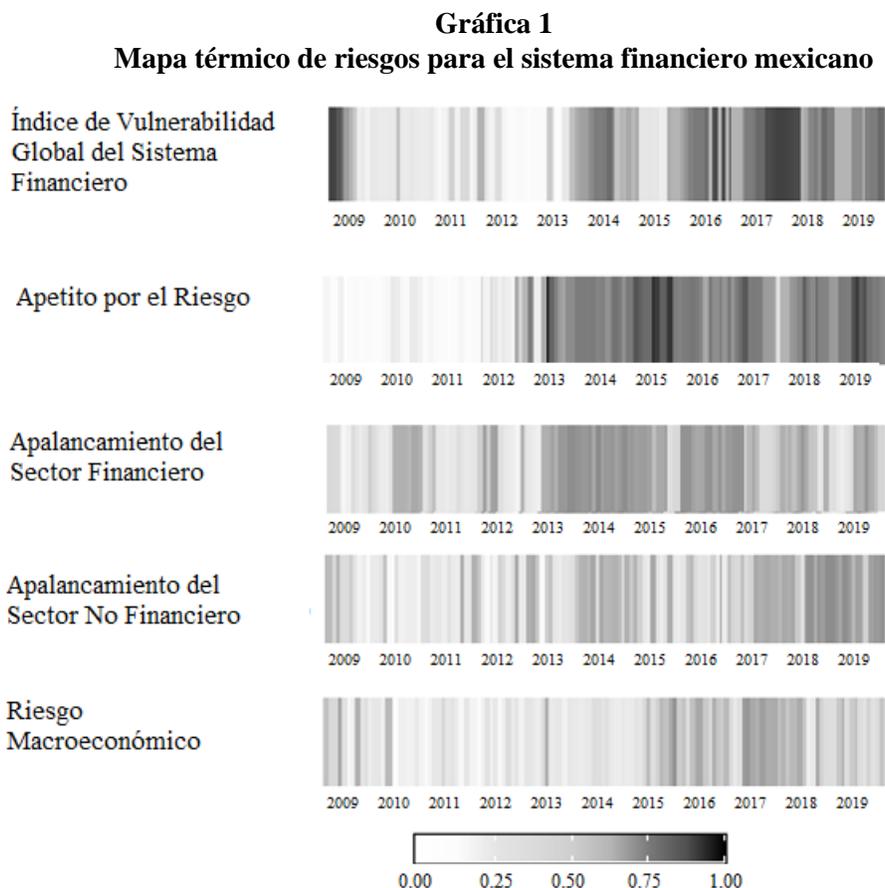
$$IVGF = \sum_k \frac{\Psi[V(k, t)]}{N} \quad (4)$$

Una vez calculado el IVGF, éste se traslada al mapa térmico, mismo que se describe en la siguiente sección.

III. APLICACIÓN DEL MAPA TÉRMICO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El mapa térmico permite capturar el nivel de riesgo presente en el sistema financiero mexicano en cada una de las categorías descritas en la sección 2. Si el color del índice es más próximo a negro, mayor será la vulnerabilidad potencial que presenta el sistema financiero de México y viceversa, si el color del índice es más próximo al blanco o con menor saturación de gris, menor será la vulnerabilidad que se presenta en el

sistema financiero mexicano. El mapa térmico de riesgos para el sistema financiero mexicano se presenta en la gráfica 1.



Fuente: elaboración propia con salida de R-Project.

