



TECNOLÓGICO
DE MONTERREY

Instituto Tecnológico y de Estudios
Superiores de Monterrey
Campus Ciudad de México

*Una medida de estrés financiero para México, su relación
con la actividad económica y los mecanismos de
transmisión del estrés*

TESIS QUE PARA RECIBIR EL TÍTULO DE
DOCTOR EN CIENCIAS FINANCIERAS
PRESENTA

Yahir Aurelio López Chuken

Director de tesis: Dr. José Carlos Ramírez Sánchez
Codirector de tesis: Dr. Hugo Javier Fuentes Castro
Lector: Dra. Ana Mier y Terán Romero
Lector: Dr. Serafín Martínez Jaramillo

México D.F., 30 de Abril de 2014



TECNOLÓGICO
DE MONTERREY

Biblioteca
Campus Ciudad de México

Resumen

Se propone una medida de estrés financiero para el sistema financiero mexicano. La medida es continua, oportuna y separable en sus. La medida identificó la crisis de 1982 y 1987 como los episodios de mayor estrés en la historia reciente de México, seguida de la crisis Tequila de 1995, mientras que la crisis de 2008 generó poca tensión en los mercados en relación con esos eventos. La medida es más útil como herramienta coyuntural y no para pronosticar crisis futuras. Se estudia la relación entre el estrés financiero y los niveles de actividad económica para México durante 1980-2013. Los resultados indican que un aumento en los niveles de estrés de 12% merman la actividad económica en alrededor de uno por ciento en un periodo de diez meses.

Se propone una metodología para medir el contagio financiero hacia México y otros cinco países de América Latina durante 1990-2013. Además se propone una metodología para identificar y evaluar los principales canales de transmisión del contagio hacia dichas economías. Se concluye que el comportamiento de los inversionistas extranjeros, así como en menor medida los fundamentales económicos y los vínculos comerciales inciden en la transmisión del contagio hacia los países estudiados. Mantener fundamentales macroeconómicos sólidos atenúa, más no detiene el contagio financiero hacia los países.

Abstract

A measure of financial stress in Mexico is proposed. The index is continuous, timely and easily separable into their components. The measure detects the financial crisis of 1982 and 1987 as the most stressful episodes observed in the history of Mexico, followed by the Tequila crisis of 1995. The global crisis of 2008 provoked only small turmoil in the financial markets, relative to the cited episodes. The stress index is more useful as a contemporaneous measure of actual financial conditions and not to forecast future stressful periods. The measure allows the quantification of turmoil periods that it may hinder the financial stability and trigger a crisis. Therefore, by studying the relationship between the financial stress and the economic activity is crucial. The aftermath of analyzing that relationship for Mexico during the last four decades indicates that stressful periods of 10 percent lessen the economic activity in one percent over ten months.

A methodology to gauge financial contagion occurring during 1990-2013 for six Latin American Countries is suggested. Furthermore, a proposal to identify and evaluate the main channels of financial contagion for such countries is performed. The outcome of the tests shows that the behavior of foreign investors is the main channel of contagion, followed by the strength of countries' fundamentals and trade links. By maintaining the main macro variables in a healthy position do not inhibit but rather alleviate the financial contagion throughout the countries.

ÍNDICE

Introducción	6
I. Una medida de estrés financiero para México.....	14
1. <i>Introducción</i>	14
2. <i>Descripción del problema, objetivos y justificación.....</i>	17
3. <i>La construcción del índice de estrés financiero:.....</i>	22
3.1 <i>La selección de las variables financieras</i>	22
3.2 <i>La conformación de las variables en un solo índice</i>	29
4. <i>El desempeño de la medida de estrés financiero.....</i>	41
5. <i>La medida de estrés financiero y las crisis financieras.....</i>	59
6. <i>El poder predictivo de las medidas de estrés</i>	62
7. <i>El vínculo entre la medida de estrés financiero y la actividad económica.....</i>	67
8. <i>Conclusiones</i>	77
II. Mecanismos de transmisión del estrés financiero.....	80
1. <i>Introducción</i>	80
2. <i>La transmisión de perturbaciones entre países: evidencia de contagio.....</i>	83
3. <i>La identificación de los canales de contagio.....</i>	102
3.1 <i>Debilidades en los fundamentales macroeconómicos.....</i>	105
3.2 <i>Vínculos comerciales y financieros</i>	107
3.3 <i>El comportamiento de los inversionistas</i>	108
4. <i>Comparación de los canales de contagio.....</i>	111
4.1 <i>Tablas de contingencia.....</i>	111
4.2 <i>Regresiones logit</i>	115
5. <i>Conclusiones</i>	120

Introducción

El estrés financiero se puede entender como la fuerza ejercida sobre los agentes económicos por la incertidumbre y las expectativas de los inversionistas sobre pérdidas en el valor de los activos financieros, es una variable no observable.

Desafortunadamente nuestro país ha vivido numerosos episodios de crisis financieras y económicas en las últimas cuatro décadas. En muchas ocasiones perturbaciones externas o internas han expuesto vulnerabilidades en el sistema financiero que una vez que éste ha sido afectado, ha retroalimentado y exacerbado el impacto de esa perturbación hacia la actividad económica. De aquí que es de trascendental importancia para un país identificar oportunamente algún desequilibrio que se esté gestando en el sistema financiero, así como también cuantificar la magnitud y duración de las situaciones de tensión para alertar de situaciones que puedan poner en peligro la estabilidad financiera y convertirse en una crisis.

No obstante que existe una abundante literatura sobre crisis financieras y su propagación hacia otras economías, hasta antes de 2006 casi la totalidad de los artículos de investigación sobre las crisis las analizaron como eventos binarios (ocurre / no ocurre) y además su identificación estaba sujeta a la discreción del autor, restando importancia a su magnitud.¹ Tampoco se le ha dado importancia a la duración y el alcance de cada periodo

¹Leaven y Valencia (2008) realizan una interesante recopilación del tipo de literatura comentada.

de tensión. Pareciera que los estudios previos habían desaprovechado la información que los mercados financieros proveen para cuantificar la magnitud de los periodos de estrés.²

La investigación sobre índices de estrés financiero surgió apenas en años recientes. El artículo germinal de Illing y Liu (2006) propone una metodología para construir una medida de estrés financiero para Canadá, utilizando diferentes técnicas de agregación de variables financieras. Posteriormente, a raíz de la crisis financiera global de 2008 el Fondo Monetario Internacional propuso una metodología para medir el estrés financiero en economías desarrolladas, utilizando siete variables financieras. Un año después, el mismo organismo propuso una serie de medidas de estrés para las economías emergentes (entre ellas México) con la misma metodología utilizadas para las economías desarrolladas, aunque para su elaboración se usaron pocas variables con el objeto de hacerlo comparable con otras economías.

El primer capítulo de esta tesis tiene como objetivo principal desarrollar un marco conceptual para construir una medida única y continua de estrés en el sistema financiero mexicano. La justificación para calcular esta medida para el país ha sido el desarrollo de los mercados financieros en México a partir del año 2000, que ha generado una masa crítica de información financiera en todos los mercados financieros (accionario, de deuda, cambiario y de derivados) que permite calcular una medida mucho más completa que la elaborada por el FMI y además adaptada a la realidad del sistema financiero mexicano.

² En la medida en que los mercados financieros como el mexicano alcanzan cierto nivel de desarrollo, las señales que arrojan sus precios son valiosas para identificar y cuantificar situaciones de estrés, ya que los precios de los activos financieros reflejan la información disponible que afecta el valor de esos activos. Otra gran virtud de los mercados radica en su pronta respuesta ante cualquier noticia o evento relevante que pueda afectar el valor de los activos.

La elaboración del índice de estrés financiero involucra muchas tareas, tales como la selección de las variables financieras con base en un criterio de relevancia y de profundidad en el mercado de donde provienen, la metodología para la conformación de las variables en un solo índice, así como la evaluación del desempeño de la medida ante los episodios de tensión más conocidos. En particular, en la conformación de las variables financieras en un solo índice se explican las bondades de Componentes Principales, una técnica de análisis multivariado introducida por Pearson (1901) y Hotelling (1933). La idea central de este procedimiento es reducir la dimensión de un conjunto de variables que presumiblemente se encuentran interrelacionadas, reteniendo la mayor variación común posible y presente en los datos, de manera que a esa variación común es la que se denomina estrés financiero. La relación del estrés financiero con la variación común de las variables financieras se basa en el hecho empírico evidenciado en gran parte de las crisis financieras que muestran un aumento en la correlación de las variables financieras durante periodos de tensión o estrés (Claessens et al. 2001) . Además, la medida de estrés financiero de componentes principales es muy flexible ya que permite su descomposición por tipo de componente de riesgo para una mejor identificación de la fuente de riesgo que se esté gestando.

La falta de información de todos los mercados para un periodo suficientemente largo que capture los periodos de fuerte turbulencia financiera de la década de los ochenta nos obliga a construir cuatro medidas de estrés dependiendo de los datos disponibles. Dichas medidas de estrés identifican satisfactoriamente los eventos de tensión más conocidos en México, desde las devaluaciones de 1976, de 1982, 1994, la nacionalización y privatización de la banca, el incumplimiento soberano de 1982, entre otros. Por ejemplo, la medida más

histórica identifica la devaluación de 1982 como el evento más estresante en la historia de México (100 por ciento de estrés), aunque su duración fue relativamente corta. El periodo del prolongado periodo de turbulencia de 1986 a 1988 generó un 70 por ciento de estrés, mismo nivel que el registrado durante la denominada Crisis Tequila de 1994, no obstante que su duración fue corta (un año aproximadamente). En contraste, la crisis global de 2008 generó niveles de estrés de apenas un 20 por ciento en México, en comparación con los periodos altamente estresantes ya comentados.

Asimismo, se establece una metodología para clasificar cualitativamente en varias categorías (no estresante, moderadamente estresante, estresante, altamente estresante y críticamente estresante) de cada uno de los eventos comúnmente conocidos de estrés (tanto internos como externos) de acuerdo con nuestra medida de estrés. De esta forma se establece, por ejemplo, que los desequilibrios financieros de 1976, 1982, 1988 y 1994 y originados internamente generaron niveles de estrés críticos, mientras que la crisis asiática de 1998 generó un nivel de estrés moderado en México, pero el incumplimiento de Rusia y la crisis de confianza hacia Brasil generaron niveles de estrés en México promedio, al igual que la crisis global de 2008. La crisis de deuda en los países de la periferia europea generó niveles de estrés moderados en México.

La versatilidad de la medida de estrés hace ‘tentador’ pensar que dicha medida podría ser útil para pronosticar crisis financieras. La intuición diría que no servirá para tal propósito en vista que la medida de estrés se compone de variables que en general cuentan con un pobre poder predictivo (muchas de ellas presentan raíces unitarias). Las pruebas de pronóstico usando un modelo ARMA-GARCH confirman lo anterior, resultando intervalos

de confianza muy amplios y que crecen rápidamente con el horizonte de tiempo. Se concluye entonces que nuestra medida de estrés es más útil como una herramienta coyuntural que como medida de pronóstico, con base en el modelo de pronóstico utilizado.

Una vez que se cuenta con la medida de estrés, el segundo objetivo principal de este capítulo es estudiar si los episodios identificados como de fuerte tensión financiera pueden afectar los niveles de actividad económica. La intermediación crediticia, una de las principales impulsoras de crecimiento económico, puede verse interrumpida por episodios de tensión en el sistema financiero. Relacionando ambas variables se observa una fuerte relación negativa entre la medida de estrés y el nivel de actividad económica. Yendo más allá de la idea anterior, se busca establecer la existencia o no de una relación causal entre ambas variables, es decir si mayores niveles de estrés generan un impacto negativo en la actividad económica o viceversa. Los resultados de las pruebas de causalidad muestran que en efecto existe una relación causal. Una vez establecida dicha relación, se cuantifica su impacto a través de pruebas de impulso-respuesta, que una vez realizadas indican que un aumento en el estrés de una desviación estándar (alrededor de 12 puntos porcentuales en el estrés desde su valor medio), genera una caída en la actividad económica de alrededor de uno por ciento en el transcurso de diez meses.

En el apartado anterior se estableció una metodología para medir el estrés en el sistema financiero mexicano, sus componentes, su predictibilidad y su relación con el ciclo económico, pero no se dijo nada sobre los mecanismos que conllevan a que se genere dicha tensión. Evaluar dichos mecanismos o canales de transmisión del estrés financiero es muy importante para la estabilidad financiera, ya que en la medida que se conozcan los canales

se podría diseñar una política que atenúe el efecto negativo que podría tener una perturbación sobre el sistema financiero y que pudieran desencadenar una crisis. Por ejemplo, es importante saber si a una economía le conviene mantener fundamentales sólidos o ser prudente en el manejo de la política económica para evitar o atenuar la transmisión de perturbaciones externas hacia el sistema financiero local.

Usando a seis economías latinoamericanas como referencia, el segundo capítulo de esta tesis tiene como objetivo determinar cuáles fueron los principales canales de transmisión de tensión financiera hacia dichas economías, para el periodo de 1990 a 2013. En particular, se evalúa si los episodios turbulentos originados en 2008 en los EEUU, en 2010 en algunas economías europeas y en los noventa en algunos países latinoamericanos como Argentina, México y Brasil fueron transmitidos hacia las otras economías de la región analizadas, así como los factores que coadyuvaron o no a dicha transmisión.

Para responder la interrogante anterior, esta investigación toma dos enfoques. El primero se basa en la definición que se va a utilizar del contagio financiero, entendido este como *“un aumento significativo de los vínculos entre los mercados después de que ocurre una perturbación o choque en un país”*.³ Bajo esta definición, si dos mercados accionarios mantienen una estrecha relación en periodos de estabilidad y turbulentos, lo anterior no es contagio, sino de la interrelación que existe entre los mercados de los países. La definición anterior proporciona un marco sencillo para evaluar el contagio, basta con comparar la correlación entre dos mercados accionarios durante periodos estables y turbulentos, de manera que el contagio se produciría cuando se observa un aumento significativo entre los

³ Forbes y Rigobon (2002)

vínculos de los mercados entre países después un periodo turbulento. Sin embargo, la medida de correlación entre mercados está condicionada a la volatilidad del mercado, es decir, durante los periodos de mayor volatilidad la estimación de la correlación está sesgada al alza, es decir, a detectar contagio cuando realmente no lo hay.

El primer enfoque utiliza el ajuste por heterocedasticidad propuesto por Forbes y Rigobon (2002) a la medida de correlación de los rendimientos de los mercados accionarios de los EEUU y de Europa con los de los seis países de América Latina analizados, así como en economías latinoamericanas que fueron origen de fuertes perturbaciones durante el periodo 1990-2013. Los resultados de las estimaciones encuentran evidencia estadística de contagio al 95 por ciento para Argentina, Brasil, Chile, México y Perú durante periodos de estrés en los EEUU, así como para Brasil, Chile, México y Perú cuando Europa registró periodos turbulentos. Por otro lado, los episodios de tensión en México generaron contagio con Argentina, Colombia y Perú, mientras que los de Argentina y Brasil no, con un nivel de confianza del 95 por ciento.

El segundo enfoque de este capítulo tiene que ver con cuantificar y determinar los principales canales de contagio de una economía hacia otra. En un principio se pensaba que una perturbación de un país se transmitía hacia economías con vulnerabilidades internas. Los vínculos comerciales y financieros de una economía en tensión pueden transmitir ese estrés a su socio comercial o financiero. Factores externos al país como la conducta de los inversionistas internacionales también puede incidir en el contagio. Diversos estudios han buscado dicho objetivo pero los problemas de medición de los canales de contagio y para obtener información histórica lo suficientemente completa han sido un obstáculo para dar

una respuesta definitiva sobre este punto. Siguiendo la metodología propuesta por (Collins y Gavron, 2004), en este apartado se hace un esfuerzo para identificar los canales de transmisión del contagio de los países latinoamericanos estudiados. Como se comentó arriba, conocer dichos mecanismos de transmisión podría ayudar a diseñar medidas de política que atenúen los efectos dañinos del contagio al sistema financiero.

Los canales de contagio fueron medidos y evaluados usando dos metodologías: las tablas de contingencia y las regresiones logit. Las tablas de contingencia son herramientas útiles para evaluar si existe independencia o no de características cualitativas de pares de variables, por ejemplo, ocurrencia o no del contagio con fortalezas o debilidades macroeconómicas de los países. Los resultados de las tablas anteriores muestran que los fundamentales económicos y los flujos de capitales desde economías desarrolladas hacia las economías latinoamericanas estudiadas, están relacionadas con el contagio financiero, con un nivel de confianza de 95 por ciento, para el periodo 1990-2013. En contraste, los vínculos comerciales y financieros no resultaron significativos al 95 por ciento de confianza. Por otro lado, las regresiones logit sugieren que existen canales de contagio en los mercados accionarios que son relevantes: el comportamiento de los inversionistas, y en menor medida, los fundamentales macroeconómicos y vínculos comerciales. Es decir, cuando los inversionistas globales perciben una situación exógena como estresante para la región latinoamericana, estos tienden a generar contagio en los mercados accionarios de la región, no obstante que los países con buenos fundamentales atenúan en parte dicho efecto de contagio. Por último, los resultados sugieren que, ningún canal de contagio por sí solo causa el contagio financiero, sino es la combinación de los canales que resultaron relevantes los responsables del contagio para los países estudiados.

I. Una medida de estrés financiero para México

1. Introducción

La literatura sobre indicadores de tensión o estrés es reciente y relativamente escasa. Las definiciones de estrés financiero encontradas en la literatura son muy generales porque buscan abarcar un amplio espectro de situaciones comúnmente identificadas y aceptadas a través de la historia financiera como periodos de dificultad. Por ejemplo, Hakkio y Keeton (2009) definen el estrés financiero como *“la interrupción del funcionamiento normal de los mercados financieros”*. Balakrishnan, Danninger, y Tytell. (2009) definen el estrés financiero como *“un periodo cuando el sistema financiero está bajo tensión y su capacidad para intermediar se encuentra deteriorada”*.

Illing y Liu (2006) proponen la siguiente definición: *“El estrés financiero se puede entender como la fuerza ejercida sobre los agentes económicos por la incertidumbre y las expectativas de los inversionistas sobre pérdidas en el valor de los activos negociados en los mercados financieros. Es una variable continua, en donde sus valores extremos se les denomina crisis financieras”*. La definición anterior es más específica, en el sentido que da una explicación de la “tensión” que sufren los agentes financieros.

Es interesante la relación que hacen los autores entre el estrés financiero y las crisis financieras, esto es, donde situaciones muy estresantes pueden desencadenar episodios de crisis financieras. En estudios más recientes como el de Holló, *et al.* (2012) hablan de

riesgo sistémico, definidos por ellos como *“el riesgo que la inestabilidad financiera se vuelva tan extendido que afecte el funcionamiento del sistema financiero, al extremo en que el crecimiento económico y el bienestar se vean afectados”*. Incluso en círculos políticos internacionales⁴ la definición de riesgo sistémico es muy similar a la de estrés: *“es el riesgo de una disrupción en los servicios financieros que es causado por una incapacidad total o parcial del sistema financiero y que tiene el potencial de generar consecuencias negativas para la economía real”*.

En suma, la mayoría de las definiciones de estrés financiero reportadas en la literatura son generales porque buscan abarcar un amplio espectro de situaciones que se puedan considerar como tensionantes, pero todas van en el mismo sentido. La definición que se utilizará en la presente investigación es más acorde con la más general propuesta por Hakkio y Keeton, ya que va en línea con la idea que no todas las situaciones de tensión derivan en una crisis financiera. Es importante considerar a una crisis financiera como lo proponen Illing y Liu, en el sentido que una crisis financiera es una condición extrema de tensión en los mercados financieros que logra interrumpir la labor de intermediación de recursos del sistema financiero.

Una vez definida una situación de estrés financiera, es importante comentar sobre los aspectos que diversos autores han encontrado que están relacionados con situaciones de tensión financiera. Claessens, Dornbush y Park (2001) identificaron diferentes fenómenos asociados con el estrés tales como grandes cambios en los precios de los activos, repentinos aumentos en la incertidumbre o el riesgo, desaparición de la liquidez en los mercados,

⁴ Banco de Pagos Internacionales, Comité de Estabilidad Financiera y Fondo Monetario Internacional (2009).

preocupación sobre la salud del sistema bancario, entre otros. Los autores agruparon a dichos patrones en dos categorías: factores fundamentales y el comportamiento de los inversionistas. Algunas veces el estrés se origina en el exterior y otras localmente. El Cuadro 1 precisa cuáles los factores o causas que explican el estrés financiero.⁵

Cuadro 1

Fundamentos de la transmisión del estrés o tensión financiera

Causas fundamentales

- a. Perturbaciones comunes: fuertes perturbaciones en economías avanzadas, en los precios de las materias primas o de los *commodities* que son una fuente importante de la economía de un país, cambio en la fase monetaria de una economía importante, que se traduce en cambios en las tasas de interés de referencia en el mundo (Calvo y Reinhart, 1996).
- b. Vínculos comerciales: cuando una crisis provoca una fuerte perturbación económica en un país, los inversionistas anticipan una caída en las exportaciones hacia el país afectado por la crisis, y por ende un deterioro en su balanza comercial, provocando salidas de capital, deterioro en los precios de los activos y del tipo de cambio (Corsetti y Roubini, 1998).
- c. Vínculos financieros: la integración de una economía al mercado mundial incrementa los vínculos comerciales y financieros con el resto del mundo. La crisis financiera de un país puede tener efectos financieros directos a otros países, tales como caídas en el crédito transfronterizo o en la inversión extranjera (directa y de portafolio).

Comportamiento de los inversionistas

- a. Liquidez y problemas de incentivos: representa una tendencia de vender activos riesgosos en diferentes mercados al mismo tiempo en respuesta a una perturbación (vuelo hacia la calidad). Por ejemplo, el deterioro en el valor de los activos y del tipo de cambio de una economía emergente puede inducir a que los inversionistas institucionales como los fondos mutuos y de cobertura abiertos vendan activos en otras economías emergentes con la finalidad de tener liquidez para enfrentar las liquidaciones o amortizaciones de los fondos. También si un banco que otorga financiamiento a un mismo grupo de países enfrenta un deterioro en la calidad de la cartera de un país, puede decidir reducir su exposición hacia otras economías similares (relación entre el VaR y el rebalanceo de un portafolio, Schinasi y Smith, 2001).
- b. Asimetrías de información: en periodos de mayor incertidumbre los inversionistas suelen otorgar más peso a la nueva información que a la información fundamental. Entonces, en ausencia de información confiable, al difundirse una noticia sobre la crisis en un país, los inversionistas consideran que otros países pueden enfrentar dificultades, sobre todo cuando la información es costosa de obtener. Los inversionistas menos informados preferirán seguir las acciones de los inversionistas mejor informados, provocando un comportamiento de manada que puede derivar en salidas abruptas de capital y fuertes fluctuaciones en los precios de los activos financieros.
- c. Cambios en las reglas del juego: ocurre cuando los inversionistas cambian sus creencias acerca de las reglas que conducen la arquitectura financiera internacional. Por ejemplo, el

⁵Claessens, Dornbush y Park (2001) utilizan esta clasificación para el contagio financiero, que se puede extrapolar fácilmente para el estrés financiero.

potencial incumplimiento de la deuda soberana griega de 2010 generó preocupaciones sobre la posibilidad que los países europeos o el FMI no cuenten con la capacidad de rescatar a Grecia y a otras economías europeas. También, el quebranto de Lehman Brothers generó mucha incertidumbre sobre la solvencia del sector financiero estadounidense al romperse una creencia en el medio financiero que no se dejaría quebrar a una institución financiera.

En resumen, el origen del estrés en el sistema financiero proviene de diversas fuentes y resulta entonces de gran importancia tratar de cuantificar el estrés financiero en una sola medida que tome en cuenta la información que las variables financieras comparten en común, en vista que cada variable puede ser perturbada por diferentes canales de estrés financiero como los descritos arriba. Un instrumentador de política se vería beneficiado de evaluar, en una sola medida, las condiciones que persisten en el sistema financiero, y si se llegara a detectar una situación de preocupación en algún sector, poder descomponerlo en sus componentes para su estudio a detalle.

2. Descripción del problema, objetivos y justificación

La literatura sobre índices de estrés financiero surgió apenas recientemente. El artículo germinal de Illing y Liu (2006) desarrollaron una metodología para construir un índice de estrés diario para Canadá. La agregación de las variables se realizó linealmente y de acuerdo con la importancia del mercado al que pertenezca cada variable en la economía. A partir de esta investigación han surgido muchos estudios sobre el estrés financiero. Cardarelli, Elekdag y Lall (2009) construyeron un índice mensual de estrés financiero para 17 economías avanzadas agregando las variables linealmente y otorgando pesos iguales a

cada variable financiera. El Banco Central Europeo (2009) desarrolló un índice global de turbulencia financiera (GIFT) para 29 economías utilizando variables del mercado de deuda, el accionario y el cambiario. El índice es lineal y le otorga el mismo peso a las variables, para posteriormente realizar una transformación logística de los datos.⁶ Lo Duca y Peltonen (2011) construyeron índices de estrés parsimonios para 10 economías avanzadas y 18 emergentes tomando el promedio simple de las variables financieras transformadas a percentiles de las distribuciones empíricas. Nelson y Perli (2007) de la Reserva Federal de los EEUU presentaron un índice semanal de fragilidad financiera para los EEUU calculado en dos etapas. En la primera etapa se reducen las variables tomando promedio simples en tres subíndices: los niveles de las variables, sus cambios y sus correlaciones. En la segunda etapa se calcula el índice como una probabilidad ajustada con un modelo logit con los tres subíndices como variables explicativas. Blix y Grimaldi (2010) calcularon un índice similar para 16 países de la zona euro. Hakkio y Keeton (2009) construyeron un índice de estrés mensual denominado KCFSI aplicando la técnica de componentes principales. La idea detrás de esta metodología radica en que el estrés financiero es el factor responsable de la correlación observada entre las variables financieras, y este factor se identifica a través del primer componente principal de la matriz de correlaciones de los valores estandarizados. Los pesos del índice vienen dados por los valores del primer eigenvector. Aplicando la misma metodología, Kliesen y Smith (2010) agregaron 18 variables semanales de los mercados estadounidenses para construir el STFSI. Brave y Butters (2011a, 2011b) construyeron un indicador semestral que incluye 100 indicadores y utiliza un modelo de

⁶ La transformación logística convierte una escala lineal en una medida de probabilidad utilizando la función de probabilidad logística.

factores dinámicos.⁷ Van Roye (2011) utiliza un enfoque similar para construir un índice de estrés en Alemania. Oet *et al.* desarrollaron un índice diario de estrés financiero denominado CFSI en donde las variables en bruto se transforman en su valor correspondiente de su distribución empírica. Las variables se agregan utilizando pesos que reflejen la importancia de cada sector. Al igual que Illing y Liu (2006) este esquema de pesos surge como la especificación preferida en comparación con otras. Louzis y Vouldis (2011) construyeron un índice de estrés para Grecia que agrega a las variables en subíndices basados en principios de teoría de portafolios, es decir, tomando en cuenta las correlaciones cruzadas tras estimar un modelo GARCH multivariado. Los subíndices se construyen con componentes principales y se normalizaron utilizando una transformación logística. Holló, Kremer y Lo-Luca (2012) desarrollaron un índice de estrés para Europa, denominado CISS considerando también principios de teoría de portafolios y en donde la agregación toma en cuenta pesos dinámicos, es decir, se da más peso a situaciones en donde el estrés prevalece en los mercados financieros.

Los índices generales que han surgido a partir de 2006 se han adaptado a las características de los países para los que se han calculado, es decir para los países desarrollados.⁸ Además, aunque existe una investigación que calcula medidas de estrés para países emergentes, el artículo calcula las medidas utilizando sólo cinco variables con el fin de ser parsimonioso y abarcar muchos países, entre ellos México.⁹ Una justificación para calcular una medida más incluyente o completa para el país ha sido el desarrollo de los

⁷ Los modelos de factores dinámicos se han vuelto muy populares en la macroeconomía porque son útiles cuando hay muchas variables y pocos grados de libertad, eliminan el error de medida y no requieren suponer nada sobre la estructura de dependencia de las variables, como en los modelos VAR. Ver Breitung y Eickmeier (2005).

⁸ Illing y Liu (2006), Hakkio y Keeton (2009), Cardarelli, Elekdag y Lall (2009).

⁹ Balakrishnan, Danniger, Elekdag y Tytell (2009).

mercados financieros en México a partir del año 2000, lo que ha generado una masa crítica de información financiera que permite cumplir con el objetivo del presente trabajo.

El objetivo principal de este capítulo es desarrollar un marco conceptual para construir una medida única y continua de estrés en el sistema financiero mexicano. Se podría pensar que resulta muy ambicioso caracterizar en una sola medida algo tan complejo y con tantas aristas como lo es el estrés financiero. Sin embargo, una característica común de los episodios de estrés financiero a través de la historia es que se observa un aumento en la relación común que mantienen las variables financieras.¹⁰ La técnica de análisis multivariado denominada Componentes Principales será de gran utilidad, ya que justamente está diseñada para ello. La idea central de este procedimiento es reducir la dimensión de un conjunto de variables que presumiblemente se encuentran interrelacionadas, maximizando la mayor variación común presente en los datos, de manera que a esa variación común se asocia con el estrés financiero. La medida que se construye aquí es además lo suficientemente flexible para permitir un análisis “de arriba hacia abajo”, es decir, permite descomponer las causas del estrés financiero en cada uno de sus componentes y así facilitar la ubicación del estrés en un mercado o una variable en particular.

Una buena medida de estrés es confiable si es capaz de identificar periodos bien conocidos de estrés, por lo que se evaluará la capacidad del índice de estrés para identificar

¹⁰ En un estudio de las crisis financieras de los últimos 800 años, Reinhart y Rogoff (2008) encontraron que los periodos de crisis están relacionados con las siguientes variables financieras: los diferenciales crediticios soberanos y bancarios aumentan, el tipo de cambio se deprecia, la inflación aumenta, los precios de algunos activos aumentan lejos de sus fundamentales, se observan fuertes entradas de capital que luego se revierten, los precios de las materias primas caen súbitamente, perturbaciones de los principales centros internacionales, entre otros. Los autores encontraron que durante los periodos de crisis, gran parte de las variables identificadas arriba reaccionan de manera simultánea o conjunta con las demás.

dichos episodios. Un objetivo secundario de este capítulo es establecer una metodología para clasificar cualitativamente en varias categorías (no estresante, moderadamente estresante, estresante, altamente estresante y críticamente estresante) cada uno de los eventos comúnmente conocidos de estrés (tanto internos como externos) de acuerdo con nuestra medida de estrés. De esta forma se evaluará la eficacia de dicha medida para identificar adecuadamente los periodos de tensión.

Dentro de las aplicaciones de la medida de estrés, otro objetivo secundario de este capítulo es evaluar sus capacidades predictivas para pronosticar crisis financieras, a través de un modelo de pronóstico de series de tiempo, utilizando el índice de estrés como insumo. La intuición diría que no servirá para tal propósito en vista que la medida de estrés se compone de variables que en general cuentan con un pobre poder predictivo, pero si fuera útil para ese propósito, sería de gran utilidad para el diseño de política.

La literatura sobre el papel del desarrollo del sistema financiero en el crecimiento económico ha encontrado evidencia lo suficientemente sólida que soporta una relación positiva entre el desarrollo del sistema financiero y el crecimiento económico, y por lo tanto es importante apoyar medidas de política encaminadas a mantener la estabilidad financiera.¹¹ En la presente investigación también persigue como objetivo primario estudiar la relación que pueda existir entre las situaciones de tensión en el sistema financiero y la actividad económica. La motivación sobre este punto proviene de los favorables resultados que encontraron Hakkio y Keeton (2009) para el caso de la economía de los EEUU, en

¹¹El libro de Demirgüç-Kunt y Levine (2004) presenta una completa recopilación de los estudios sobre este tema, que en su gran mayoría encuentran una estrecha relación entre el desarrollo del sistema financiero y el crecimiento económico.

donde encontraron que la actividad económica se puede ver afectada cuando el sistema financiero vive momentos de tensión.

3. La construcción del índice de estrés financiero:

3.1 La selección de las variables financieras

Los criterios para la selección de variables fueron los siguientes: (i) deben representar una o más características del estrés financiero que se comentaron en el Cuadro 1 descrito anteriormente; (ii) deben cubrir a los principales mercados financieros y sus participantes, adaptándose a las características del sistema financiero mexicano; (iii) cada variable debe estar disponible lo más periódica e históricamente posible con la finalidad de que capture episodios pasados de estrés. En el Cuadro 2 se presenta una descripción detallada de las 30 variables que se utilizaron para calcular los índices de estrés del sistema financiero (IESF). La justificación del uso de estas variables se explica por su uso como medidas de estrés en otros estudios así como por su importancia particular como medida de tensión en México. Por ejemplo, las medidas de estrés de los EEUU no utilizan el tipo de cambio ni las reservas internacionales como medida de estrés, cuando en economías emergentes como México es uno de las principales señales de tensión financiera. En fechas recientes es también relevante considerar la tenencia de extranjeros de bonos emitidos por el gobierno localmente, ya que en una situación de estrés dichos inversionistas podrían vender sus posiciones de bonos y generar mucha volatilidad en los mercados de deuda y cambiario.

Los estudios sobre estrés financiero utilizan gran parte de las variables que componen nuestra medida de estrés, no obstante que existen algunas variables que no se encuentran disponibles en México, algunas porque no hay información y otras porque simplemente no existe un mercado para esos activos financieros. Por ejemplo, para la construcción del índice de estrés de los EEUU, Hakkio y Keeton (2009) utilizan 11 variables, cinco de las cuales no se utilizan en la medida de estrés para México por las razones anteriores, tales como el diferencial entre los bonos soberanos recién emitidos contra los bonos ya emitidos del mismo plazo, el diferencial entre las bursatilizaciones y los bonos del tesoro y la dispersión de los rendimientos de precios de las acciones de los bancos. De la misma forma, el índice de estrés para los EEUU que produce la Reserva Federal de San Luis utiliza 18 variables, 14 de las cuales existen en México y 4 no se producen en México, tales como una medida del rendimiento de los fondos cotizados financieros, la volatilidad implícita de las opciones de bonos soberanos, el diferencial entre la tasa interbancaria LIBOR y las operaciones de swap a un día (OIS por sus siglas en inglés).

Desafortunadamente muchas de las variables no cuentan con la historia ni la periodicidad suficiente como sería deseable. Por lo anterior, se decidió construir varios índices de estrés, dependiendo de la disponibilidad histórica de la información. Los primeros cuatro Índices de Estrés del Sistema Financiero Mensuales Históricos (IESFMH) cuentan con una periodicidad mensual, y gracias a ello abarcan los periodos de crisis sufridos en México.

Los IESFMH calculados comienzan a partir de 1975, 1980, 1990 y 2000 y conforme son más recientes estos incluyen más variables. Además, se calcula una medida de estrés que

comienza a partir de 2005 y cuenta con una periodicidad semanal, (el Índice de Estrés del Sistema Financiero Semanal, IESFMS), suficiente para ser una medida oportuna de estrés. Dicho índice incluye un nutrido número de variables para cada mercado financiero analizado, pero su corta historia sólo le permite capturar dos periodos importantes de estrés, la crisis de 2008 y la crisis de deuda soberana en Europa.

La fuente de información de las variables financieras proviene de diversas fuentes. Las del mercado cambiario y accionario provienen de Bloomberg y Banco de México, las del mercado de deuda provienen de Valmer y Banco de México, así como también las del mercado de derivados. Las variables de instituciones bancarias provienen de Banco de México y la CNBV mientras que las de riesgo país provienen de Bloomberg.

Es importante señalar que todas las variables incluidas tanto en los índices históricos como en el índice semanal son t-medibles, es decir, todas las variables se observan en el mismo periodo de tiempo y sin rezagos. Por ejemplo, en esta semana o mes se cuenta con la información actualizada de las variables de la semana o mes anterior.

Cuadro 2
VARIABLES INCLUIDAS EN LOS ÍNDICES DE ESTRÉS PARA EL SISTEMA FINANCIERO MEXICANO (IESF)

Categoría	Variable	Descripción (unidad)	Justificación	Inicia	H1	H2	H3	H4	IESFS
Mercado cambiario	crec_mxnusd	Depreciación anual del tipo de cambio (%)	En una economía deudora neta con el exterior una depreciación genera mayor endeudamiento y mayor estrés	1955	✓	✓	✓	✓	✓
	vola_mxnusd	Volatilidad de los rendimientos del TC (%)	A mayor volatilidad en el tipo de cambio, mayor estrés financiero	1955	✓	✓	✓	✓	✓
	dres3m_m2	Flujo trimestral de las reservas internacionales (millones de dólares)	Cuando el país enfrenta una corrida de capitales, reduce sus reservas internacionales para proteger su divisa de una fuerte depreciación	1970	✓	✓	✓	✓	✓
	sprd_mxnusd	Diferencial entre la cotización diaria máxima y mínima del TC interbancario (pb)	A mayor diferencial, mayor volatilidad en el mercado cambiario y mayor estrés	1989			✓	✓	✓
	vimplic_tc3m	Volatilidad implícita en las opciones sobre el peso dólar a un mes "en el dinero" (%)	A mayor volatilidad implícita, mayor tensión en el mercado cambiario y mayor estrés	1999				✓	✓
Mercado de deuda	cetes3m	Tasa de interés del Gobierno Federal a 3 meses (%)	A mayor tasa de interés soberana, mayores tasas a los agentes económicos y mayor estrés	1978		✓	✓	✓	✓
	vola_cetes3m	Volatilidad en los cambios en la tasa de los Cetes (%)	A mayor volatilidad en las tasas de interés, mayor estrés financiero	1978		✓	✓	✓	✓
	m10	Tasa de interés fija en pesos gubernamental a 10 años (%)	A mayor tasa de interés soberana, mayores tasas a los agentes económicos y mayor estrés	2000				✓	✓
	vola_m10	Volatilidad en los cambios en la tasa del bono a 10 años (%)	A mayor volatilidad en las tasas de interés, mayor estrés financiero	2000				✓	✓
	pend_gub	Diferencia entre el bono soberano de 10 años y el de 3 meses (pb)	A menor diferencia, mayor expectativa de recesión económica y mayor estrés financiero	2000				✓	✓
	inpli_10a	Diferencia entre el bono gubernamental a 10 años en pesos y en udis (%)	Arroja la expectativa de inflación de los inversionistas en el mercado de bonos, a mayor inflación, mayor estrés financiero	2000				✓	✓
	sprd_sup	Diferencia entre la tasa de rendimiento de la deuda corporativa AAA-AA menos la TIIE	A mayor diferencial, mayor incertidumbre sobre las empresas bien calificadas y por tanto mayor estrés financiero	2000				✓	✓
	sprd_inf	Diferencia entre la tasa de rendimiento de la deuda corporativa A-C menos la TIIE	A mayor diferencial, mayor incertidumbre sobre las empresas mal calificadas y por tanto mayor estrés financiero	2000				✓	✓

Categoría	Variable	Descripción (unidad)	Justificación	Inicia	H1	H2	H3	H4	IESFM
Mercado accionario	rendr_ipc	Rendimiento anual del principal índice accionario de la BMV, el IPC (%)	Las acciones son el activo riesgoso por excelencia. Cuando cae el índice accionario, se observa un mayor estrés financiero	1980	✓	✓	✓	✓	✓
	vola_ipc	Volatilidad de los rendimientos del IPC (%)	A mayor volatilidad en el IPC, mayor estrés financiero	1980	✓	✓	✓	✓	✓
	accsf_ipc	Razón del subíndice de servicios financieros vs IPC (sin unidad)	Una mayor caída en el valor de las acciones de las empresas financieras en relación al total se traduce en un mayor estrés financiero	1981	✓	✓	✓	✓	✓
	vimex	Volatilidad implícita en las opciones sobre el IPC a un mes "en el dinero" (%)	A mayor volatilidad implícita, mayor tensión en el mercado cambiario y mayor estrés	2005					✓
	sprd_nafrac	Diferencial compra/venta en las operaciones del trac del IPC, el Nafrac (centavos)	Cuando un mercado carece de liquidez, los diferenciales de compra y venta se incrementan y se genera mayor estrés en los mercados	2003					✓
Mercado de derivados	pne_futmxn	Posición neta de las operaciones no comerciales en los futuros del peso-dólar negociados en la bolsa de derivados de Chicago (miles de contratos)	Indicador que arroja las perspectivas del mercado de futuros sobre el peso mexicano. Cuando la posición se reduce o si se hace negativa, existen mayores expectativas sobre una depreciación del peso y se genera mayor estrés financiero	2004					✓
	swapito	Diferencial entre la tasa implícita en dólares a un día y la tasa Libor a un día en las operaciones cambiarias (pb)	Cuando existe una escasez de dólares en la economía la tasa implícita en dólares se incrementa, reflejando mayor estrés en el mercado cambiario	2005					✓
	liborfwd1m	Diferencial entre la tasa implícita en dólares de las operaciones de forward cambiarios a 1 mes y la libor (pb)	Cuando la tasa implícita se desvía de la tasa teórica (se incrementa la base), los mercados de forward no están arbitrando adecuadamente y se genera estrés financiero	2005					✓
	liborswap3m	Diferencial entre la tasa implícita en dólares de las operaciones de swap cambiarios a 3 meses y la libor (pb)	Cuando la tasa implícita se desvía de la tasa teórica (se incrementa la base), los mercados de swap no están arbitrando adecuadamente y se genera estrés financiero	2005					✓