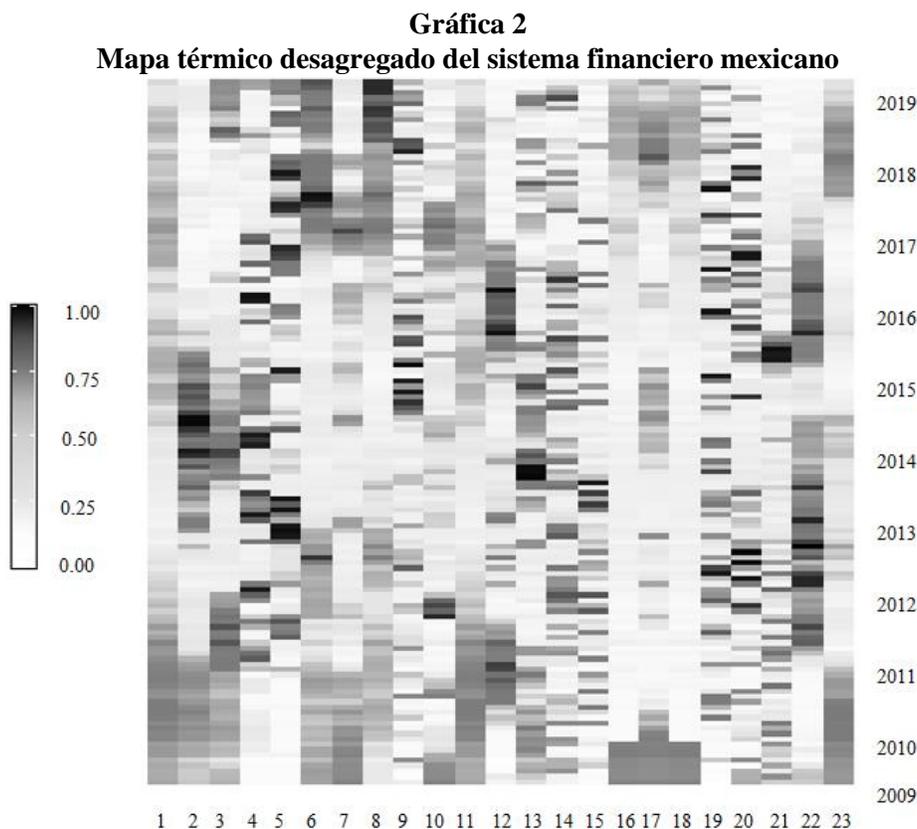
Los resultados de la gráfica 1 muestran que mediante el IVGF es posible visualizar la vulnerabilidad acumulada por la que pasaba el sistema mexicano ante las repercusiones de la crisis inmobiliaria de 2008, posterior a esta fecha la vulnerabilidad descendió, por supuesto sin dejar de lado algunos focos en años posteriores como la incertidumbre respecto a las relaciones comerciales con Estados Unidos tras las elecciones presidenciales a finales de 2016, así como el comienzo de las negociaciones para modernizar el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), en 2017, por parte México y Estados Unidos; este último hecho impactó en la acumulación de vulnerabilidad en el sistema financiero.

Por otro lado, el mapa térmico sugiere que el riesgo agregado del sistema financiero mexicano presenta una disminución en el primer semestre de 2019, con respecto al segundo semestre de 2018, debido a que el apalancamiento en el sector financiero y el riesgo macroeconómico presentaron menor vulnerabilidad. No obstante, esto se revierte en el segundo semestre de 2019 dado el aumento del nivel de riesgo potencial y debido al panorama de incertidumbre macroeconómico nacional e internacional a finales de 2019 y a principios de 2020 con las repercusiones de la guerra comercial de China y Estados Unidos, además de las señales del impacto económico que representa el COVID-19⁴, siendo las categorías más

⁴ Declarada pandemia por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en marzo de 2020.

afectadas el incremento del riesgo en el apalancamiento en el sector no financiero y el riesgo macroeconómico.

El mapa térmico permite presentar por categorías las vulnerabilidades del sistema y compararlas en distintos periodos. Sin embargo, también se puede desagregar en sus componentes con la finalidad de ver la evolución de estas. La gráfica 2 muestra el mapa desagregado del sistema financiero.



Fuente: elaboración propia con salida de R-Project.

Los resultados presentados en el mapa térmico desagregado indican de forma individual las variables que presentan mayor vulnerabilidad. En lo que corresponde a la categoría de “apetito por el riesgo”, el índice MSCI que representa una ponderación de empresas de alta y mediana capitalización de 23 economías industrializadas y 26 economías emergentes, exhibe la vulnerabilidad debida a la persistente volatilidad que presentó el mercado de capitales a nivel global. Por otro lado, el índice de precios de la vivienda en México que permite conocer las tasas de apreciación o depreciación de las viviendas también presentó un alto riesgo, lo cual se puede atribuir a la apreciación del precio de los bienes inmuebles y a la caída o pérdida de los ingresos monetarios de los agentes económicos.