Categoría	Variable	Descripción (unidad)	Justificación	Inicia	H1	H2	H3	H4	IESFS
Instituciones bancarias	cpp	Costo del dinero en pesos de las instituciones bancarias (%)	A mayor costo de fondeo de los bancos, mayor es el costo del dinero para los nuevos deudores y mayor estrés se genera en la economía	1975	✓	✓	✓	✓	✓
	vola_cpp	Volatilidad de los cambios en la tasa CPP (%)	A mayor volatilidad en la tasa CPP, se genera mayor estrés financiero	1975	✓	✓	✓	✓	✓
	cr_creditob	Tasa de crecimiento real anual del crédito bancario al sector privado (%)	<i>Ex ante</i> , una elevada tasa de crecimiento del crédito está asociada a eventos de estrés <i>ex post</i>	1980		✓	✓	✓	
	tiie28	Principal tasa de referencia para los créditos bancarios al sector privado (%)	A mayor tasa de interés bancaria, mayores tasas a los agentes económicos y mayor estrés	1989			✓	✓	✓
	vola_tiie28	Volatilidad de los cambios en la tasa TIIE (%)	A mayor volatilidad en la TIIE, se genera mayor estrés financiero	1989			✓	✓	✓
	ited_tiie	Diferencial entre la tiie y la tasa de los cetes, a un mes (pb)	Indicador de riesgo de las instituciones bancarias, a mayor diferencial, mayor estrés	1989			✓	✓	✓
	foban	Tasa de fondeo interbancario (%)	A mayor costo de fondeo de los bancos, mayor es el costo del dinero para los nuevos deudores y mayor estrés se genera en la economía	1998				✓	✓
	vola_foban	Volatilidad de los cambios en la tasa de fondeo bancario (%)	A mayor volatilidad en la tasa de fondeo bancario, se genera mayor estrés financiero	1998				✓	✓
	isprd_fbg	Diferencial entre la tasa de fondeo bancario y la tasa de fondeo gubernamental (%)	A mayor diferencial, el mercado de fondeo percibe como más riesgosa una garantía con papel bancario en comparación con el gubernamental	1998				✓	✓
	imor	Índice de morosidad de la cartera bancaria al sector privado (%)	Cuando la calidad de la cartera se deteriora, los bancos enfrentan dificultades que los puede llevar a una situación de insolvencia y mayor estrés	2000				✓	
roa	Rendimiento sobre activos de la banca comercial (%)	A mayor rentabilidad de la banca, menor probabilidad de enfrentar un quebranto bancario y menor estrés	2000				✓		
Riesgo país	embi	JP Morgan EMBI+ Mex, que se calcula a partir de la sobretasa de los bonos del gobierno mexicano en dólares vs los bonos del tesoro de los EEUU (pb)	A mayor diferencial, mayor percepción de riesgo de los extranjeros hacia México y mayor estrés financiero	1998				✓	✓
	cds	Derivado de incumplimiento crediticio de los bonos del gobierno mexicano a 5 años, es decir la prima que se tiene que pagar de la tasa cupón de un bono para eliminar el riesgo México (pb)	A mayor diferencial, mayor percepción de riesgo de los extranjeros hacia México y mayor estrés financiero	2000				✓	✓
	dgub_ext	Cambio en la tenencia de extranjeros de bonos mexicanos emitidos en el mercado local (% del total en circulación)	A mayor diferencial, mayor percepción de riesgo de los extranjeros hacia México y mayor estrés financiero	1999				✓	✓

En vista que las variables están sujetas a niveles de escala diferentes, sería deseable poner a todas en la misma escala; existen varias alternativas: la estandarización, la normalización de las variables (ya sea de forma estática o dinámica) y otra es expresar las variables en términos de su rango percentil.¹² La normalización dinámica implica calcular el promedio y la desviación estándar de la variable a normalizar utilizando un horizonte fijo de tiempo, por ejemplo de un año. La desventaja de normalizar de esta forma radica en que conforme pasa el tiempo se pueden llegar a perder periodos de estrés importantes que ya no serán capturados en la media o desviación estándar de la variable normalizada. Lo anterior justifica el uso de la normalización estática porque mantiene fijo el horizonte del cálculo de la media y la desviación estándar. La estandarización es menos apropiada para transformar variables porque el máximo y el mínimo son sensibles a valores extremos presentes en las series. El rango percentil arroja la posición de una variable relativa a su historia y omite los valores extremos que una serie pueda tener, por lo que también se va a utilizar en este trabajo. Cabe recordar que el re escalamiento vía estandarización o normalización no afectan las propiedades estocásticas de las series originales porque sólo son transformaciones lineales de las variables. A todas las variables se les removió su tendencia, de esta manera se evitarán situaciones en las que un aumento en la variable atribuido a su tendencia sea confundido con un aumento en el estrés que sufre dicha variable.

¹² La normalización x_i implica tomar el valor de la variable x_i , restarle su media \bar{x} y al resultado dividirlo entre la desviación estándar de la variable s_i : $z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s_i}$. La media y desviación estándar son históricas. La estandarización es similar a la normalización, sólo que en lugar de tomar la media, se toma el mínimo y en lugar de la desviación estándar, se toma el rango max-min: $\hat{z}_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$. El rango percentil ordena el valor actual de una variable y lo expresa como un porcentaje del conjunto de datos analizados. La estandarización, al igual que el rango percentil, está acotada al rango [0,1], mientras que la normalización no lo está a ningún rango.

3.2 La conformación de las variables en un solo índice

Antes de presentar las diferentes técnicas a utilizarse para conformar en un solo índice a las variables financieras, para facilitar su exposición, se utilizará una notación matricial. Sea X una matriz de variables aleatorias y reajustadas como se mencionó arriba, de dimensión $n \times k$, en donde n es el número de observaciones de cada variable, de manera que si se cuenta con información semanal de cada variable, se tienen 52 observaciones de cada variable por cada año. El número de variables utilizadas en el índice que se va a construir es k . La matriz X tiene asociada otra matriz de varianzas y covarianzas de dimensión $k \times k$ denominada Σ si es conocida, de lo contrario el caso más realista es que se desconozca, pero se puede estimar a partir de la matriz de covarianzas muestral, que se denotará por S . El interés en la matriz S radica en que contiene información muy valiosa de cómo interactúan las variables financieras entre ellas, información que se busca explotar en nuestra medida de estrés única.

Desde la perspectiva del análisis multivariante, el objetivo de este apartado es buscar la “mejor” manera de reducir a una dimensión una base de datos multidimensional. Al mencionar mejor nos referimos a que se explote la información común existente entre las variables y que al mismo tiempo sea sencilla de descomponer en sus partes. Una forma de hacerlo es utilizando combinaciones lineales de las variables:

$$y = X \alpha$$

En donde:

y , de dimensión $n \times 1$, es un índice que atribuiremos al estrés financiero y no es observable,

X es la matriz de variables financieras reajustadas y de dimensión $n \times k$, y

α es el vector de pesos que se le da a cada variable financiera, de dimensión $k \times 1$.

Con las combinaciones lineales el problema se reduce a elegir los pesos que se le van a dar a cada variable, de acuerdo con el objetivo que se tenga en mente. La justificación de utilizar combinaciones lineales en lugar de otra forma de reducción de dimensiones radica en la sencillez para descomponer el índice en sus subcomponentes. Por ejemplo, en el presente trabajo las variables financieras se agruparon por su tipo de activo de riesgo (bonos o deuda, accionario, cambiario, derivados, instituciones de crédito y riesgo país). Dicha descomposición se puede realizar en cualquiera de las metodologías que presentamos en este trabajo. Matemáticamente, la descomposición del estrés financiero se realiza de la siguiente manera:

$$X_t \omega_t = \sum_{j=1}^k x_{jt} \omega_j = \sum_{j=1}^{k_1} x_{jt} \omega_j + \sum_{j=k_1+1}^{k_2} x_{jt} \omega_j + \dots + \sum_{j=k_{m-1}+1}^{k_m} x_{jt} \omega_j$$

En donde $k = k_1 + k_2 + \dots + k_m$ y k_i representa el número de variables que componen la medida de estrés subdividida en cada uno de los $i = 1, \dots, m$ mercados analizados. Entonces, la contribución del mercado i al estrés financiero en el periodo t viene dado por

$\sum_{j=k_{i-1}+1}^{k_i} x_{jt} \omega_j$. Es decir, resulta del producto punto de las variables estandarizadas del mercado i multiplicado por sus pesos respectivos ω_j . Es importante notar que, a su vez, es posible descomponer el estrés financiero de cada mercado i en las variables que lo componen, lo anterior con la finalidad de identificar la fuente individual del estrés para cada mercado.

Aunque la investigación teórica sobre métodos multivariantes no lineales ha crecido de manera muy importante en los últimos años,¹³ aún no se ha utilizado por ningún autor para elaborar índices de estrés financiero, quizás porque es difícil justificar qué forma funcional se debe asumir sobre la relación de las variables o por su mayor complejidad matemática o además porque no es sencillo descomponer un índice no lineal en sus componentes. En este trabajo se utilizarán combinaciones lineales en vista que la mayor parte de las variables financieras parecen estar relacionadas de esa forma, sobretodo en periodos de alto estrés.¹⁴

Ahora bien, una vez que se ha establecido el uso de combinaciones lineales de variables para producir una sola medida de estrés financiero, el problema es la elección de los pesos asignados a cada variable. Illing y Liu (2006) propusieron los siguientes pesos:

- i. Pesos que maximizan la varianza: componentes principales (PC)
- ii. Pesos iguales en varianza
- iii. Pesos económicos
- iv. Rango percentil promedio

¹³Jolliffe (2006).

¹⁴ En el Anexo 1 se presenta un análisis de las variables en pares y se observa que, tras correr regresiones lineales entre pares de variables, sólo un 12.5% de las mismas no resultaron significativas al 95 por ciento de confianza.

Componentes principales es una técnica de análisis multivariado, tal vez la más antigua y popular. Fue introducida por Pearson (1901) y Hotelling (1933) y no fue ampliamente utilizada sino hasta la aparición de las computadoras. La idea central de este procedimiento es reducir la dimensión de un conjunto de variables que presumiblemente se encuentran interrelacionadas, reteniendo la mayor variación común posible y presente en los datos.¹⁵ La reducción se logra al transformar el conjunto de variables en otras nuevas, denominadas los componentes principales, de tal forma que no estén relacionadas entre sí y se ordenan de manera que la primera componente retiene la mayor variación común que contienen las variables originales. Esta técnica ha sido utilizada recientemente en la literatura financiera para el cálculo de índices de estrés financiero.¹⁶ La popularidad de este índice se explica por el hecho empírico observado durante los principales eventos de crisis sobre el aumento en la variación común de las variables financieras en esos periodos (Claessens et al. 2001), por lo que componentes principales capturaría la máxima variación común asociada a situaciones de estrés.

Es importante señalar que el estrés financiero no es una variable observable y se va a suponer que la mayor variación común de las variables financieras, capturada a través de los pesos que arroja la primera componente principal, está asociada al estrés en el sistema financiero. Como se menciona en la revisión de la literatura en el principio de este apartado, diversos autores han encontrado que dicha medida es exitosa para identificar

¹⁵ También se puede pensar como una técnica que minimiza la pérdida de información común entre las variables.

¹⁶ Banco de Canadá (Illing y Liu, 2006), la Reserva Federal de Kansas City (Hakkio y Keeton, 2009), el FMI (World Economic Outlook, 2008 y 2009) y la Reserva Federal de San Luis (Kliessen y Smith, 2010).

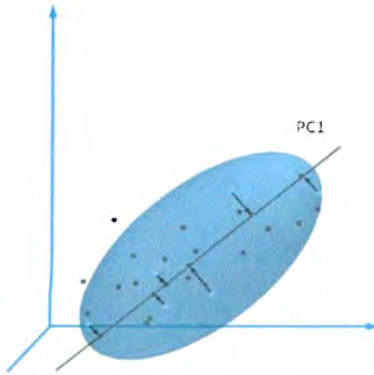
situaciones de estrés en los mercados financieros para los países a los que han sido contruidos.

Para lograr una mayor intuición sobre lo que representan los componentes principales, visualicemos los rendimientos de tres activos financieros así como su eigenvector. En la Gráfica 1 se presentan los rendimientos de tres activos financieros en el espacio tridimensional. Un potencial eigenvector de esos rendimientos se representa a través de la proyección o distancia perpendicular de los rendimientos sobre un vector particular que los atraviese. Cada eigenvector es de dimensión $k \times 1$, es decir se tiene un peso por cada variable financiera con la que se cuente, de manera que cada componente del vector se puede interpretar como el peso de esa variable en la combinación lineal de variables. De todos los posibles eigenvectores asociados con las tres variables de nuestro ejemplo, aquel que maximiza la variación común de las variables es la primera componente, denominada componente principal (Gráfica 1a). La segunda componente principal vendría dada por la máxima variación proyectada de los indicadores, sujeta a que dicha proyección sea ortogonal a la que arrojó la primera componente principal (Gráfica 1b). La tercera componente se obtiene al maximizar la variación de la proyección de las variables sujeta a que esta sea ortogonal a la segunda componente y así sucesivamente. Cualquier otra componente contaría con una menor o igual variación que la primera componente (Gráfica 1c).

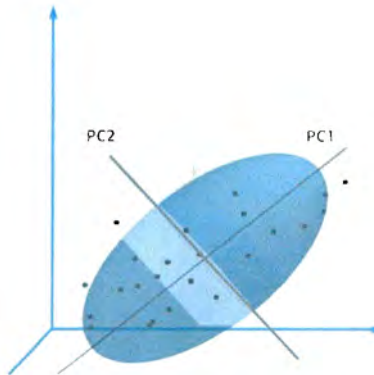
Gráfica 1

Análisis gráfico de los componentes principales

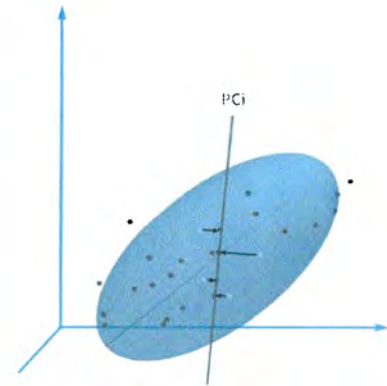
a) Primera componente principal



b) Segunda componente principal



c) Otra componente menor



Fuente: Kritzman, *et al.* (2010).

Expresando matemáticamente las ideas anteriores, los componentes principales se definen como:¹⁷

$$y_{pc} = Z = XA$$

En donde Z es una matriz de dimensión $n \times k$ que representa la transformación lineal ortonormal de la matriz X , A es una matriz ortogonal de dimensión $k \times k$ cuyos vectores α_k son los eigenvectores de la matriz de varianzas y covarianzas de X .¹⁸ Cada vector z_1, z_2, \dots, z_k de la matriz Z corresponde a la transformación lineal de X con sus respectivos componentes $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$, de manera que z_1 es la transformación ortonormal de X realizada con la primera componente de la matriz A, α_1 , denominada la primera

¹⁷ Una buena referencia para los resultados matemáticos que aquí se presentan se encuentra en Jolliffe (2006).

¹⁸ Una transformación ortonormal $z = T(x): X \rightarrow X$ es aquella que preserva el producto punto entre un vector y una matriz ortonormal. Una matriz ortonormal es una matriz ortogonal en donde cada uno de los vectores que la componen poseen una norma unitaria. Una matriz ortogonal contiene vectores ortogonales entre sí, es decir, el producto punto de vectores distintos es siempre cero (los vectores son perpendiculares entre sí). Tiene la característica que su inversa es la traspuesta: $A^{-1} = A'$.

componente principal, z_2 es la transformación ortonormal de X utilizando la segunda componente de A y así sucesivamente. La reducción de dimensiones de las variables financieras se da justamente aquí, en donde el vector α_1 representa a los pesos de la combinación lineal que sirve para reducir a una dimensión la información de las k variables, combinación que se le denomina Índice de Estrés del Sistema Financiero en México (IESF):

$$z_1 = X\alpha_1 = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^k x_{j1}\alpha_{j1} \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^k x_{jn}\alpha_{jn} \end{pmatrix}$$

Ahora bien, una vez que se ha establecido cómo se calcula el índice de estrés con componentes principales, surgen dos preguntas: ¿cómo se calcula la matriz A ? ¿qué características poseen los pesos α_k ? Resulta que la matriz A se calcula a partir de la matriz de varianzas y covarianzas de X .¹⁹ Se debe tener presente que la técnica de componentes principales es sensible al cambio de escala en las variables, por lo que el re escalamiento de las variables mediante la estandarización se vuelve necesario. Tomemos la combinación lineal de la primera componente α_1 . Nuestro objetivo es maximizar la varianza de la combinación lineal:

$$\max_{\alpha_1} \text{var}(\alpha_1'X) = \max_{\alpha_1} \alpha_1' \text{var}(X'X) \alpha_1 = \max_{\alpha_1} \alpha_1' \Sigma \alpha_1$$

¹⁹También se puede utilizar la matriz de correlaciones, que denotaremos como Σ^* ; en los resultados se presentarán las estimaciones utilizando las dos matrices, en general los resultados no varían mucho si se usa una u otra matriz.

Recordemos que la matriz X se compone de k variables finitas por lo que las varianzas y covarianzas también son finitas, por lo que la matriz de varianzas y covarianzas Σ se compone de elementos finitos. Sin embargo, claramente el problema de maximización anterior no se alcanzará para un α_1 finito, por lo que es necesario imponer alguna restricción a los pesos α_1 ; una posibilidad es que la norma o suma de cuadrados de los coeficientes sea igual a la unidad: $\alpha_1' \alpha_1 = 1$, restricción que facilita los cálculos matemáticos, aunque es posible sustituirla por otras sin que se alteren los resultados generales. El problema de optimización se puede expresar en términos de la técnica de multiplicadores de Lagrange:

$$\max_{\alpha_1} \alpha_1' \Sigma \alpha_1 \text{ sujeto a } \alpha_1' \alpha_1 = 1$$

O bien:

$$\mathcal{L}_1 = \alpha_1' \Sigma \alpha_1 + \lambda(1 - \alpha_1' \alpha_1)$$

Diferenciando con respecto a α_1 obtenemos:

$$\Sigma \alpha_1 - \lambda \alpha_1 = 0$$

O bien,

$$(\Sigma - \lambda I_k) \alpha_1 = 0$$

Donde I_k es una matriz identidad de orden k y λ es un escalar. Nótese que la expresión anterior corresponde a encontrar los eigenvalores de la matriz Σ , en donde λ es el primer

valor característico de Σ y α_1 es su correspondiente eigenvector. En este punto vale la pena recordar algunos resultados útiles sobre las propiedades de las matrices cuadradas y simétricas y su relación con la descomposición espectral. Una matriz cuadrada y simétrica como lo es Σ es diagonalizable de la forma $\Sigma = A\Lambda A'$ en donde Λ es la matriz diagonal de los valores característicos de Σ , valores que serán reales, mientras que la matriz A corresponde a los vectores propios de Σ que tienen la propiedad de ser ortogonales y con norma uno, es decir ortonormales: $AA' = I_k$. En suma, la matriz Σ es diagonalizable con eigenvectores reales y eigenvectores ortonormales porque es simétrica y cuadrada.²⁰ De las condiciones de primer orden anteriores, obtenemos que:

$$\Sigma\alpha_1 = \lambda\alpha_1$$

Entonces, al sustituir la anterior expresión en la ecuación de la varianza de la combinación lineal z_1 , ésta queda como sigue:

$$\text{var}[z_1] = \alpha_1'\Sigma\alpha_1 = \alpha_1'\lambda\alpha_1 = \lambda\alpha_1'\alpha_1 = \lambda$$

Es decir, debemos escoger a λ lo más grande posible para maximizar la varianza de la combinación lineal, digamos $\lambda = \lambda_1$. Recordemos que de la diagonalización $\Sigma = A\Lambda A'$, λ_1 está asociada a α_1 , el primer eigenvector de A . Entonces al elegir al mayor λ_1 , elegimos la combinación de pesos α_1 que maximiza la variación común que poseen las variables

²⁰ Las pruebas de estos resultados se encuentran en cualquier libro de texto sobre álgebra lineal. Ver por ejemplo los Teoremas 8.6 a 8.9 del libro de Kolman y Hill (2006).

utilizadas en la combinación lineal de z_1 , combinación que de ahora en adelante denominaremos como la primera componente principal.

Sin embargo, aún no hemos probado que λ_1 es el eigenvalor más grande de todos los k eigenvalores que posee Σ . Intuitivamente λ_1 es el eigenvalor más grande porque es el que está sujeto a menos restricciones para maximizar la varianza en comparación con los otros eigenvalores.

La prueba se presenta para $k = 2$. Para valores de $k > 2$ la demostración es más compleja pero la idea es similar. La segunda componente principal, $z_2 = X\alpha_2$, maximiza $\alpha_2'\Sigma\alpha_2$ sujeto nuevamente a que mantenga una norma unitaria $\alpha_2'\alpha_2 = 1$ y además sujeto a no estar correlacionado con la primer componente principal:

$$\text{cov}[\alpha_1'X'X\alpha_2] = \alpha_1'\Sigma\alpha_2 = \alpha_1'\lambda\alpha_2 = \lambda\alpha_1'\alpha_2 = \lambda\alpha_2'\alpha_1$$

Entonces el problema de optimización queda como sigue:

$$\mathcal{L}_2 = \alpha_2'\Sigma\alpha_2 + \lambda(1 - \alpha_2'\alpha_2) - \varphi\alpha_2'\alpha_1$$

En donde λ y φ son los multiplicadores de Lagrange. Diferenciando con respecto a α_2 obtenemos:

$$\Sigma\alpha_2 - \lambda\alpha_2 - \varphi\alpha_1 = 0$$

Multiplicando la anterior expresión por α_1 por la izquierda obtenemos:

$$\alpha_1' \Sigma \alpha_2 - \lambda \alpha_1' \alpha_2 - \varphi \alpha_1' \alpha_1 = 0$$

O bien:

$$\alpha_1' \Sigma \alpha_2 - \lambda \alpha_1' \alpha_2 - \varphi \alpha_1' \alpha_1 = 0$$

Notemos que los primeros dos términos de la expresión anterior son cero gracias al resultado que se acaba de obtener sobre la covarianza entre la primera y segunda componente principal. Del tercer término sabemos que $\alpha_1' \alpha_1$ posee norma unitaria, entonces $\varphi = 0$. Por lo tanto, $\Sigma \alpha_2 - \lambda \alpha_2 = 0$, o de forma equivalente, $(\Sigma - \lambda I_k) \alpha_2 = 0$, de manera que $\lambda = \lambda_2$ es un eigenvalor de Σ y α_2 es su correspondiente eigenvector. De manera similar, la varianza de la segunda componente principal es $\lambda_2 = \alpha_2' \Sigma \alpha_2$, así que tenemos que elegirla lo más grande posible. Ahora bien, ¿qué eigenvector es mayor? Supongamos que $\lambda_1 = \lambda_2$. Entonces $\alpha_1 = \alpha_2$ y se viola la condición de ortogonalidad $\alpha_1' \alpha_2 = 0$ que se debe cumplir forzosamente al ser Σ simétrica, por lo que $\lambda_1 \neq \lambda_2$. Supongamos que $\lambda_1 < \lambda_2$, entonces se está sugiriendo que la varianza de la primer componente, que cuenta con una sola restricción de unicidad en su norma, es menor que la varianza de la segunda componente, que además de contar con la misma restricción que la primer componente, cuenta con otra restricción adicional de ortogonalidad, por lo cual no es posible que alcance un mayor máximo en comparación con la primer componente; a lo más aspiraría a ser igual, pero como esto tampoco es posible, entonces tiene que suceder que $\lambda_1 > \lambda_2$.

En forma análoga, es posible demostrar que para el tercero, cuarto,..., k -ésimo componente principal, los vectores de pesos $\alpha_3, \dots, \alpha_k$ son los eigenvectores correspondientes a los $\lambda_3, \dots, \lambda_k$ eigenvalores tercero, cuarto y así sucesivamente hasta llegar al menor componente, de manera que:

$$\text{var} [X\alpha_j] = \lambda_j \text{ para toda } j = 1, \dots, k$$

Además,

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_k$$

Como un comentario final, además de maximizar la varianza común entre las variables, la técnica componentes principales permite descomponer la varianza de las componentes de una forma muy sencilla. Dado que la varianza de cada componente viene dado por los eigenvectores de la descomposición de la matriz de varianzas y covarianzas, la variación total de las variables viene dada por la traza de la matriz diagonal de los eigenvalores: $\text{tr} |A| = \sum_{j=1}^k \lambda_j = k$, de manera que es posible calcular de manera muy sencilla la contribución de la varianza de cada componente principal ω_j de la siguiente forma:

$$\omega_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^k \lambda_j} = \frac{\lambda_j}{k} \text{ para toda } j = 1, \dots, k$$

El último resultado se explica por el hecho que las variables financieras se encuentran estandarizadas. Contamos entonces con una medida de desempeño para evaluar el grado de

variabilidad explicada por cada componente, es como una especie de R^2 en el análisis de regresión.

En resumen, la técnica de componentes principales genera pesos en una combinación lineal de variables, de manera que se maximiza la variación común que existe entre las variables y dicha variación se asocia a un hecho común, el estrés financiero. Es decir, componentes principales explota la información que las variables comparten en común en un solo indicador y que no podría ser aprovechada si se analizaran las variables individualmente, que es como normalmente se analizan las situaciones de tensión financiera en los reportes de coyuntura económica y financiera.

Las otras tres metodologías carecen de un criterio para optimizar la variación común que poseen las variables financieras, variación que consideramos relacionada con las situaciones de estrés. Por lo tanto, no se consideran como metodologías preferidas o elegibles para nuestro objetivo. De cualquier forma se presentan como una referencia en el cálculo de la medida de estrés de componentes principales. El Anexo°2 presenta además un resumen de cada una de esas tres metodologías.

4. El desempeño de la medida de estrés financiero

Antes de evaluar el desempeño de los indicadores de estrés, es conveniente tener una noción general de los eventos de crisis ocurridos en el país en esos tiempos de tensión, el Cuadro 3 presenta una breve descripción de los episodios de crisis de 1982, 1995 y 2008.

Cuadro 3

Los episodios de crisis en México: 1982-1987, 1995 y 2008

Los ochenta: la década perdida

Después del embargo petrolero que gestionaron los países árabes a través de la OPEC en 1973, los precios del petróleo se incrementaron a niveles históricamente altos, desde los 20 dólares por barril hasta los 50 dólares en ese año y desde los 50 hasta los 100 dólares tras la caída en la oferta generada por la revolución iraní de 1979 (a precios de marzo de 2012). Las economías que contaban con este recurso natural vieron la oportunidad de aprovechar la coyuntura y realizaron cuantiosas inversiones para fortalecer su producción petrolera, entre ellos México. La perspectiva económica favorable del país y su buen historial crediticio previo favoreció que la banca extranjera, en especial la estadounidense, financiara estas inversiones. Los altos precios generaron cuantiosas rentas petroleras al gobierno mexicano que en su punto máximo en 1981 representaban el 45 por ciento de los ingresos públicos y 8 por ciento del PIB. Los elevados precios petroleros cobraron factura a la economía mundial que entró en recesión en 1981, afectando la demanda por crudo y generando una prolongada caída en los precios mundiales del crudo a partir 1981 que se extendió durante el resto de la década, hecho que provocó una importante caída en los ingresos petroleros que puso en serias dificultades las finanzas públicas del país. El fuerte endeudamiento externo que el gobierno había asumido (alcanzó el 41 por ciento del PIB en 1982) y la caída en los precios petroleros provocaron que en agosto de 1982 el gobierno mexicano anunciara una moratoria en los pagos de deuda externa. La nacionalización de la banca se anunció un mes después. México enfrentó una fuerte salida de capitales, provocando que el nivel de las reservas internacionales se fuera a cero y entonces el peso comenzó a flotar desde la banda cambiaria existente. Entre 1982 y 1983 el tipo de cambio registro fuertes depreciaciones anuales, en promedio del 200 por ciento, alcanzando 500 por ciento en diciembre de 1982. Las tasas de interés nominales se elevaron en respuesta al repunte de la inflación, que aumentó significativamente, llegando a rebasar el 100 por ciento en 1983 y 1987. En 1986-1987 se vivieron 22 meses de inflación por encima del cien por ciento, la producción cayó 4.5 por ciento a fines de 1986 y la deuda del sector público pasó de 20 a principios de la década, a 80 por ciento al cierre de 1986.

1995: la crisis Tequila

La firma del Tratado de Libre Comercio con América del Norte, la desregulación financiera tras la privatización de la banca en México y el abatimiento de la inflación provocaron una avalancha de recursos provenientes del exterior, en gran parte, capitales de corto plazo, que en 1993 representaban un 9.3 por ciento del PIB. La inestabilidad política que se generó tras el asesinato del candidato oficialista Colosio y el levantamiento armado en Chiapas generaron una repentina salida de los capitales del exterior que terminaron rápidamente con las reservas internacionales. La denominada crisis Tequila comenzó con la decisión del gobierno mexicano de dejar flotar el peso, provocando una abrupta devaluación del peso frente al dólar el 20 de diciembre de 1994, al pasar de 3.47 pesos por dólar el 19 de diciembre a 5.10 en sólo una semana (depreciación del 47 por ciento), afectando a las tasas de interés y unos meses después a los niveles de inflación, de desempleo y de actividad económica, variables que dañaron seriamente la solvencia de la banca mexicana, que no contaba con mucha experiencia en el negocio bancario tras la reprivatización en 1992 y decidió expandir el crédito aceleradamente años antes de la crisis. Tampoco se contaba con un marco de supervisión financiera lo suficientemente robusto. El

acelerado crecimiento observado de la economía norteamericana en esos años y las oportunidades que generó el tratado de libre comercio con los EEUU y Canadá aunado a un peso débil, generó un repunte en las exportaciones que promovió una rápida recuperación de la economía.

Se paga un precio por tener un vecino poderoso: la crisis de 2008

La crisis hipotecaria que se materializó en los EEUU tras el anuncio de la Bancarrota de Lehman Brothers en septiembre de 2008 puso en evidencia la fragilidad del marco regulatorio de los EEUU que permitió crecimiento excesivo del financiamiento hipotecario no regulado a través de vehículos de inversión y bursatilizaciones hipotecarias. Las pérdidas de valor que sufrieron estos instrumentos complejos generaron enormes pérdidas a los inversionistas y al sistema bancario estadounidense. Unos meses después ya en 2009 la economía norteamericana entró en una fuerte recesión. A raíz de los fuertes vínculos comerciales que existen entre la economía mexicana y la norteamericana y en lo que respecta a México, lo que nos había ayudado a salir rápidamente de la crisis en 1995 (el fuerte crecimiento de las exportaciones hacia una dinámica economía norteamericana en ese momento) ahora nos llevó a una crisis. La caída en la actividad económica en los EEUU provocó un desplome en la producción económica del país, que cayó a niveles similares a los observados en 1995, el tipo de cambio y el mercado accionario sufrieron de una fuerte caída como un reflejo de la salida de recursos de los inversionistas del exterior hacia activos menos riesgosos como los bonos del tesoro de los EEUU. En esta ocasión las tasas de interés de referencia y los niveles de inflación no se vieron afectados con esta perturbación externa. Tras la crisis, la recuperación del crecimiento ha sido lenta por la débil recuperación de nuestro principal socio comercial y a los persistentes problemas fiscales y bancarios que algunas economías europeas han experimentado a partir de 2010 a la fecha.

Los índices están reajustados al intervalo $[0,1]$ de manera que cuando en un periodo determinado el indicador alcanza niveles cercanos a 1, se entienden como periodos de estrés financiero. Cada indicador se denomina Índice de Estrés del Sistema Financiero Mexicano (IESF) y se construye a partir de incluir variables de los principales mercados financieros del país, como el mercado de deuda gubernamental y corporativa, mercados cambiario, accionario y de derivados, así como indicadores de riesgo de la banca, y del riesgo país. Los índices que se construyeron fueron los siguientes:

- **IESFMH1:** (Incluye información de 1975 a la fecha y periodicidad mensual). Utiliza el tipo de cambio, el cambio trimestral en las reservas internacionales y la tasa de interés de fondeo bancario. Captura la depreciación de 1979 y subsecuentes.

- **IESFMH2:** (Incluye información de 1980 a la fecha y periodicidad mensual). Utiliza, además de las variables del IESFMH1, el principal índice accionario de la bolsa mexicana –el IPC–, la tasa de interés de los cetes a 3 meses así como el crecimiento real de la cartera bancaria. Captura la crisis de 1982 y subsecuentes.
- **IESFMH3:** (Incluye información de 1990 a la fecha y periodicidad mensual). Utiliza, además de las variables del IESFMH2, la tasa TIE y el subíndice de empresas del sector financiero del IPC. Captura la crisis de 1994 y subsecuentes.
- **IESFMH4:** (Incluye información de 2000 a la fecha y periodicidad mensual). Utiliza, además de las variables del IESFMH3, la volatilidad implícita de las opciones sobre el tipo de cambio peso/dólar, la tasa de rendimiento de los bonos gubernamentales de largo plazo, de las empresas y de los bancos, así como las medidas de riesgo país como el EMBI México, el derivado de incumplimiento crediticio (CDS por sus siglas en inglés) de la deuda extranjera del país y la tenencia de bonos gubernamentales por parte de inversionistas extranjeros. Captura la crisis de 2008.
- **IESFS:** (Incluye información de 2005 a la fecha y periodicidad semanal). Utiliza además de las variables incluidas en el IESFMH4, la volatilidad implícita de las opciones sobre el IPC, el diferencial compra/venta del TRAC del IPC, así como variables del mercado de derivados financieros que miden la expectativa de depreciación del tipo de cambio o los cambios en las tasas de interés.

Es pertinente señalar que los índices descritos arriba no son comparables entre sí, ya que unos contienen más variables que otros, y como consecuencia de lo anterior resulta que podría suceder, por ejemplo, que un índice que se compone de variables financieras a partir de 2000 señalen a la crisis de 2008 como la más estresante mientras que los índices

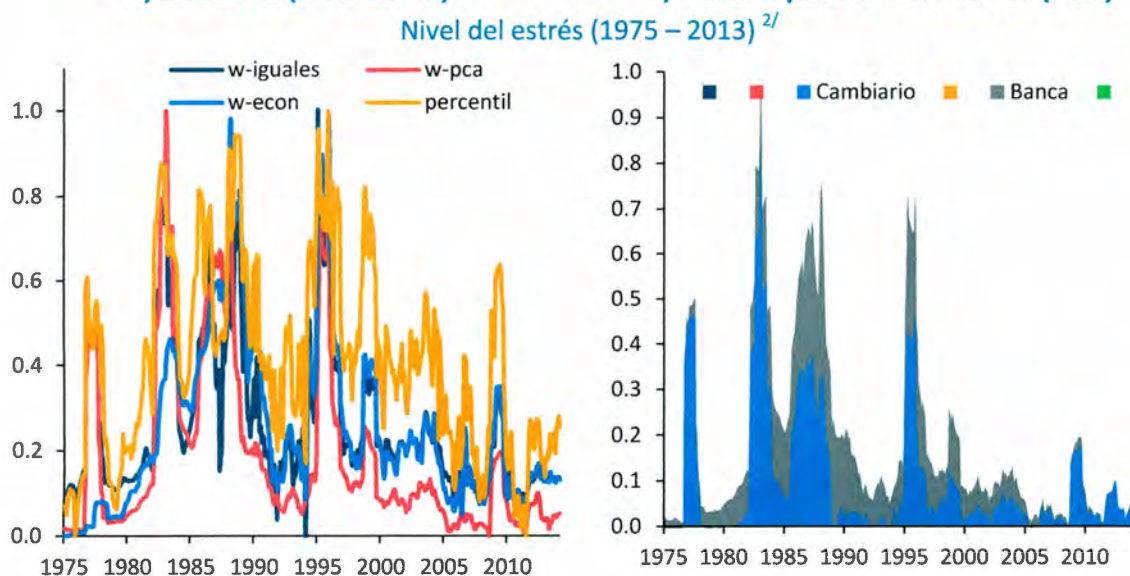
construidos con información más histórica no lo señalen así, ya que los índices con menos historia no cuentan con información de crisis pasadas que pudieron ser más estresantes.

En la Gráfica 2a se presenta el IESFMH1. Lo primero que salta a la vista es que componentes principales, así como las metodologías complementarias identifican de manera razonable los episodios conocidos de estrés sufridos por la economía mexicana. Destaca también los elevados niveles de estrés registrados durante la década de los ochenta. Por ejemplo, durante la devaluación del peso de 1976 en un 80 por ciento, el IESFMH1 alcanzó niveles del 60 por ciento, mientras que la fuerte devaluación de 1982 en el tipo de cambio provocó que los niveles de estrés superaran el 80 por ciento. La medida de estrés señala a los periodos de 1982, 1987 y 1994 como los de mayor estrés financiero en la historia reciente de México. Es importante reconocer que el número de variables que utiliza el IESFMH1 es limitado y por ello es razonable suponer que esta medida no captura de manera precisa el estrés del sistema financiero mexicano en su conjunto, por lo que esta debe ser utilizada con cautela; sólo se incluyó para capturar la tensión que provocó la devaluación del peso de 1976.

Con la finalidad de identificar la fuente del estrés financiero, en la Gráfica 2b se presenta la descomposición del estrés financiero por tipo de activo de riesgo estudiado para el IESFMH1, (cambiario, y banca) utilizando la técnica de componentes principales. En ella se puede observar que la principal causante del repunte del estrés financiero observado en 1976 y 1982 provino de la devaluación del tipo de cambio.

Por otro lado, como se comentó en la metodología de componentes principales, una de las grandes ventajas de utilizar dicha técnica de reducción de dimensiones radica en que la variación que registra la primera componente principal representa la máxima variación común que muestran las variables que componen la medida estrés. Es decir, entre mayor sea la variación común de las variables, más precisa será la medida de estrés financiero, ya que dicha variación común por hipótesis está asociada al estrés financiero. En este sentido, la variación común se parece al R^2 del análisis de regresión, además que también se mide entre cero y cien por ciento. A marzo de 2014, la varianza explicada del IESFMH1 es de un 42.4 por ciento para las 5 variables financieras analizadas.

Gráfica 2
Indicadores de estrés financieros históricos (1975)
a) IESFMH1 (5 variables) **b) Descomposición del estrés (PCA)^{1/}**



1/ La variación común de las variables, calculada por PCA, es de un 42.4 por ciento.

2/ Un mayor nivel de estrés financiero está asociado con mayores niveles del índice. Cada variable cuenta con 471 observaciones mensuales.

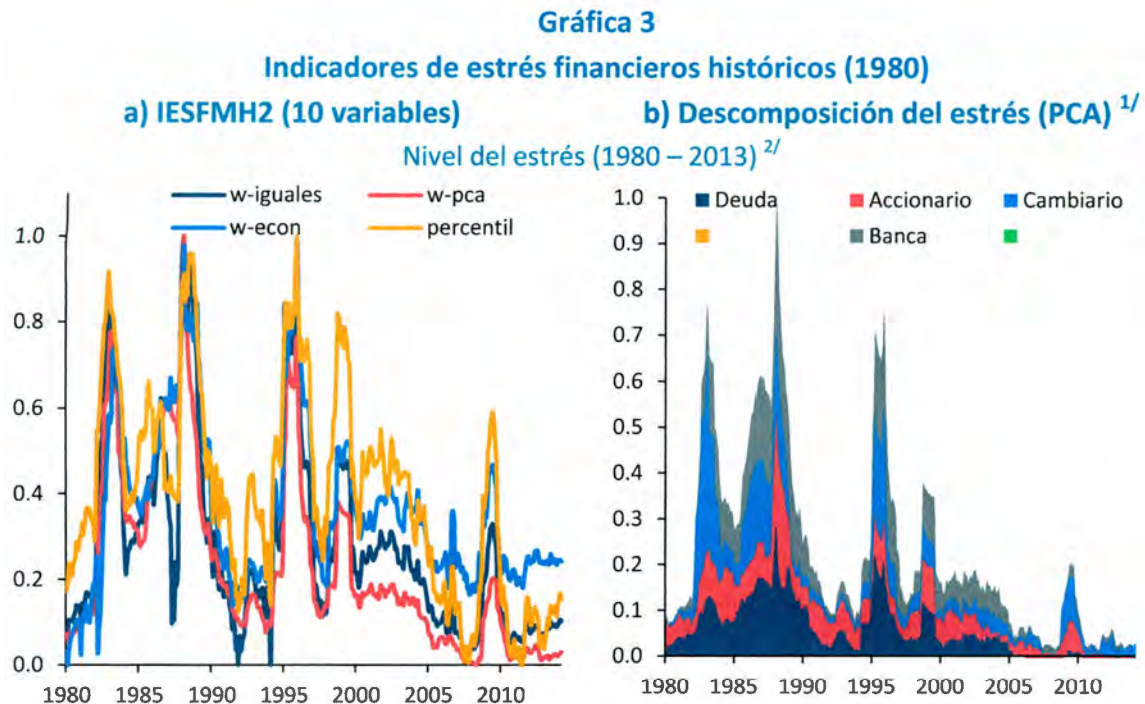
Cifras a marzo de 2014.

Fuente: Banco de México

El IESFMH2 incluye, aparte de las variables incluidas en el IESFMH1, variables de activos riesgosos tales como las acciones, más tasas de interés y la evolución del crédito bancario, por lo que resulta una medida que captura situaciones de tensión en más activos financieros, aunque ya no captura la devaluación de 1976 (Gráfica 3a). Al igual de lo que señaló el IESFMH1, la medida de estrés construida a partir de 1980 señala a los periodos de crisis de 1982, 1987 y 1994 como los más estresantes para el país. En 1982, la débil posición fiscal del gobierno provocó una moratoria de pagos de la deuda externa que generó una devaluación anual del peso de más del 200 por ciento, una caída en el producto de más de 4 por ciento y niveles de inflación superiores al cien por ciento por más de siete meses. Por otro lado, 1986 y 1987 fueron años de muchos desequilibrios en la economía. La producción cayó más de un cuatro por ciento, la tasa de inflación superó el cien por ciento por 22 meses, lo cual provocó que las tasas de interés reales fueran negativas en ese mismo periodo, además que la deuda del sector público pasó de un 20 por ciento del PIB a principios de 1980 a 80 por ciento del PIB en 1987. La medida de estrés IESFMH2 señala a la crisis de 1994 como una de las más estresantes, registrando niveles de estrés de alrededor del 70 por ciento.