Las señales de advertencia (alertas tempranas) en nuestra propuesta se pueden encontrar en la categoría de “apalancamiento del sector no financiero” siendo el cambio mensual de la cartera vencida una de las variables que presenta signos de cuidado, también es así para el endeudamiento de los hogares y de la empresa, situación que es preocupante por la imposibilidad de pago que pueden presentar ambos agentes considerando las proyecciones de bajo crecimiento a nivel mundial y sus consecuencias en la contracción

económica⁵. Esta situación empeoró con los efectos negativos de la pandemia del coronavirus. Finalmente, en la categoría de “sector macroeconómico”, que es donde hay menor vulnerabilidad, destaca sólo como señal de alerta el sector externo, específicamente la variable asociada con el índice de precios de importación, siendo un indicador de coyuntura que muestra el avance sobre los precios de productos industriales que son importados en México. Este resultado es relevante por las implicaciones que pueden derivarse para los objetivos de inflación de Banxico y el entorno de la incertidumbre futura de la trayectoria de pandemia del COVID-19, lo cual generó caídas bruscas e inesperadas de las proyecciones de las variables relevantes de la economía mexicana.

Áreas de oportunidad sobre el mapa térmico

A pesar de la facilidad de lectura e interpretación que tienen los mapas térmicos, su principal desafío radica en la homologación de las series de tiempo de cada variable, ya que difieren en su temporalidad (diaria, mensual, trimestral y anual), lo cual al compararse con otros mapas térmicos que presenten otra periodicidad en su estructura podrían diferir sustancialmente.

Otra crítica válida es que al estandarizar los componentes y normalizarlos en el intervalo (0,1), la incorporación de nuevos datos afecta y modifica los valores estandarizados y normalizados para toda la serie temporal. Por esta razón los índices actuales de vulnerabilidad pueden presentar diferencias con respecto a los previos, y más si se modifica el número de variables empleadas.

Estas limitaciones son compensadas con las ventajas de que los mapas térmicos representan una herramienta intuitiva para monitorear la estabilidad financiera, ya que se facilita la identificación de áreas que evidencian una acumulación o reducción de vulnerabilidad, lo que permite detectar y, en determinado momento, tomar acciones anticipadas en las zonas de riesgo del sistema financiero sobre todo en el desarrollo de la pandemia COVID-19.

Como se ha mencionado en este documento, Banxico desde el año 2018 empezó a emplear un mapa térmico para cuantificar la vulnerabilidad inherente en el sistema financiero mexicano. Referente a su reporte de estabilidad financiera publicado en diciembre de 2019, el mapa térmico incluye 58 variables, considerando un análisis de enero de 2006 hasta septiembre de 2019. Esta es la primera diferencia del mapa de la autoridad monetaria mexicana con respecto de nuestra propuesta que lo replica con sólo 23 variables (casi el 40% de variables). La propuesta en este trabajo radicó en variables representativas (descartando variables redundantes, *proxies* o variables altamente correlacionadas) en cada categoría y bajo una metodología eficiente que permitió establecer un mapa térmico eficaz y replicable para captar la vulnerabilidad del sistema financiero mexicano. Además de que el mapa térmico propuesto es novedoso por la generación de alertas tempranas y porque permite la detección de elementos adicionales de riesgo que pueden escapar del Banco Central.

CONCLUSIONES

Dada la importancia de monitorear los riesgos inherentes al sistema financiero mexicano y la necesidad de tener un semáforo que emita señales de alerta temprana para detectar las vulnerabilidades y factores de riesgo que impactan en el equilibrio y estabilidad financiera en México, y que además permite la detección de elementos adicionales de riesgo que pueden escapar del Banco Central, se elaboró un mapa térmico del sistema financiero de la economía mexicana, con base en la metodología de Aikman *et al.*, (2017), con ventajas considerables respecto al de Banxico.

⁵ Véase, por ejemplo, FMI (2020).

El mapa térmico desarrollado concentra 23 variables macroeconómicas y financieras divididas en 4 categorías capturando regularidades clave en los datos replicando el mapa de Banxico, lo cual resulta adecuado para evaluar la acumulación de riesgos en un complejo, dinámico y globalizado sistema financiero, tomando en cuenta la evolución histórica y el comportamiento en conjunto del espectro de los componentes de vulnerabilidad.

Para el caso mexicano, el mayor riesgo está asociado a la volatilidad de los mercados financieros; lo cual coincide con el mapa de Banxico. Sin embargo, a diferencia del mapa de Banxico, es de particular atención las señales que presenta nuestro mapa sobre las variables de endeudamiento de los hogares y de las empresas, volviéndose todavía más frágiles ante los estragos económicos derivados del COVID-19, aunado a las bajas proyecciones de crecimiento que permean a la economía mexicana. Si bien, en las categorías de apalancamiento del sector financiero y riesgo macroeconómico parecen ser las menos inestables, se exhibió en nuestra propuesta alertas para la cartera vencida y para el índice de importaciones, esto último puede tener repercusiones serias en los objetivos de inflación de la banca central mexicana y dichas repercusiones pueden ser mayores en el contexto de la pandemia COVID-19.

Previo a la pandemia, la economía mexicana presentaba problemas de desaceleración y estancamiento y que, tras la llegada del COVID-19, se acentuó y repercutió negativamente en la vida cotidiana y en las actividades económicas de México y el mundo. En ese sentido, la propuesta de este mapa térmico permitió proporcionar un “termómetro” al identificar los rubros que quedan expuestos y más vulnerables para la estabilidad del sistema financiero.

La aplicabilidad de esta metodología se puede extender para el uso de otras economías, con la finalidad de comparar el desempeño de los mapas térmicos; asimismo, se puede mejorar la conformación de dichos mapas, ya sea utilizando un proceso de selección de variables distinto al propuesto por Aikman *et al.*, (2017) o bien, incorporando elementos distintos (no solo a través de la reducción de variables) a los que utiliza Banco de México para caracterizar las vulnerabilidades del sistema financiero. Sin embargo, esto queda como parte de la agenda pendiente para las siguientes extensiones de la presente investigación.

Nuestra propuesta, más que ofrecer un mecanismo para analizar la evolución de la pandemia ocasionada por el COVID-19, permitió observar el riesgo agregado del sistema financiero mexicano y las vulnerabilidades que presenta y que pueden exacerbarse ante la coyuntura del COVID-19.

REFERENCIAS

- Aguilar, A., Bookstaber, R., & Wipf, T. (2014). A Map of Funding Durability and Risk. *Office of Financial Research. Working Paper, 14(3)*, 1-28.
- Aikman, D., Kiley, M., Jung Lee, S., Palumbo, M., & Warusawitharana, M. (2017). Mapping heat in the U.S. financial system. *Journal of Banking & Finance, 81(August)*, 36-64. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2017.04.013>
- Allen, W., & Wood, G. (2006). Defining and achieving financial stability. *Journal of Financial Stability, 2(2)*, 152-172. <https://doi:10.1016/j.jfs.2005.10.001>
- Chami, R., & Cosimano, T. (2010). Monetary policy with a touch of Basel. *Journal of Economics and Business, 62(3)*, 161-175.
- Dattels, P., McCaughrin, R., Miyajim, K., & Puig, J. (2010). Can You Map Global Financial Stability? *IMF Working Paper, 10(145)*, 1-42.
- FMI. (2020). *World Economic Outlook Update*. Fondo Monetario Internacional. Retrieved Marzo 19, 2020, from <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/01/20/weo-update-january2020>
- Gadanecz, B., & Jayaram, K. (2009). Measures of financial stability - a review. In BIS, *IFC Bulletins No 31* (pp. 365-380). Basel: Bank for International Settlements.