La Gráfica 3b presenta la descomposición del estrés financiero por tipo de mercado financiero, de nuevo utilizando la técnica de componentes principales. A diferencia de los episodios de estrés de 1982 y 1987 en donde el componente de estrés del mercado cambiario pesó significativamente en 1982 y el componente accionario lo hizo en 1987, la crisis de 1994 mostró aumentos significativos de estrés en todos los mercados analizados. El indicador de estrés registró niveles superiores al 70 por ciento en dicho periodo. La crisis asiática y la moratoria rusa de 1997 y 1998 generaron niveles de estrés importantes en las

variables financieras mexicanas de todos los mercados analizados. La variación común de las variables financieras bajo este indicador representa un 37.3 por ciento a marzo de 2014.



1/ La variación común de las variables, calculada por PCA, es de un 37.3 por ciento.

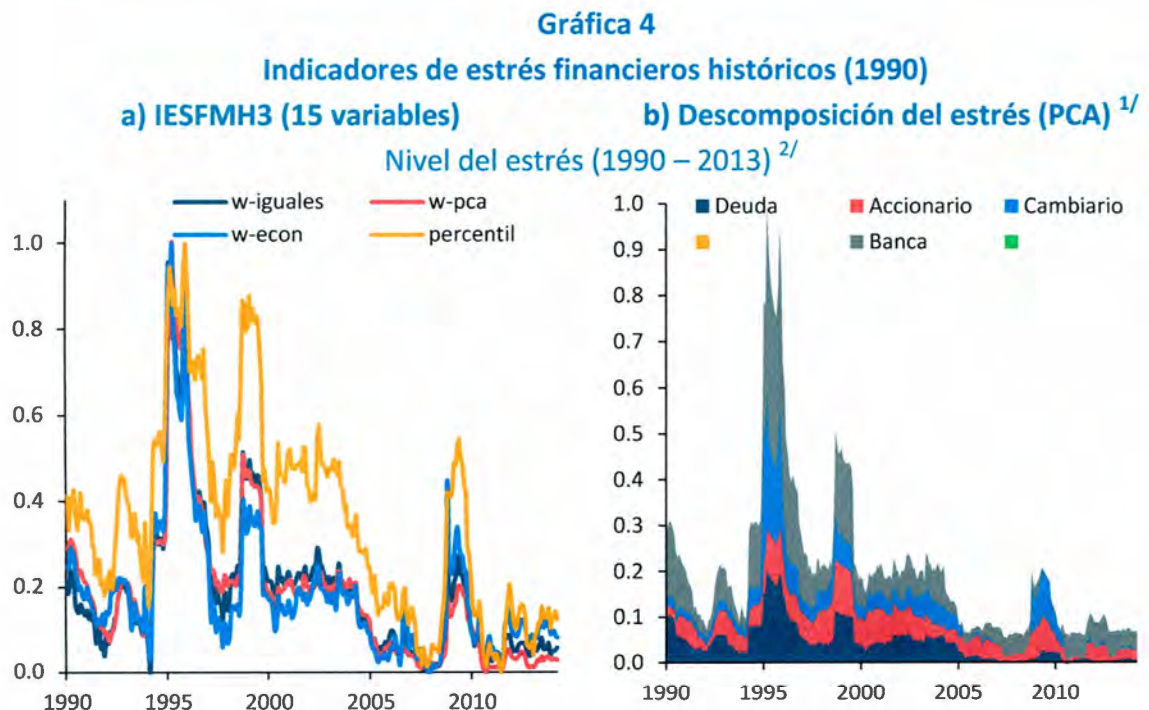
2/ Un mayor nivel de estrés financiero está asociado con mayores niveles del índice. Cada variable cuenta con 411 observaciones mensuales.

Cifras a marzo de 2014.

Fuente: Banco de México

En la Gráfica 4a se presentan el IESFMH3, indicador que ya incluye 15 variables financieras. Tal como se esperaba, si dicho indicador ya no considera la tensión que vivieron las variables durante la década de los ochenta, la crisis de 1994 resulta ser la más estresante para el periodo 1990-2012. Llama la atención además, los reducidos niveles de estrés registrados durante 2008 en comparación con otros periodos de estrés (25 por ciento). En contraste, la crisis asiática de 1997 y rusa de 1998 generaron niveles de estrés de casi el doble que los registrados durante 2008. También es destacable la fuerte reducción en el estrés financiero que observaron las variables financieras mexicanas a partir del año 2002,

en especial las relacionadas con los mercados de deuda (Gráfica 4b). A partir de ese año y hasta antes de 2008 las tasas de interés mostraron una importante reducción en sus niveles, así como en su variabilidad, al igual que el resto de las variables cuya volatilidad registró niveles históricamente bajos. La variación común de las variables financieras bajo este indicador representa un 45.8 por ciento a marzo de 2014.



1/ La variación común de las variables, calculada por PCA, es de un 45.8 por ciento.

2/ Un mayor nivel de estrés financiero está asociado con mayores niveles del índice. Cada variable cuenta con 291 observaciones mensuales.

Cifras a marzo de 2014.

Fuente: Banco de México

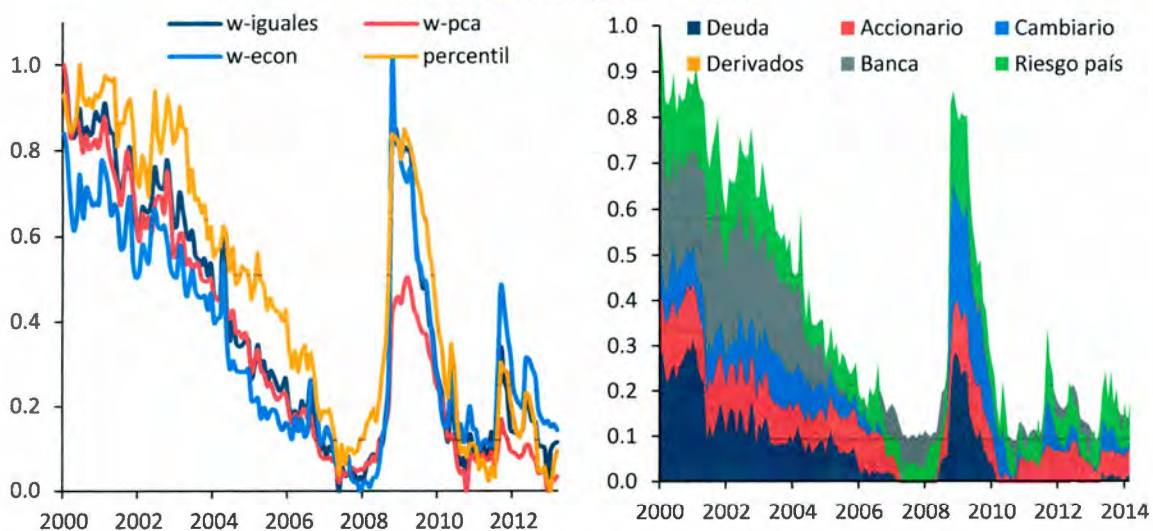
A partir del año 2000 el gobierno mexicano decidió impulsar el desarrollo del mercado de deuda gubernamental al colocar bonos a tasa fija de largo plazo en moneda local en cantidades importantes. Asimismo, la creación de un instrumento de deuda más flexible, el Certificado Bursátil, finalmente hizo atractiva la emisión de deuda para las empresas privadas. El desarrollo del mercado de deuda permitió también el crecimiento de un

mercado de derivados más profundo. El IESFMH4 captura dichos acontecimientos y con sus 30 variables captura un importante espectro de activos financieros negociados en los mercados financieros. Por mencionar algunas, la volatilidad de la tasa de rendimiento del bono a 10 años, la pendiente de la curva de rendimiento, el diferencial del rendimiento de la deuda corporativa y la soberana, entre la deuda bancaria y la soberana, el índice EMBI, la tenencia de extranjeros de deuda mexicana, la rentabilidad de la banca y la morosidad de su cartera, son algunas de las nuevas variables que se incorporan al IESFMH4.

En la Gráfica 5a se observa una caída sostenida en los niveles de estrés financiero desde el año 2000 y hasta antes de la crisis hipotecaria de los EE.UU. en 2008. La caída se explica en general por una reducción en la volatilidad que comenzaron a mostrar gran parte de las variables financieras en ese periodo, en especial a aquellas relacionadas con el mercado de deuda (Gráfica 5b). Por ejemplo, las tasas de interés de los Cetes a 3 meses bajaron de un poco menos del 20 por ciento a un poco más de 5 por ciento en 2004. Asimismo, se destaca también la fuerte caída en los niveles de estrés asociados con las instituciones bancarias en el periodo mencionado. Durante las crisis de los ochenta y la crisis de 1994 el componente de estrés en el sistema bancario capturado en el IESFMH2 y el IESFMH3 siempre estuvo presente en cuantías importantes, incluso varios años después de la crisis de 1994. Conforme la banca se recuperaba gradualmente del duro golpe que le resultó la crisis Tequila, a partir de 2000 y hasta antes de la crisis de 2008 los niveles de morosidad fueron reduciendo gradualmente mientras que los de rentabilidad aumentaron y los costos de fondeo disminuyeron. La crisis hipotecaria de los EEUU perturbó a las principales variables bancarias, aunque en mucha menor medida que en otras crisis. No obstante, las variables asociadas con el mercado cambiario y el accionario, así como el riesgo país,

sufrieron un importante aumento en la tensión financiera. Por ejemplo, en octubre de 2008 el peso se depreció más de un 30 por ciento, el rendimiento de la bolsa mexicana cayó un 40 por ciento, las tasas de interés, en especial de valores no gubernamentales sufrieron alzas importantes y el riesgo país se duplicó. Como resultado, durante la crisis hipotecaria de 2008 el indicador de estrés alcanzó un cincuenta por ciento con componentes principales. A marzo de 2014, la variación común de las variables financieras bajo este indicador representa un 38.3 por ciento.

Gráfica 5
Indicadores de estrés financieros históricos (2000)
a) IESFMH3 (30 variables) **b) Descomposición del estrés (PCA) ^{1/}**
Nivel del estrés (2000 – 2013) ^{2/}



1/ La variación común de las variables, calculada por PCA, es de un 38.3 por ciento.

2/ Un mayor nivel de estrés financiero está asociado con mayores niveles del índice. Cada variable cuenta con 171 observaciones mensuales.

Cifras a marzo de 2014.

Fuente: Banco de México

La Gráfica 6a muestra el índice de estrés IESFS calculado con información semanal a partir de 2005, utilizando componentes principales. Como se esperaba, al ya no estar presentes periodos volátiles de fechas anteriores, la medida de estrés mostró a octubre de

2008 como el evento que generó mayor estrés en las variables financieras. Asimismo, es importante señalar que el efecto negativo, aunque moderado que tuvo la crisis de deuda soberana de algunos países europeos sobre la economía mexicana durante 2010 y 2011, la cual generó una tensión en las variables financieras mexicanas del orden del 20 por ciento cuando se dieron a conocer los problemas fiscales en Grecia en abril de 2010, hasta casi un 30 por ciento cuando existía incertidumbre en los mercados sobre el apoyo que le daría la *Unión Europea* a Grecia en octubre de 2011. La fuente del estrés provino principalmente del mercado cambiario y accionario en dicho periodo. Por otro lado, las expectativas del fin de la política monetaria súper laxa en los EEUU (conocida como *quantitative easing*, QE3) a través de los comentarios del presidente de la Reserva Federal al Congreso en mayo de 2013 provocaron un alza en las tasas de interés de más de cien puntos base y una depreciación cambiaria de diez por ciento en menos de un mes y una alta volatilidad en los mercados mexicanos en general, no obstante que dicha volatilidad ha sido menor a la registrada en otros países emergentes con fundamentales macroeconómicos menos sólidos como Sudáfrica, Turquía y Brasil. Los niveles de estrés a marzo de 2014 se han mantenido en niveles bajos, en alrededor de 8 por ciento y van a la baja por las expectativas generadas por las reformas económicas de gran calado que se aprobaron en el país durante 2013. La variación común de las variables financieras bajo el IESFS representa un 31.7 por ciento al 17 de abril de 2014. Dicha variación es mayor en comparación por ejemplo, a la encontrada para Colombia por Gómez, Murcia y Zamudio (2011) durante 2010, que fue del orden del 25 por ciento.

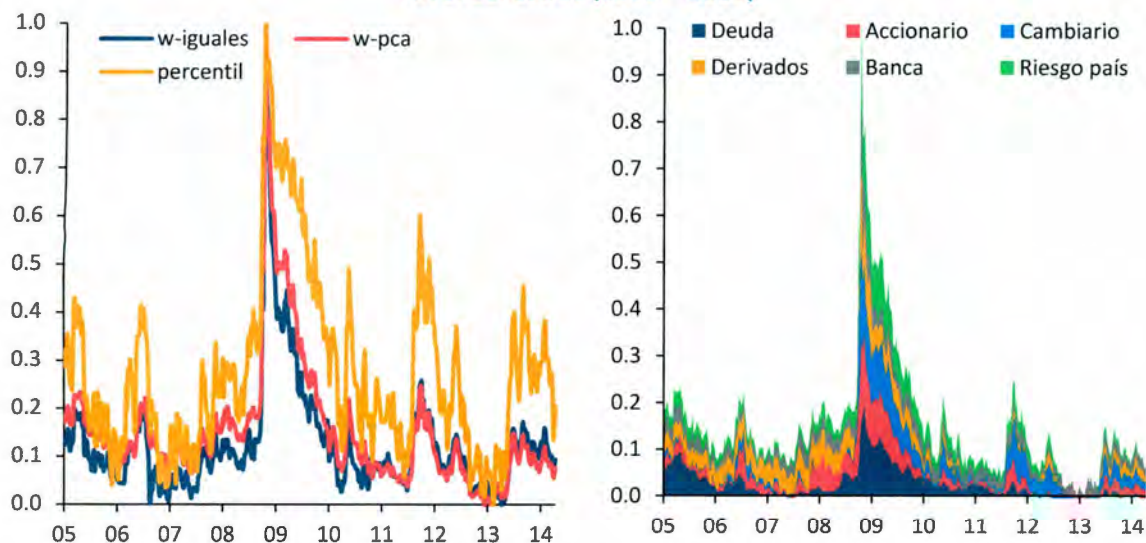
Gráfica 6

Indicadores de estrés financieros (2005)

a) IESFS (32 variables)

b) Descomposición del estrés (PCA) ^{1/}

Nivel del estrés (2005 – 2013) ^{2/}



1/ La variación común de las variables, calculada por PCA, es de un 31.7 por ciento.

2/ Un mayor nivel de estrés financiero está asociado con mayores niveles del índice. Cada variable cuenta con 414 observaciones semanales.

Cifras al 17 de abril de 2014.

Fuente: Banco de México y Bloomberg.

En la Gráfica 7 se presenta el índice de estrés para México utilizando componentes principales y el índice de estrés calculado por la Reserva Federal de San Luis para los EE.UU. En dicha gráfica se puede observar que en general existe una estrecha relación entre ambos indicadores (el coeficiente de correlación contemporánea entre ambas variables de 2005 a 2012 fue de 90 por ciento). No obstante existen periodos específicos en donde la relación entre ambos se rompe. Por ejemplo, durante abril de 2006 el apetito por riesgo de los inversionistas disminuyó, y en los países emergentes se observó una liquidación masiva de posiciones, aumentando significativamente la volatilidad de los

mercados financieros de esas economías.²¹ Dicha volatilidad se reflejó en un aumento en el estrés de las variables mexicanas, más no en el estrés financiero en los EE.UU. Otro periodo de desligue ocurrió cuando en abril de 2007 los fondos que invirtieron en hipotecas de baja calidad de los EE.UU. comenzaron a entrar en problemas financieros, el estrés de dicho país aumentó considerablemente, mientras que en México no repuntó sino hasta la quiebra del banco de inversión estadounidense Lehman Brothers.

Otro punto relevante a destacar es el bajo nivel de estrés financiero en México que se registró a fines de 2012 y principios de 2013. El 13 de diciembre de 2012 el estrés alcanzó su mínimo histórico: dichos niveles se mantuvieron hasta abril de 2013, fecha en que los mercados de todo el mundo registraron fuertes variaciones ante la expectativa del fin de la política monetaria expansiva en los Estados Unidos (QE3). El contagio hacia México provino del mercado cambiario y de deuda ya que a partir de 2010 muchos inversionistas extranjeros invirtieron en bonos a tasa fija en pesos atraídos por las mayores tasas de interés en comparación con la observada en sus países. Tras la expectativa de alza en tasas en los países desarrollados, algunos de estos inversionistas están regresando a sus países, generando volatilidad en los mercados comentados. Las razones anteriores explican el porqué se observan niveles de estrés mayores en México en comparación con los observados en los EEUU, no obstante que los niveles de estrés son bajos en relación con los observados durante 2008 (Gráfica 7).

²¹Para un mayor detalle sobre este acontecimiento, ver FMI (2006). "Financial Market Update". Junio.

Gráfica 7
Índice de estrés sobre el sistema financiero mexicano (IESF) y el
Índice de estrés de los EE.UU., calculado por la Reserva Federal de San Luis (STLFSI)
 Nivel del estrés (2005 – 2013)^{1/}



1/ Un mayor nivel de estrés financiero está asociado con mayores niveles del índice.
 Cifras al 17 de abril de 2014.
 Fuente: Banco de México y el Banco de la Reserva de San Luis, EE.UU.

Los coeficientes obtenidos a partir de componentes principales se interpretan de una forma intuitiva: dado que las variables se encuentran estandarizadas, el coeficiente de cada variable representa el efecto que tiene sobre el índice de estrés el cambio en una desviación estándar de dicha variable. En el caso del IESFS, el grupo de coeficientes con más impacto son las variables del mercado de deuda, con 1.2, seguidas por las del mercado cambiario con 1.0, el accionario y derivados con 0.7, la banca con 0.6 y el riesgo país con 0.4.

La Gráfica 8 muestra la descomposición del IESFS en cada una de las variables que lo componen. Para una mayor claridad sobre la utilidad de esta medida, se comparan dos fechas contrapuestas: el 20 de junio de 2013, fecha en que la incertidumbre proveniente de las expectativas del fin de la política monetaria expansionista en los EEUU generó gran

volatilidad en los mercados, provocando que el nivel de estrés en México alcanzara un 14 por ciento. La otra fecha es la más reciente que se cuenta, que es el 17 de abril de 2014. Cada barra indica el efecto que posee dicha variable en el IESFS. Si es positiva, indica que dicha variable impulsa al índice a producir mayor estrés, y lo contrario cuando es negativa.²² Podemos observar que los principales factores que impulsaron el estrés en México en ese periodo fueron la volatilidad de las tasas de largo plazo, del tipo de cambio, así como el aumento en el EMBI y CDS de México. Por el contrario, para el 17 de abril de 2014 son pocas las variables que impulsan el estrés hacia la alza, solamente algunas variables del fondeo bancario muestran una ligera tensión.²³

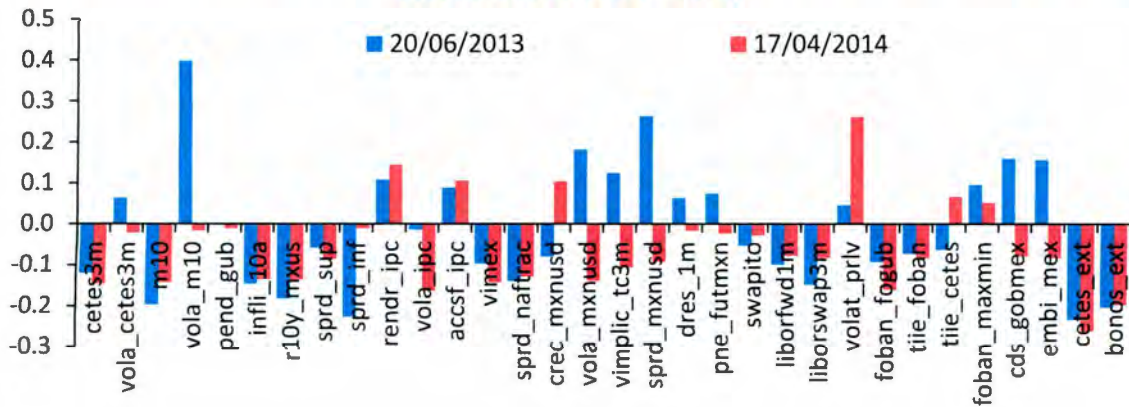
²² La magnitud del efecto se calcula multiplicando el valor estandarizado de la variable por el peso que arroja la primera componente principal para dicha variable.

²³ El mayor apetito de los inversionistas extranjeros por bonos mexicanos, en especial de Cetes, ha provocado una fuerte demanda por dichos instrumentos y por lo tanto una caída en su rendimiento al vencimiento.