- Gustiana, & Nasrudin. (2021). Evaluating Financial System Stability Using Heatmap from Aggregate Financial Stability Index with Change Point Analysis Approach. *Asia-Pacific Financial Markets*, 28, 367–396. <https://doi.org/10.1007/s10690-020-09326-0>
- Office of Financial Research's. (2020). *020 Annual Report*. Washington, DC.: OFR.
- Peat, M., & Jones, S. (2014). Detecting Changing Financial Relationships: A Self Organising Map Approach. In A. Lugmayr, *Applications and Services in the Finance Industry* (Vol. 217, pp. 1-12). Springer.
- Saque, A., Minka, O., & Kota, V. (2015). Financial Stability Map in Albania. In B. o. Albania, *Economic Review* (pp. 13-32). Bank of Albania.
- Sarlin, P. (2013). Exploiting the self-organizing financial stability map. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(5-6), 1532-1539. <https://doi:10.1016/j.engappai.2013.01.002>
- Sarlin, P., & Peltonen, T. (2011). Mapping the State of Financial Stability. *European Central Bank Working Paper No 1382*, 1-37.

ANEXO I. ESTRUCTURA GENERAL DE LOS MAPAS DE CALOR

La programación e implementación se hizo mediante el *software* R-Studio. Como paquetería principal se utilizó “*stats*” para trabajar con la función “*heatmap*”, la cual permite elaborar una matriz de alta calidad en donde se recomienda utilizar herramientas estadísticas para normalizar los datos de entrada, ejecutar un algoritmo de agrupamiento y visualizar el resultado con dendrogramas.

A continuación, se presenta la estructura general de función de “*heatmap*”, la cual con sus pertinentes adecuaciones fue posible elaborar el mapa térmico:

Cuadro 6
Estructura general de *heatmap*

```
heatmap(x, Rowv = NULL, Colv = if(symm)"Rowv" else NULL,
distfun = dist, hclustfun = hclust,
reorderfun = function(d, w) reorder(d, w),
add.expr, symm = FALSE, revC = identical(Colv, "Rowv"),
scale = c("row", "column", "none"), na.rm = TRUE,
margins = c(5, 5), ColSideColors, RowSideColors,
cexRow = 0.2 + 1/log10(nr), cexCol = 0.2 + 1/log10(nc),
labRow = NULL, labCol = NULL, main = NULL,
```

Fuente: elaboración propia.

ANEXO II. VALIDACIÓN DE LAS VARIABLES EMPLEADAS EN EL MAPA TÉRMICO MEDIANTE COEFICIENTES DE CORRELACIÓN

En este punto se enfatizará en la validación de la elección de variables con el fin de proporcionar mayor certeza en la construcción del mapa térmico. En el cuadro 7 se observa la matriz de coeficientes de correlación de las variables seleccionadas para construir el Índice de Apetito por el Riesgo (APR).

Dicha matriz sugiere que en efecto hay variables que tienen un coeficiente de correlación bajo; como es el caso de V5 que hace referencia a los “Flujos de Bonos”. No obstante, hay variables que tienen una fuerte correlación con el APR, como, por ejemplo, V1 que se refiere a la “Tenencia de valores gubernamentales en manos de extranjeros”. En ese sentido, al tratar de explicar el APR, se infiere que se han tomado variables apropiadas para dicho cometido.

Cuadro 7
Correlación de variables para la categoría APR (Apetito por el Riesgo)

Subcategoría/Variabl e	AP R	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
APR	1											
V1	0.79	1										
V2	0.39	0.39	1									
V3	0.57	0.58	0.53	1								
V4	0.42	0.10	0.18	0.15	1							
V5	0.26	0.25	0.35	0.21	0.41	1						
V6	0.39	0.57	0.10	0.27	0.27	0.09	1					
V7	0.57	0.74	0.39	0.29	0.13	0.12	0.56	1				
V8	0.24	0.45	0.27	0.29	0.23	0.12	0.84	0.3	1			
V9	0.67	0.09	0.07	0.10	0.26	0.13	0.41	2	2	1		
V10	0.35	0.42	0.19	0.24	0.04	0.07	0.45	5	5	0.12	1	
V11	0.79	0.25	0.39	0.58	0.31	0.25	0.57	4	5	0.19	2	1