Gráfica 8

La descomposición del estrés en cada una de las variables que componen el IESFS

Nivel del estrés (2005 – 2013)^{1/}



1/ Un mayor nivel de estrés financiero está asociado con mayores niveles del índice.

Cifras al 17 de abril de 2014. Los niveles de estrés agregados al 20/06/2013 y 17/04/2014 fueron 14% y 8% respectivamente.

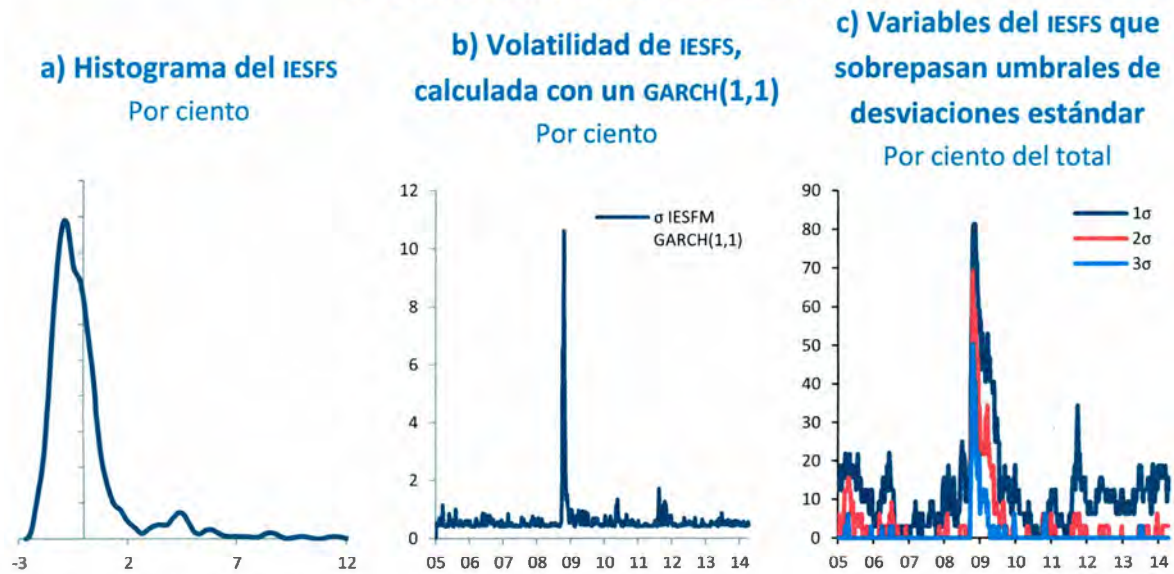
Fuente: Banco de México y Bloomberg.

Por último, en la Gráfica 9a se muestra la distribución del IESFS con la finalidad de estudiar sus propiedades. La distribución de frecuencias sin escalar del IESFS por construcción cuenta con media cero, porque se construye a partir de variables estandarizadas. Además, la distribución cuenta con un importante sesgo a la alza, de 2.74, lo cual indica que los eventos que generan estrés financiero lo hacen en magnitudes importantes. La dispersión dispareja del estrés repercute en una elevada curtosis en la distribución, del orden del 12.4. Por otro lado, en la Gráfica 9b se presenta la estimación de la volatilidad del índice de estrés usando para ello un modelo GARCH (1,1) con un ARMA (1,0) para medir la magnitud del estrés que sobrevino durante la crisis de octubre de 2008.²⁴

²⁴ El modelo GARCH obtuvo coeficientes significativos al 99 por ciento, al igual que el ARMA. La prueba de Durbin-Watson del modelo resultó de 2.2 y los residuos no presentaron autocorrelación, al 99 por ciento de

En ella se muestra la fuerte tensión que vivió el índice de estrés durante el periodo comentado, de alrededor de 10 desviaciones estándar. Este súbito aumento en la tensión es el reflejo de la tensión que sufrieron una gran parte de las variables que componen el IESFS. Por ejemplo, durante la peor etapa de tensión, el 80 por ciento de las variables que componen la medida de estrés registraron más de una desviación estándar de su tendencia, el 70 por ciento registraron más de dos desviaciones, mientras que el 50 por ciento registraron más de tres desviaciones de su media histórica durante el periodo 2005-2013 (Gráfica 9c).

Gráfica 9
La distribución y volatilidad del IESFS



Cifras al 17 de abril de 2014.
 Fuente: Banco de México.

confianza utilizando la prueba de Ljung-Box. La serie del IESFM no presenta una raíz unitaria, usando la prueba de Dickey-Fuller aumentada, utilizando un nivel de confianza del 95.

5. La medida de estrés financiero y las crisis financieras

Una vez que se cuenta con una medida continua de estrés, se procederá a relacionarla con los episodios históricos de estrés en México para establecer criterios para construir umbrales o niveles de estrés de referencia y así distinguir cuando un episodio de tensión se vuelve preocupante y se pueda transformar en una crisis financiera. El primer criterio, utilizado por el Banco de Canadá (2006) y el Fondo Monetario Internacional (2009), es establecer un nivel arbitrario de desviaciones estándar sobre la media para definir una situación de estrés grave, digamos dos desviaciones estándar. Un problema con este enfoque radica en que conforme se incorpora nueva información, los episodios de estrés que ya se habían identificado antes de incorporar la nueva información se pueden perder. Otra forma de identificar episodios de estrés tensionantes es a través de percentiles, ya que los mismos son menos sensibles a la incorporación de valores extremos en la muestra. . Por ejemplo, Hakkio y Keeton (2009) proponen un umbral de 90 percentil en su medida de estrés para definir un periodo como estresante o no. Por último, el criterio más sencillo es establecer un periodo de referencia ampliamente conocido como estresante, como la crisis Tequila o la crisis de 2008 y comparar el nivel de estrés actual con el registrado en dicho periodo de referencia.

Utilizando los tres criterios anteriores, se establecieron cinco niveles de tensión financiera: no estresante, moderadamente estresante, estresante, altamente estresante, y

críticamente estresante, para la medida de componentes principales.²⁵ Además, para evaluar el desempeño del índice de estrés, se identificaron los principales episodios de crisis comúnmente conocidos (Cuadro^o4).

Cuadro 4
La medida de estrés y los episodios de estrés en México^{1/}

Evento	Medida	Periodo	Criterios			Conclusión
			σ	Percentil	Estrés	
La devaluación en México, 1976-1977	IESFMH1	sep-76 a ago-77	0.72	57.3%	46.3%	Estresante
La moratoria de deuda externa en México, 1982-1983	IESFMH1	ago-82 a jul-83	1.47	76.0%	72.0%	Altamente estresante
	IESFMH2		2.03	78.1%	70.5%	Críticamente estresante
La crisis económica en México, 1987-1988	IESFMH1	nov-87 a nov-88	1.63	82.0%	73.0%	Altamente estresante
	IESFMH2		2.67	83.1%	84.3%	Críticamente estresante
La Crisis Tequila, 1994-1995	IESFMH1	ene-95 a feb-96	1.78	79.1%	75.6%	Altamente estresante
	IESFMH2		2.22	79.5%	78.4%	Críticamente estresante
	IESFMH3		1.56	84.1%	79.2%	Altamente estresante
La crisis en el Este Asiático, 1997	IESFMH1	jul-dic 1997	-0.23	48.3%	19.5%	Moderadamente estresante
	IESFMH2		-0.56	41.7%	17.1%	Moderadamente estresante
	IESFMH3		-0.22	50.1%	18.2%	Moderadamente estresante
La moratoria de deuda en Rusia, 1998	IESFMH1	ago-98 a ene-99	0.36	73.4%	36.3%	Estresante
	IESFMH2		0.69	74.9%	46.7%	Estresante
	IESFMH3		0.61	80.4%	45.0%	Estresante
La incertidumbre sobre Brasil, 1998	IESFMH1	ene-ago 1998	0.34	69.8%	37.5%	Estresante
	IESFMH2		0.72	72.0%	48.1%	Estresante
	IESFMH3		0.60	79.8%	44.2%	Estresante
El Corralito en Argentina, 2001	IESFMH1	dic-01 a may-02	-0.16	44.4%	21.4%	Moderadamente estresante
	IESFMH2		-0.09	51.2%	33.9%	Estresante
	IESFMH3		0.03	54.3%	22.7%	Moderadamente estresante
	IESFMH4		0.19	63.9%	64.1%	Estresante
La crisis hipotecaria en los EEUU, 2008-2009	IESFMH1	oct-08 a sep-09	0.06	59.8%	28.7%	Moderadamente estresante
	IESFMH2		-0.11	55.1%	34.0%	Estresante
	IESFMH3		-0.02	55.9%	25.0%	Moderadamente estresante
	IESFMH4		0.20	63.8%	66.1%	Estresante
	IESFS		4.06	72.3%	46.5%	Altamente estresante
La crisis de deuda en los países PIIG en Europa, 2010-2011 ^{1/}	IESFMH1	may-jun 2009, sep-dic 2010, may-jun 2012	-0.42	35.9%	14.0%	Moderadamente estresante
	IESFMH2		-0.82	30.4%	11.0%	No estresante
	IESFMH3		-0.40	36.0%	9.7%	Moderadamente estresante
	IESFMH4		-0.39	39.4%	23.9%	Moderadamente estresante
	IESFS		0.10	56.4%	17.1%	Moderadamente estresante
El nivel de estrés actual	IESFMH1	mar-14	-0.42	38.0%	13.3%	Moderadamente estresante
	IESFMH2		-0.83	32.6%	12.9%	No estresante
	IESFMH3		-0.43	34.4%	7.1%	Moderadamente estresante
	IESFMH4		-0.42	36.2%	18.1%	Moderadamente estresante
	IESFS		-0.96	46.0%	9.5%	Moderadamente estresante

1/ abr-2010: rescate de Grecia I; sep-2011: incertidumbre sobre la solución al problema del endeudamiento soberano en Europa; may-2012: incertidumbre sobre España e Italia.

²⁵ **No estresante**, si la volatilidad del índice de estrés es menor a una desviación estándar, el índice percentil es menor al 33 por ciento y el índice escalado es menor al 33 por ciento. **Moderadamente estresante**, si al menos una de los tres criterios anteriores se rompe; **Estresante**, si al menos dos de los criterios anteriores se rompe; **Altamente estresante**, si al menos ocurren dos de las siguientes situaciones, la volatilidad es mayor a dos, el percentil o el nivel del índice son mayores al 66 por ciento; **Críticamente estresante**, si ocurren las tres situaciones anteriores de manera simultánea.

Acertadamente, las medidas de estrés para México identifican a la devaluación de 1976 como un episodio estresante, la moratoria de pagos de 1982, la crisis económica de 1987 y la crisis de 1995 como eventos altamente o críticamente estresantes. Por otro lado, se identificaron episodios de crisis externa y sus efectos sobre el estrés en el sistema financiero en México. Mientras que las medidas de estrés clasifican a la crisis asiática de 1997 como un evento moderadamente estresante para México, la moratoria rusa y la incertidumbre sobre la salud financiera de Brasil en 1998 se catalogan como eventos estresantes y la moratoria argentina como un episodio moderadamente estresante o estresante. Además, la crisis hipotecaria de 2008 se cataloga como un evento moderadamente estresante o estresante por los indicadores históricos, pero altamente estresante por la medida de estrés semanal que cuenta con información a partir de 2005. El resultado anterior va en línea con lo ya comentado, que las medidas de estrés son sensibles al periodo elegido para su construcción. Por último, la crisis de deuda soberana en Europa se cataloga como un evento moderadamente estresante para México por casi todas las medidas de estrés. A marzo de 2014, las medidas de estrés catalogan a la situación actual como moderadamente estresante.

Los resultados anteriores confirman que las diferentes medidas de estrés identifican satisfactoriamente a los principales eventos comúnmente conocidos de crisis financieras vividos en México. Los resultados son consistentes a través de distintas metodologías y diferentes periodos. Además, es posible cuantificar la magnitud de cada episodio de tensión con una medida cuantitativa.

6. El poder predictivo de las medidas de estrés

El índice de estrés está pensado para funcionar como una medida coyuntural y no para pronosticar situaciones de tensión futuras. Lo anterior como resultado del pobre poder predictivo de las variables que lo componen. A pesar de que a todas las variables se les removi6 su tendencia, 21 de las 30 cuentan con una ra6z unitaria de acuerdo con la prueba Dickey-Fuller Aumentada (ADF por sus siglas en ingl6s) y 18 de las 30 llegan a la misma conclusi6n usando la prueba de Phillips-Perron (PP), ambas con un nivel de confianza del 95 por ciento. La existencia de ra6ces unitarias en las series provocan que la varianza del pron6stico diverja y por lo tanto el intervalo de confianza del pron6stico sea mayor, haciendo menos preciso el pron6stico.

En la literatura es bien conocido que las pruebas de ra6ces unitarias, en particular, la ADF, padezcan de una baja potencia (Mahadeva y Robinson, 2004). La baja potencia de una prueba implica que de manera frecuente 6sta no es capaz de rechazar correctamente la hip6tesis nula, concluyendo que la serie cuenta con una ra6z unitaria.²⁶ El argumento anterior motiv6 la utilizaci6n de las pruebas de raz6n de varianzas (VR) para verificar si 6stas siguen procesos estoc6sticos denominados "caminatas aleatorias" y la prueba encontr6 que 20 de las 30 variables siguen a este tipo de proceso, utilizando un nivel de confianza del 95 por ciento. Los resultados anteriores implican que gran parte de las variables que

²⁶La potencia de una prueba es la probabilidad de rechazar una hip6tesis nula falsa. La baja potencia se deriva del hecho que la distribuci6n verdadera del estadistico de prueba no sea normal est6ndar y sea a su vez condicional al orden de integraci6n de la serie. Por ejemplo, si estamos utilizando el estadistico con un nivel de confianza del 95 por ciento y resulta que bajo su distribuci6n verdadera dicho valor corresponde al 90 por ciento, estar6bamos rechazando una hip6tesis nula que no deber6bamos de rechazar.

componen la medida de estrés padecen del nulo poder predictivo ya bien conocido de los procesos de caminatas aleatorias. Por lo tanto, es de esperar que la medida de estrés carezca de un nulo poder predictivo, al ser derivado éste de una combinación lineal de dichas variables (Cuadro 5).²⁷ El detalle de la metodología para realizar e interpretar las pruebas raíces unitarias ADF y PP, así como de la prueba de razón de varianzas (VR), se presenta en el Anexo 3.

Cuadro 5
El poder predictivo de las variables que componen los indicadores de estrés

Serie	H0: NO EXISTE UNA RAIZ UNITARIA			H0: ES CAMINATA ALEATORIA
	Valores p			Valor p
	DF Aumentada	Phillips-Perron	Coef(-1)	VR conjunto (RW)
ACCSF_IPC	0.3554	0.3155	-0.02	0.7868
BONOS_EXT	0.9999	1.0000	0.00	0.0000
CDS_GOBMEX	0.1822	0.0549	-0.03	0.5620
CETES3M	0.7870	0.7609	0.00	0.0000
CETES_EXT	0.9650	0.9854	0.00	0.0027
CREC_MXNUSD	0.2362	0.1641	-0.02	0.0032
EMBI_MEX	0.2222	0.0556	-0.03	0.5238
FOBAN_FOGUB	0.1220	0.1033	-0.03	0.3480
FOBAN_MAXMIN	0.0000	0.0000	-0.29	0.3088
INFLI_10A	0.0081	0.0040	-0.05	0.8031
LIBORFWD1M	0.0724	0.0000	-0.09	0.5405
LIBORSWAP3M	0.2059	0.0527	-0.03	0.7003
M10	0.4427	0.4295	-0.01	0.7833
PEND_GUB	0.3918	0.3685	-0.01	0.2700
R10Y_MXUS	0.0632	0.1006	-0.03	0.8977
RENDR_IPC	0.2609	0.3137	-0.02	0.0582
SPRD_INF	0.1271	0.0000	-0.08	0.0000
SPRD_MXNUSD	0.0001	0.0000	-0.18	0.3455
SPRD_NAFTRAC	0.0001	0.0000	-0.18	0.0002
SPRD_SUP	0.0663	0.0292	-0.04	0.7835
SWAPITO	0.0172	0.0000	-0.15	0.5699
TIIE_CETES	0.0000	0.0004	-0.08	0.0692
TIIE_FOBAN	0.0028	0.0000	-0.11	0.0364
VIMEX	0.1756	0.2090	-0.02	0.0523
VIMPLIC_TC3M	0.0407	0.0747	-0.03	0.4057
VOLA_CETES3M	0.0013	0.0048	-0.07	0.0243
VOLA_IPC	0.0058	0.0852	-0.04	0.0000
VOLA_M10	0.0124	0.0022	-0.06	0.0010
VOLA_MXNUSD	0.0215	0.0172	-0.04	0.0021
VOLAT_PRLV	0.0000	0.0000	-0.19	0.0017

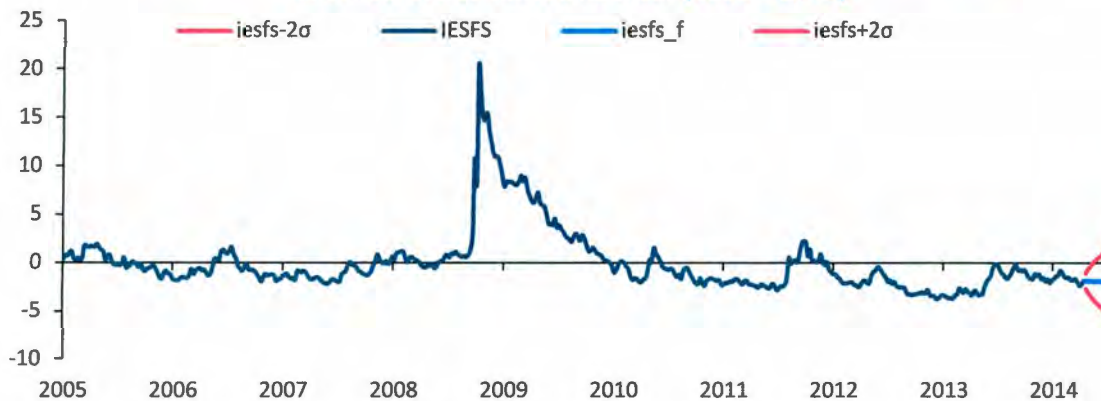
Todos los coeficientes rezagados son significativos al 95 por ciento. El tamaño de la muestra es de 414 observaciones por cada variable, que corresponde a un dato semanal de enero de 2005 a 2012.

²⁷Los procesos del tipo caminata aleatoria poseen una varianza de pronóstico que crece con el horizonte de pronóstico, por lo que la precisión del mismo se desvanece con el tiempo rápidamente. Sea $y_t = y_{t-1} + u_t$ una caminata aleatoria en donde u_t es un ruido blanco, es decir, $E(u_t) = 0$, $Var(u_t) = \gamma$, $Cov(u_t, u_{t+T}) = 0$ para toda $T > 0$, entonces $Var(y_{t+T}) = Var(u_{t+1}) + Var(u_{t+2}) + \dots + Var(u_{t+T}) = TVar(u_t) = T\gamma$.

En resumen, a pesar de que a las variables que componen a las diferentes medidas de estrés se les removi6 cualquier tendencia que pudieran tener, las pruebas de raices unitarias de las variables arrojan que la gran mayorfa de las series no son estacionarias en varianza. Dado que es conocida la baja potencia de las pruebas de raices unitarias cuando los coeficientes rezagados son cercanos a uno, se realizaron pruebas de raz6n de varianzas, pruebas que son m6s robustas y adem6s confirmaron la presencia de la no estacionariedad de las series.

Teniendo presente las conclusiones anteriores, se calcul6 un modelo de pron6stico para nuestra medida de estr6s. Dada la presencia de heterocedasticidad, se estim6 tambi6n un modelo para la varianza. El modelo elegido para el pron6stico del IESFS fue un modelo ARMA (1,0), junto con una especificaci6n GARCH (1,1). La justificaci6n del uso de este modelo radica en su parsimoniedad, adem6s que logr6 obtener el m6s bajo criterio de informaci6n de Akaike, Schwarz y Hannan-Quinn de entre otros modelos con m6s rezagos. Los coeficientes del modelo adem6s son significativos al 95 por ciento y logran obtener residuos ‘limpios’, es decir estacionarios en media y varianza, utilizando un intervalo de confianza del 99 por ciento (Cuadro 6).

Gráfica 10
El pronóstico del IESFS: pronóstico e intervalo de confianza
Pronóstico a 3 meses del IESFS [Modelo ARMA (1,0) GARCH(1,1)]
 Nivel del estrés sin estandarizar (2005 – 2013)^{1/}



1/ Un mayor nivel de estrés financiero está asociado con mayores niveles del índice.
 Cifras al 17 de abril de 2014.
 Fuente: Banco de México y Bloomberg.

Como se puede apreciar en la Gráfica 10, el desempeño del pronóstico utilizando la especificación arriba descrita es pobre, en el sentido que los intervalos de confianza del pronóstico son amplios: en un horizonte de dos meses el intervalo de confianza inferior al 95 por ciento del pronóstico puede llegar a niveles de estrés históricamente mínimos, mientras que en el límite superior del intervalo de confianza puede alcanzar niveles de estrés similares a los alcanzados en la reciente crisis soberana europea. En resumen, los resultados del pronóstico del modelo ARMA(1,0) y GARCH(1,1) confirman que la medida de estrés es una herramienta coyuntural y no es útil para pronosticar situaciones de estrés futuras de manera eficaz, ya que se compone de una combinación lineal de variables que en su mayoría no son pronosticables por contar con una raíz unitaria.

7. El vínculo entre la medida de estrés financiero y la actividad económica

Una de las principales motivaciones de este trabajo es desarrollar una medida que ayude a identificar cuando los niveles de tensión o estrés en el sistema financiero son lo suficientemente elevados como para que la intermediación de recursos financieros se vea interrumpida. La intermediación de recursos financieros juega un papel trascendental en el crecimiento económico.²⁸ Aquellos países que logran canalizar los recursos de los individuos con excedentes hacia aquellos que los necesitan, de forma eficaz y cubriendo un amplio espectro de necesidades financieras y de riesgo de los agentes, logran detonar las oportunidades de inversión que generan riqueza y crecimiento en una economía. Resulta entonces natural preguntarse si la medida de estrés es efectiva también para lograr dicho propósito, es decir, evaluar la salud del sistema financiero así como si tiene relación o no con la actividad económica. Más específicamente, si las situaciones de estrés elevado en el sistema financiero, capturadas con las medidas aquí construidas, están relacionadas con caídas significativas en la actividad económica. Más aún, es interesante explorar si los aumentos en el estrés que arroje nuestra medida puedan ayudar a alertar anticipadamente caídas en la actividad económica.

Antes de entrar en detalles acerca de la metodología que se utilizó para probar las hipótesis descritas arriba, es importante discutir sobre los canales a través de los cuales el estrés financiero se transmite hacia la actividad económica. Hakkio y Keeton (2009) proponen tres canales de transmisión del estrés financiero. El primero tiene que ver con la

²⁸ Existe una literatura amplia y contundente sobre el efecto benéfico de una intermediación eficiente de recursos por parte del sistema financiero y el crecimiento económico. Ver, por ejemplo, Levine, et.al. (1999).

incertidumbre sobre el valor de los activos financieros, en especial de los activos riesgosos. Dicha incertidumbre genera volatilidad en los precios de los activos financieros y proviene de dos fuentes: incertidumbre sobre el valor fundamental de los activos financieros y sobre el comportamiento de los inversionistas. Las condiciones de elevada volatilidad generan un recorte en los planes de gasto de los hogares y de inversión para las empresas, situación que conlleva a una caída en la actividad económica.

El segundo y tercer canal de transmisión tienen que ver con el incremento en el costo del financiamiento así como con el endurecimiento de los estándares crediticios para las empresas y los hogares. La incertidumbre sobre el valor de los activos financieros genera asimetrías de información que provoca que los inversionistas demanden mayores rendimientos por los activos financieros que ellos mantengan, en especial los riesgosos. En particular, en situaciones de incertidumbre la banca tiende a incrementar los costos de los nuevos créditos para protegerse de mayores incumplimientos de sus clientes, o incluso puede endurecer los criterios de originación crediticios para hacer más difícil la obtención de nuevos créditos. Ambas medidas buscan contener el deterioro de la cartera pero llegan a frenar el crédito y por tanto la labor de intermediación del sistema bancario, mermando como resultado el crecimiento económico.

Teniendo presentes los canales de transmisión descritos en los dos párrafos anteriores, la Gráfica 11 muestra la relación que existe entre la actividad económica, medida a través de la variación real anual del PIB, y tres variables relacionados con los canales de transmisión: el nivel de deterioro de la cartera bancaria al sector privado, el margen financiero sobre activos y el crecimiento real del crédito al sector privado, para el periodo

2006-mar13.²⁹ Aunque existe una medida de endurecimiento de los estándares crediticios realizada por Banco de México,³⁰ esta se comenzó a publicar apenas en 2009 de manera trimestral y por su corta historia no será utilizada para este análisis, de manera que se utilizará en su lugar el crecimiento real de la cartera para medir el canal de transmisión del endurecimiento de los estándares crediticios. El nivel de morosidad y el margen financiero muestran una fuerte relación negativa con la actividad económica, muy en línea con lo predicho por los canales de transmisión descritos arriba. Los coeficientes de correlación contemporáneos con la actividad económica se encuentran en el orden del - 0.77 por ciento para la morosidad de la cartera bancaria al sector privado y - 0.63 para el margen financiero (Gráficas 11a y b). Por su parte, también se observa una fuerte relación positiva entre el crecimiento del crédito y el crecimiento de la actividad económica, con una correlación del 0.44 por ciento (Gráfica 11c).

²⁹ No obstante se cuenta con información de las tres variables a partir de 2000, debido a la crisis de 1995 se observa un importante ajuste hacia la baja en la morosidad, así como una fuerte volatilidad en el margen financiero antes de 2006, por lo que se descartará dicha información.

³⁰ Encuesta de evaluación coyuntural del mercado crediticio.

Gráfica 11

Canales de transmisión del estrés financiero hacia la actividad económica

a) Nivel de morosidad de la cartera bancaria y el PIB

b) Margen financiero sobre activos de la banca y el PIB

c) Crecimiento real de la cartera bancaria y el PIB



Cifras a marzo de 2014.

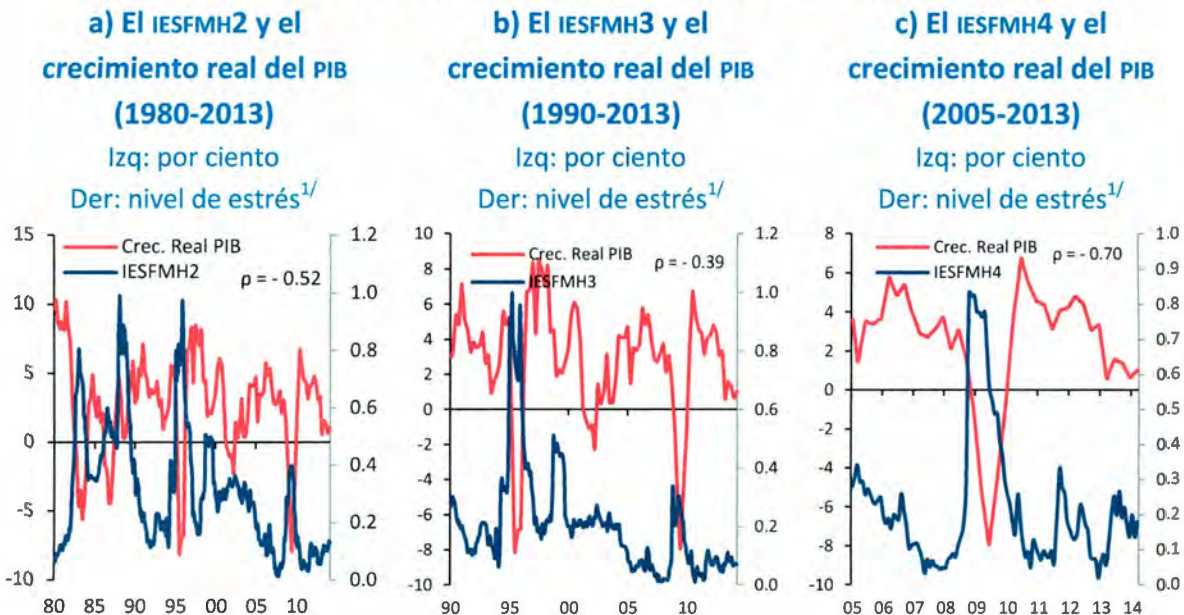
Fuente: CNBV y Banco de México.

Ahora bien, una vez que se corroboró la existencia del vínculo entre las variables financieras y la actividad económica, se estudió la relación existente entre nuestra medida de estrés de componentes principales y el crecimiento de la actividad económica. Como ya se había mencionado en la subsecciones anteriores, las variables que conforman la medida de estrés incorporan a las anteriores tres, más otras medidas que capturan la incertidumbre en los mercados, canal de transmisión que no había sido estudiado en el análisis anterior. La Gráfica 12 muestra la relación existente entre la medida por excelencia de la evolución de la actividad económica, el crecimiento real del PIB, y las medidas de estrés construidas para cada periodo. Llama la atención la fuerte correlación existente entre ambas variables en los tres periodos analizados, en particular, durante los periodos de mayor estrés se observan fuertes caídas en la actividad económica. Las correlaciones rondan el -0.5 para el índice de estrés que arranca en 1980, -0.4 para la que empieza en 1990 y -0.7 para el índice

que comienza en 2005.³¹ Vale la pena recordar que para cada horizonte de tiempo se utilizó una medida de estrés distinta, ya que en fechas más recientes se dispone de más variables para construir la medida de estrés.

Gráfica 12

La medida de estrés financiero y la actividad económica



Cifras a marzo de 2014.

1/ Un mayor nivel de estrés financiero está asociado con mayores niveles del índice.

Fuente: CN3V y Banco de México.

Otra medida de la actividad económica que ha ganado importancia es el indicador coincidente de actividad económica, publicado por el INEGI.³² Dicho indicador se compone de indicadores relacionados con la actividad económica cuyos movimientos coinciden con

³¹ Durante el periodo 2000-2005 el índice de estrés observó una importante corrección a la baja en vista que muchas variables financieras observaron importantes reducciones en su variabilidad, como lo fueron las tasas de referencia del gobierno, el tipo de cambio, entre otras, y por tanto en dicho periodo se observa una nula relación clara entre el crecimiento del PIB y la medida de estrés (correlación igual a cero). La correlación para el periodo 2000-2012 alcanzó un -0.2 por ciento.

³² Ver Heath, Jonhatan (2012).

los del ciclo económico.³³ La ventaja de trabajar con un indicador compuesto en lugar de un solo indicador del ciclo económico radica en que una variable individual puede registrar movimientos erráticos y dar señales equivocadas acerca del ciclo económico, mientras que el compuesto minimiza las variaciones idiosincráticas de las variables individuales y por ello es más preciso. Además, es posible agrupar en una sola medida a los diversos indicadores que son distintos entre sí, pero que están estrechamente relacionadas con el ciclo económico, tales como la producción industrial y el empleo.

La Gráfica 13 presenta nuevamente a nuestra medida de estrés y el indicador coincidente del ciclo económico. De nuevo, sobresale la fuerte correlación negativa existente entre ambas variables, sin importar la medida de estrés y el periodo que se hayan tomado. Las correlaciones están en el orden del -0.5 al -0.7. Se concluye que, para el periodo estudiado (1980-2013), la medida de estrés está estrechamente vinculada con el ciclo económico, es decir, a mayor tensión en las variables financieras, menor actividad económica y viceversa.

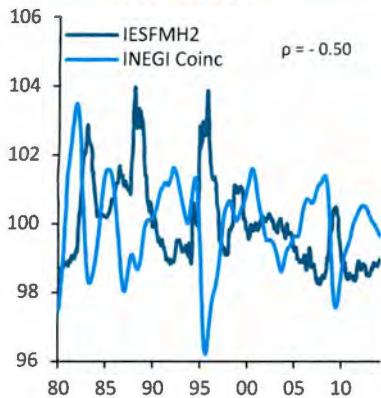
³³ Las variables que componen el Indicador Coincidente son el Indicador de la Actividad Económica Mensual, el Indicador de la Actividad Industrial, el Índice de Ventas Netas al por menor en los Establecimientos Comerciales, el Número de Asegurados Permanentes en el IMSS, la Tasa de Desocupación Urbana y las Importaciones Totales.

Gráfica 13

La medida de estrés financiero y el indicador coincidente del ciclo económico

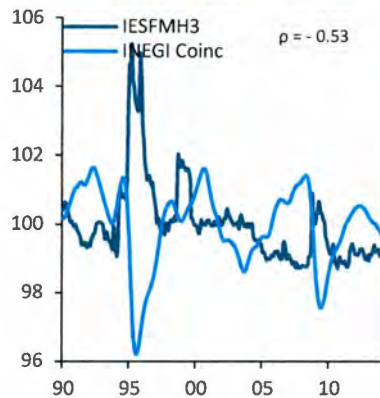
a) El IESFMH2 y el indicador coincidente INEGI (1980-2012)

Nivel de estrés y de actividad económica ^{1/}



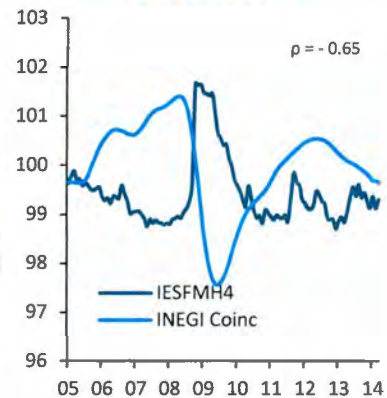
b) El IESFMH3 y el indicador coincidente INEGI (1990-2012)

Nivel de estrés y de actividad económica ^{1/}



c) El IESFMH4 y el indicador coincidente INEGI (2005-2012)

Nivel de estrés y de actividad económica ^{1/}



Cifras a marzo de 2014.

1/ Un mayor nivel de estrés financiero está asociado con mayores niveles del índice.

Fuente: CNBV y Banco de México.

Como es conocido en el campo de la estadística, la correlación no dice nada acerca de la causalidad. Es de particular importancia conocer si la medida de estrés es capaz de anticipar o no variaciones en la actividad económica, es decir, si en el periodo actual una situación de elevada tensión se traducirá o no en una caída en la actividad económica. Hakkio y Keeton (2009) encontraron una respuesta favorable a la anterior pregunta para los EEUU, en particular, encontraron que se necesitaría observar una variación de 7 desviaciones estándar en la medida de estrés para que la economía estadounidense entre en recesión.

A continuación se presenta un ejercicio de causalidad de Granger entre la medida de estrés y la actividad económica, medida a través del crecimiento real del PIB y del

indicador cíclico coincidente, para los periodos de 1980, 1990 y 2000. La prueba de Granger básicamente estima para cada variable una regresión con valores rezagados de ella misma y de otra variable. En particular, se podría establecer la causalidad en el sentido de Granger cuando los valores rezagados de la medida de estrés ayuden a explicar a la actividad económica, mientras que los valores rezagados de la actividad económica no ayuden a explicar al índice de estrés.³⁴

Para este ejercicio es importante considerar la medibilidad de ambos indicadores, es decir, considerar que mientras que las medidas de estrés cuentan con un mes de rezago, la variación real del PIB y el indicador coincidente cuentan con tres meses de rezago.

En el Cuadro 7 se presentan los principales resultados de las pruebas de causalidad anteriores, utilizando las medidas de estrés calculadas para cada periodo. Es importante recordar que las medidas de estrés de cada periodo son diferentes en cuanto al número de variables financieras que las componen. El número de rezagos para la prueba se eligieron utilizando el criterio de Akaike y de Schwartz y también se presentan en dicha tabla.³⁵ Los resultados muestran que la medida de estrés ayuda a predecir cambios en la actividad económica, para los periodos 1980, 1990 y 2005 con un nivel de confianza del 99, 95 y 99 por ciento, respectivamente. Sin embargo, la medida de estrés calculada para 2000 resultó no ser significativa bajo ningún nivel de confianza, ya que en el periodo 2000-2005 como

³⁴ Para mayor detalle sobre esta prueba, consultar cualquier libro de econometría de series de tiempo. El libro titulado: "Introducción a la Econometría" de Wooldridge (2004) es una buena referencia, por ejemplo.

³⁵ Los criterios de información son medidas de la calidad relativa de un modelo. Una referencia sencilla del uso de ambos criterios de información se encuentra en el manual de ayuda del paquete econométrico EViews, en el apartado de criterios de información.

se comentó anteriormente el estrés sufrió una reducción importante en su nivel, caída que no está relacionada con la actividad económica.

Por otro lado, se realizaron las mismas pruebas de causalidad pero ahora se tomó el indicador cíclico coincidente del INEGI como medida de la actividad económica. Los resultados fueron menos contundentes que cuando se utilizó el PIB como medida de actividad económica, es decir, la medida de estrés resultó causar en el sentido de Granger a la medida coincidente de actividad económica para los periodos de 1990 y 2005, pero no para los periodos de 1980 y 2000, con un nivel de confianza del 95 por ciento (Cuadro 7).

Cuadro 7
Los resultados de las pruebas de causalidad de Granger

Indicador	Rezagos ^{1/}	Ho: El IESFMH no causa al crec. del PIB	Ho: El crec. del PIB no causa al IESFMH	Conclusión	Nivel de confianza
		Valor p			
H2 (1980-2012)	2	0.0051	0.0377	IESFMH → Crec. del PIB	99%
H3 (1990-2012)	2	0.0404	0.4649	IESFMH → Crec. del PIB	95%
H4a (2000-2012)	2	0.1105	0.6217	IESFMH ↔ Crec. del PIB	n.d.
H4b (2005-2012)	2	0.0014	0.5824	IESFMH → Crec. del PIB	99%

Indicador	Rezagos ^{1/}	Ho: El IESFMH no causa al ICC ^{2/}	Ho: El ICC ^{2/} no causa al IESFMH	Conclusión	Nivel de confianza
		Valor p			
H2 (1980-2012)	3	0.0002	0.0014	IESFMH ↔ ICC	n.d.
H3 (1990-2012)	3	2.00E-05	0.0795	IESFMH → ICC	95%
H4a (2000-2012)	3	0.0393	0.0229	IESFMH ↔ ICC	n.d.
H4b (2005-2012)	3	2.00E-05	0.0504	IESFMH → ICC	95%

1/ Rezagos óptimos de la prueba de Granger al estimar un modelo VAR bajo los criterios de Akaike y Schwartz.

2/ ICC = Índice Cíclico Coincidente, publicado por el INEGI.

Una vez que se estableció la causalidad entre la medida de estrés y la de actividad económica, se plantearon las siguientes interrogantes: ¿qué tan importante es dicha

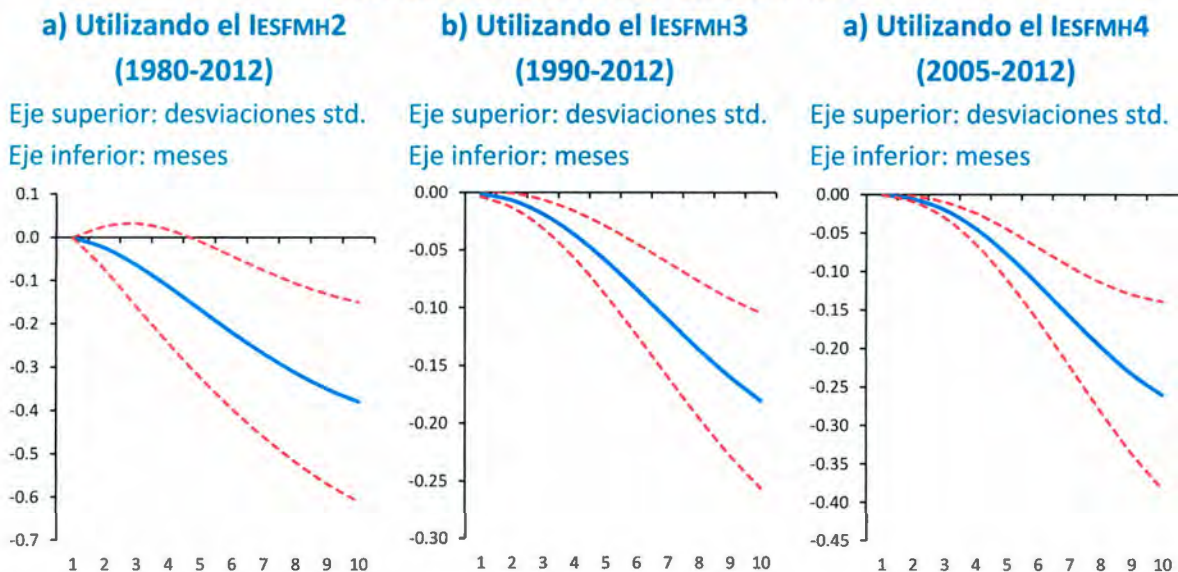
relación?, es decir, si se observa una perturbación en los mercados financieros que produzca suficiente estrés, y ¿cuánto de ese estrés se transmite al nivel de actividad económica? Para contestar a las interrogantes anteriores se realizó un análisis de impulso respuesta. Se estimaron modelos tipo VAR entre las medidas de estrés y de actividad económica, utilizando para ello los rezagos óptimos de las pruebas de Granger. La Gráfica 13 presenta los resultados de las pruebas de impulso respuesta sobre la actividad económica cuando se presenta una perturbación de una desviación estándar en las respectivas medidas de estrés (equivalentes en promedio a un aumento en el nivel de estrés de 12 puntos porcentuales desde su valor medio histórico).³⁶ Los resultados de las pruebas mostraron que la actividad económica decaería hasta 0.38 desviaciones estándar, equivalente a una disminución de 1.4 por ciento en el PIB real, en el transcurso de 10 meses, utilizando la medida de estrés para el periodo 1980-2012. Para el periodo 1990-2000 la perturbación en el estrés de una desviación estándar provocaría una caída en el PIB real de 0.6 por ciento, mientras que para el periodo 2005-2012 se registraría una reducción en el PIB de 0.9 por ciento. Los resultados anteriores son significativos al 95 por ciento de confianza como se observa en la Gráfica 13 ya que los intervalos de confianza recaen casi siempre en el intervalo negativo.