Nota: APR = Apetito por el Riesgo, V1 = Tenencia de los valores gubernamentales en manos de extranjeros, V2 = Tenencia de CETES en manos de extranjeros, V3 = Bonos M, V4 = Flujos de acciones, V5 = Flujos de bonos, V6 = Índice MSCI, V7 = Razón precio-valor Mexbol, V8 = Índice de precios de la vivienda en México, V9 = Cambio mensual del precio del petróleo, V10 = Índice de volatilidad (VIX) y V11 = Índice de volatilidad local (BMVVIX). Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, al delimitar variables que puedan explicar el movimiento en el Índice de Apalancamiento del Sector Financiero (ASF) se optó por incluir el Índice de capitalización del sistema bancario (V12) y el Índice de capitalización de las casas de bolsa (V13). No obstante, en el cuadro 8 se observa una matriz en donde las variables elegidas presentan un coeficiente de correlación aceptable con respecto al ASF.

Cuadro 8
Correlación de variables para la categoría APR (Apalancamiento del Sector Financiero)

Subcategoría/Variable	ASF	V12	V13
ASF	1		
V12	0.65	1	
V13	0.44	0.29	1

Nota: ASF = Apalancamiento del Sector Financiero, V12 = Índice de capitalización del sistema bancario y V13= Índice de capitalización de las casas de bolsa.

Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la elección de variables que permitan explicar el Índice de Apalancamiento en el Sector No Financiero (ASNF) se optó por un total de 4 variables en donde se observa a partir de los coeficientes de correlación que es posible concluir que son variables que explican los movimientos en el ASNF presentando una que correlación superior a 0.50, con excepción de V14 (Cambio mensual de la cartera vigente). Los resultados se presentan en el cuadro 9.

Cuadro 9
Correlación de variables para la categoría ASNF (Apalancamiento del Sector No Financiero)

Subcategoría/Variable	ASNF	V14	V15	V16	V17
ASNF	1				
V14	0.44	1			
V15	0.62	0.21	1		
V16	0.71	0.15	0.33	1	
V17	0.65	0.17	0.29	0.55	1

Nota: ASNF = Apalancamiento del Sector No Financiero, V14 = Cambio mensual en la cartera vigente, V15 = Cambio mensual en la cartera vencida, V16 = Razón de endeudamiento contra el ahorro total y V17 = Razón de la deuda a corto plazo emitida en México por empresas contra la deuda total emitida por las mismas.

Fuente: elaboración propia.

Por último, para la validación y selección de variables para construir el Índice de Riesgo Macroeconómico (RM), se optó por tomar 6 variables, las cuales, como se observa en la matriz del cuadro 10, sugieren que son variables que explican al RM, con algunas peculiaridades de V21 (Cambio mensual en las reservas internacionales) y V22 (Índice de precios de exportación), la cuales presentan un coeficiente de correlación negativo, demostrando que se mueven de manera inversa con respecto al RM.

Cuadro 10
Correlación de variables para la categoría ASNF (Riesgo Macroeconómico)

Subcategoría /Variable	RM	V18	V19	V20	V21	V22	V23
RM	1						
V18	0.49	1					
V19	0.58	-0.45	1				
V20	0.59	0.17	0.34	1			
V21	-0.41	0.23	-0.14	-0.02	1		
V22	-0.29	-0.12	-0.32	0.17	0.15	1	
V23	0.58	0.62	-0.55	0.28	0.33	-0.42	1

Nota: RM = Riesgo Macroeconómico, V18 = Crecimiento mensual del gasto público, V19 = Cambio mensual del INPC, V20 = Cambio mensual en el tipo de cambio real, V21 = Cambio mensual en las reservas internacionales, V22 = Índice de precios de exportación y V23 = Índice de precios de importación.

Fuente: elaboración propia.