En conclusión, las pruebas de causalidad muestran que elevados niveles de estrés sí tienen un impacto en la actividad económica. La cuantía del impacto varía entre el nivel de estrés usado pero en general la actividad económica cae uno por ciento en términos reales

³⁶ Una perturbación en las medidas de estrés de una desviación estándar equivale al estrés que se observó en la crisis rusa de 1998 o la crisis *subprime* de 2008. Desviaciones estándar de tres o más fueron observadas durante la crisis de 1995, la de 1987 y 1982.

en el transcurso de diez meses cuando el nivel de estrés aumenta en una desviación estándar. Los resultados son significativos al 95 por ciento de confianza.

Gráfica 14
Respuesta del crecimiento real del PIB ante una perturbación de una desviación estándar en el IESFMH



Cifras a marzo de 2013.

Fuente: Cálculos propios con información de la CNBV y Banco de México.

8. Conclusiones

Se construyó una medida de estrés del sistema financiero mexicano a partir de variables de los diferentes mercados financieros, utilizando una metodología que garantiza la máxima identificación de situaciones de estrés financiera. La medida construida es continua, es decir, permite cuantificar los diversos episodios de estrés a partir de su magnitud. Además, el índice de estrés se puede descomponer fácilmente en sus componentes, de manera que es

muy sencillo identificar la fuente de estrés que afecta al sistema financiero en un determinado periodo. Las conclusiones derivadas de este estudio fueron las siguientes:

- La medida de estrés de componentes principales identifica satisfactoriamente los episodios de tensión financiera más conocidos que ha experimentado la economía mexicana. Los resultados son robustos a través de diferentes periodos y del uso de otras metodologías de reducción de dimensiones.
 - En particular, se identifican los periodos de 1982-1983, 1987-1988 y 1994-1995 como los periodos críticamente estresantes para México, seguidos de la devaluación de 1976 como altamente estresante, mientras que la moratoria de pagos rusa de 1998 y la crisis hipotecaria de los EEUU que se identifican como periodos estresantes y la crisis de deuda soberana de Europa de 2010-2011 se identifica como un periodo moderadamente estresante. El nivel de estrés a actual se clasifica como no estresante.
- Sobre el poder predictivo del índice, se realizaron pruebas de raíces unitarias a las variables que componen las medidas de estrés. A pesar de que a todas las variables se les removió su tendencia, las pruebas de raíces unitarias y de razón de varianzas confirman la presencia de series no estacionarias para la gran mayoría de las variables financieras incluidas en las medidas de estrés, hecho que impide realizar un pronóstico consistente para las variables y por tanto para las medidas que se componen de éstas, como lo es el indicador de estrés. La medida de estrés resultó tener una raíz unitaria para el periodo analizado y entonces su utilidad como medida de pronóstico se pierde, por lo que se debe utilizar como una medida coyuntural y no para predecir situaciones futuras de estrés.

- Finalmente, se realizó un ejercicio para verificar si las situaciones de estrés elevado en el sistema financiero, capturadas con las medidas aquí construidas, están relacionadas con caídas significativas en la actividad económica. En particular, si los aumentos en el estrés alertan de manera anticipada caídas en la actividad económica. Lo anterior como resultado de la mayor oportunidad que muestran las variables financieras en comparación con las variables económicas. Los resultados de las pruebas de causalidad mostraron que la actividad económica se ve afectada por una mayor tensión en las variables financieras, aunque las pruebas de impulso y respuesta señalan que su impacto es moderado: en promedio se observaría una caída en la actividad económica de uno por ciento por un aumento de una desviación estándar en la medida de estrés en el transcurso de diez meses. Niveles de estrés mayores a una desviación estándar sólo han sido observados en los periodos altamente o críticamente estresantes de 1976, 1982, 1987 y 1994.

II. Mecanismos de transmisión del estrés financiero

1. Introducción

En el apartado anterior se estableció una metodología para medir el estrés en el sistema financiero mexicano, sus componentes, su predictibilidad y su relación con el ciclo económico, pero no se dijo nada sobre los mecanismos que conllevan a que se genere tensión en los mercados. Conocer dichos mecanismos o canales de transmisión del estrés financiero es muy importante para la estabilidad financiera, ya que en la medida que se conozcan dichos canales se podría diseñar una política que atenúe el efecto negativo que podría tener una perturbación sobre el sistema financiero y que pudieran desencadenar una crisis.

Este capítulo representa un esfuerzo para determinar i) si episodios turbulentos observados a partir de 1990 en las economías desarrolladas y en algunas economías latinoamericanas como México y Brasil fueron transmitidos hacia las principales economías de América Latina, utilizando los mercados accionarios de los países, y ii) determinar cuáles han sido los principales mecanismos de transmisión del contagio financiero hacia México y otras economías latinoamericanas.

Para responder al primer objetivo, es conveniente dejar claro que se entiende por contagio financiero. Siguiendo la definición de Forbes y Rigobon (2002), contagio se define como “*un aumento significativo de los vínculos entre los mercados después de que ocurre una perturbación o choque en un país*”. De acuerdo con esta definición, si dos

mercados mantienen una estrecha relación en periodos de estabilidad y dicha relación se mantiene en periodos turbulentos, lo anterior no es contagio, sino una señal de la interdependencia entre los mercados de los países que se mantiene tanto en periodos de calma como volátiles. La definición anterior es en cierto modo restrictiva, aunque posee dos ventajas importantes, la primera radica en que proporciona un marco sencillo para comprobar si se produce el contagio. Basta con comparar los vínculos entre dos mercados (por ejemplo, el coeficiente de correlación) durante un período relativamente estable con los vínculos observados después de un evento de volatilidad. El contagio se produce cuando se observa un aumento significativo entre los vínculos de los mercados entre países después del choque. Esta prueba de contagio fue la base de esta literatura hasta la crisis financiera de finales de la década de los noventa. La otra ventaja de esta definición es que evita proponer explicaciones de cómo se transmiten las crisis en los mercados, pregunta que ha sido un gran desafío en la literatura por su dificultad para poderla probar empíricamente (Forbes y Rigobon, 2002).

El segundo objetivo de este capítulo tiene que ver con cuantificar y determinar los principales canales de contagio de una economía hacia otra. Diversos estudios han buscado dicho objetivo pero los problemas de medición de cada uno de los canales de contagio y para obtener información histórica lo suficientemente completa han sido un obstáculo para dar una respuesta definitiva sobre este punto (Collins y Gavron, 2004). Siguiendo la metodología propuesta por los autores antes señalados, en este apartado se hace un esfuerzo para identificar los canales de transmisión del contagio de cada uno de los países latinoamericanos estudiados: Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México y Perú.

La literatura ha identificado diversos canales de contagio financiero entre las economías, algunos estudios hablan de factores internos ligados a los fundamentales de una economía que las hace más fuertes o vulnerables a perturbaciones con respecto a otros, países, otros estudios ligan el contagio con los vínculos comerciales y financieros y otros estudios hablan del comportamiento de los inversionistas globales. La principal aportación de este capítulo es medir y relacionar a cada uno de estos canales de contagio con situaciones de tensión entre las economías latinoamericanas y así poder establecer qué canal (si es que hubo alguno) fue el más importante generador de tensión financiera para la economía mexicana en un determinado periodo, considerando el horizonte de tiempo más largo posible que permita estudiar el mayor número de eventos de crisis y no sólo uno en particular.

El resto de esta sección está organizada de la siguiente manera. La segunda sección describe brevemente la literatura que utiliza coeficientes de correlación para medir el contagio, además se presenta una prueba formal para demostrar que la heterocedasticidad puede sesgar las pruebas de correlación. Además, se describe la base de datos utilizada y se presentan los resultados de las pruebas de contagio ajustadas por heterocedasticidad. La tercera sección describe la literatura sobre la identificación y medición de los canales de contagio financiero. La cuarta sección presenta la primera de las metodologías utilizadas para evaluar los canales de contagio: la tabla de contingencia y las pruebas de independencia Chi cuadrado, mientras que la quinta sección hace lo propio con otra metodología, la del modelo logístico. Por último, la sexta sección presenta concluye este apartado y presenta posibles extensiones a este trabajo.

2. La transmisión de perturbaciones entre países: evidencia de contagio

Uno de los primeros métodos utilizados para medir la transmisión de perturbaciones a otros países fue el de coeficientes de correlación entre mercados. Este enfoque es sencillo de implementar y consiste en calcular la correlación de los rendimientos de los índices accionarios de dos mercados durante un período de estabilidad o baja volatilidad y otro período de alta volatilidad o perturbación. Si el coeficiente de correlación entre los mercados de los países registra un aumento significativo después de un período volátil en uno de los mercados, sugiere que el mecanismo de transmisión entre los dos mercados es reforzado después de que se produjo el choque y el contagio. En el primer trabajo importante con este enfoque, King y Wadhvani (1990) encontraron para un aumento de las correlaciones entre los mercados de valores de los Estados Unidos, el Reino Unido y Japón. Calvo y Reinhart (1996) utilizan este método para la prueba de contagio en los precios de las acciones y los bonos Brady después de la crisis del peso mexicano de 1994 y también encuentran que las correlaciones entre mercados aumentaron en muchos mercados emergentes durante la crisis, es decir, se produjo el contagio.

Estudios importantes que utilizan la metodología de correlaciones como el de King y Wadhvani (1990) encuentran aumentos importantes en la interrelación de los mercados accionarios de Japón, Reino Unido y los EE.UU. después de la crisis accionaria de ese país de 1987. Calvo y Reinhart (1996) utilizan los precios de los bonos Brady y de las acciones de países emergentes y encuentran un aumento en la interrelación para países emergentes tras la crisis de México de 1994. Sin embargo, Forbes y Rigobon (2002) señalan que los coeficientes de correlación entre mercados están condicionados a la volatilidad del

mercado, es decir, durante los periodos de crisis que se observa mayor volatilidad, las estimaciones de los coeficientes de correlación tienden a aumentar y estar sesgados al alza. Por lo tanto, cuando las pruebas de correlación no ajustan este sesgo, los estudios de contagio basados en correlaciones podrían estar encontrando erróneamente evidencia de contagio. Siguiendo el trabajo de los autores mencionados, en este apartado se medirá la interrelación ajustada por heterocedasticidad que existe entre los índices accionarios de referencia en los mercados accionarios de seis países de América Latina después que se registraran perturbaciones en los índices accionarios de economías desarrolladas como los Estados Unidos y Europa, así como en economías latinoamericanas que fueron origen de fuertes perturbaciones durante el periodo 1990-2013.

Sin embargo, las pruebas de contagio basadas en coeficientes de correlación no son exactas debido a la heterocedasticidad presente en los rendimientos del mercado. La discusión de este sesgo fue motivada por Ronn (1998), que aborda esta cuestión en la estimación de las correlaciones intra-mercado de acciones y bonos. A continuación se presenta una prueba de cómo la heterocedasticidad sesga positivamente el coeficiente de correlación entre mercados, provocando que los estudios que no hagan un ajuste por ello encuentren evidencia de contagio cuando realmente no existe.

Supongamos que x y y son variables aleatorias que representan los rendimientos del mercado de valores (en diferentes mercados), y dichos rendimientos están relacionados de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$y_t = \alpha + Bx_t + \epsilon_t, \quad (1)$$

Donde

$$\mathbf{E}[\epsilon_t] = \mathbf{0}, \quad (2)$$

$$\mathbf{E}[\epsilon_t^2] = c < \infty \quad (3)$$

(Donde c es una constante), y

$$\mathbf{E}[x_t \epsilon_t] = \mathbf{0}. \quad (4)$$

Ahora dividamos la muestra de x_t en dos grupos, de modo que su varianza es inferior en un grupo (l) y más alta en el segundo grupo (h). En los términos de nuestra definición de contagio, el grupo de baja varianza es el período de relativa estabilidad del mercado y el grupo de alta varianza es el periodo de turbulencias en el mercado inmediatamente después de la conmoción o crisis.

A continuación, ya que $\mathbf{E}[x_t \epsilon_t] = \mathbf{0}$ por el supuesto de la ecuación (4), el parámetro de la ecuación estimada por MCO (1) debe ser consistente para ambos grupos y $\beta^h = \beta^l$. Por construcción, sabemos que $\sigma_{xx}^h > \sigma_{xx}^l$, y cuando esta desigualdad se combina con la definición desviación estándar de β :

$$\beta^h = \frac{\sigma_{xy}^h}{\sigma_{xx}^h} = \frac{\sigma_{xy}^l}{\sigma_{xx}^l} = \beta^l, \quad (5)$$

Implica que $\sigma_{xy}^h > \sigma_{xy}^l$. En otras palabras, la covarianza cruzada de mercados es mayor en el segundo grupo. El aumento de la covarianza cruzada de mercado desde el primer grupo es directamente proporcional al incremento en la varianza de x . Mientras tanto, de acuerdo con la ecuación (1), la varianza de y es:

$$\sigma_{yy} = \beta^2 \sigma_{xx} + \sigma_{ee}. \quad (6)$$

Dado que la varianza del residual es positiva, el aumento en la varianza de y entre los grupos es menos que proporcional al aumento en la varianza de x . En otras palabras, ya que se supone que la varianza de los residuos que se mantiene constante en toda la muestra, lo anterior implica que el aumento en la varianza de y entre los grupos es menos que proporcional al aumento en la varianza de x . Por lo tanto,

$$\left(\frac{\sigma_{xx}}{\sigma_{yy}}\right)^h > \left(\frac{\sigma_{xx}}{\sigma_{yy}}\right)^l. \quad (7)$$

Finalmente, al sustituir la ecuación (5) en la definición de correlación:

$$\rho = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = \beta \frac{\sigma_x}{\sigma_y}, \quad (8)$$

Y cuando la relación anterior se combina con la ecuación (7), implica que $\rho^h > \rho^l$. Como resultado, la estimación de correlación entre x e y aumenta cuando la varianza de x aumenta, incluso si la verdadera relación (β) entre x y y es constante. Por lo tanto, las

pruebas de contagio basadas en el coeficiente de correlación pueden ser engañosas. Los mercados tienden a ser más volátiles después de una perturbación. Por lo tanto, el coeficiente de correlación sin ajustar por heterocedasticidad tenderá a aumentar después de una crisis, incluso si el coeficiente de correlación ajustado por heterocedasticidad es el mismo que durante períodos más estables. En otras palabras, la heterocedasticidad en los rendimientos de los mercados puede hacer que las estimaciones de los coeficientes de correlación entre mercados estén sesgadas al alza después de una crisis. Las pruebas formales de contagio podrían encontrar un aumento significativo de los coeficientes de correlación después de observar un periodo volátil. Si no se ajusta por el sesgo mencionado, no es posible deducir si el aumento en la correlación sin ajustar representa un aumento verdadero en la correlación o simplemente se generó por un aumento de la volatilidad del mercado.

El ajuste de los coeficientes de correlación por heterocedasticidad fue motivado por Ronn (1998) y planteado formalmente para temas de contagio por Forbes y Rigobon (2002). Es importante destacar que, como lo señalan estos últimos autores, un problema del ajuste por heterocedasticidad propuesto radica en para que sea efectiva supone que no existen variables omitidas (ecuación 2) o endogeneidad entre los mercados (ecuación 4). En otras palabras, el ajuste por heterocedasticidad en los coeficientes de correlación sólo es válido si no se presentan choques globales exógenos ni la retroalimentación entre mercados. Los supuestos anteriores parecerían ser una simplificación restrictiva, pero actualmente no existe ningún procedimiento alternativo que permita ajustar el coeficiente de correlación sin hacer estas dos suposiciones.

Para cumplir con los supuestos que requiere el ajuste por heterocedasticidad en los coeficientes de correlación, se utiliza un modelo VAR para estimar las correlaciones entre mercados. Los rendimientos obtenidos con dicho modelo se utilizarán para calcular las correlaciones para cada par de países durante el período de estabilidad, el período de crisis, y el período completo. La especificación del modelo es la siguiente:

$$X_t = \phi(L)X_t + \Phi(L)I_t + \eta_t$$

$$X_t \equiv (x_{it}, x_{Bt})$$

$$I_t \equiv (i_{Gt})$$

En donde x_{it} y x_{Bt} son las dos variables endógenas (el rendimiento del mercado accionario del país i y del país base, respectivamente) que dependen de sus respectivos valores rezagados. I_t y I_{Gt} se miden con la tasa de los bonos del tesoro de los EEUU, así como de los bonos soberanos alemanes como una medida de las tasas globales de corto plazo y se supone exógenas en el modelo. Por último, η_t representa al término de error.

La base de datos utilizada incluye las series diarias de los principales índices accionarios de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México, Perú, los EEUU y la Unión Europea, para el periodo de enero de 1990 a diciembre de 2013. La fuente de información es Bloomberg.

Se definen dos periodos, un periodo con una elevada volatilidad y otro con baja volatilidad. La volatilidad se calculó como un promedio histórico de los rendimientos

diarios de los últimos tres meses. Asimismo, se definió como periodos de alta volatilidad aquellos en los cuales la volatilidad estandarizada de cada una de las series superó el valor de 1.5. La razón de tomar dicho nivel umbral de volatilidad radica en que es un nivel lo suficientemente estresante para capturar los periodos de mayor volatilidad y al mismo tiempo mantiene suficientes observaciones para dicho periodo. Por ejemplo, los periodos de alta volatilidad representan en promedio un 7.3 por ciento de toda la muestra, mientras que un nivel umbral de 2 deja sólo un 3.9 por ciento de periodos volátiles. Las pruebas de sensibilidad muestran que la modificación de la especificación del modelo no tiene impacto significativo en los resultados obtenidos.³⁷

Para efectos de comparación, se calcularon dos tipos de coeficientes de correlación, uno sin ajustar y otro ajustado para remover el efecto del aumento de la varianza en la correlación. Para llevar a cabo dicho ajuste, es necesario distinguir los periodos de elevada volatilidad (h) de los periodos de baja volatilidad (l) para cada país i , de manera que se obtiene el parámetro de ajuste δ :

$$\delta_i = \frac{\sigma_{ii}^h}{\sigma_{ii}^l} - 1$$

La heterocedasticidad ajustada para cada país se utiliza para ajustar los coeficientes de correlación estandarizados (la razón entre la covarianza del país i y del país de referencia b ,

³⁷ Por ejemplo, se utilizaron rendimientos diarios o semanales, se asignaron diferentes valores umbrales de desviaciones estándar (1, 1.5, 2 y 2.5) para identificar periodos volátiles. También se calcularon coeficientes de correlación mensuales en vez de trimestrales, se usó una muestra semanal con correlaciones trimestrales.

así como de cada una de sus respectivas desviaciones estándar) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\rho_i^* = \frac{\rho_i}{\sqrt{1 + \delta_i(1 - \rho_i^2)}}$$

En donde ρ_i^* es el coeficiente de correlación entre el país i y el país de referencia, ajustados por heterocedasticidad, coeficiente que posteriormente se transforma utilizando una transformación Z de Fischer para permitir que los coeficientes de correlación sigan una distribución normal. La transformación entonces permite comparar los coeficientes de correlación de periodos de relativa calma con periodos más turbulentos utilizando un a prueba de t estandarizada. El coeficiente de correlación ajustado que corresponde a la transformación de Fischer, ρ_i^{**} , se calcula así:

$$\rho_i^{**} = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 + \rho_i}{1 - \rho_i} \right)$$

El coeficiente de correlación ajustado y Z -transformado se calcula para los periodos de alta volatilidad $\rho_{i,h}^{**}$ y de baja volatilidad $\rho_{i,l}^{**}$ de manera que se puede calcular el siguiente estadístico t :

$$t_i = \frac{\rho_{i,h}^{**} - \rho_{i,l}^{**}}{\sqrt{\frac{1}{n_h - 3} + \frac{1}{n_l - 3}}}$$

En donde n_h y n_l son el número de observaciones del periodo turbulento y de calma, respectivamente. La hipótesis nula del estadístico t afirma que no existe una diferencia entre los dos coeficientes de correlación ajustados, es decir, no existe contagio para el país i ($\rho_{i,h}^{**} = \rho_{i,l}^{**}$). En contraste, la hipótesis alternativa afirma que existe una diferencia entre los dos coeficientes de correlación ajustados y el contagio está presente en el país i ($\rho_{i,h}^{**} > \rho_{i,l}^{**}$). La prueba se realizó utilizando un nivel de confianza del 95 por ciento.

El Cuadro 8 presenta una descripción de la muestra utilizada, distinguiendo los periodos de baja volatilidad (periodos estables) y de alta volatilidad (periodos de estrés), definidos los últimos cuando la volatilidad histórica trimestral y estandarizada de los rendimientos sobrepasa 1.5 veces su nivel en toda la muestra. Este tratamiento es distinto al llevado a cabo por Forbes y Rigobon (2002), en el cual se hace una distinción de los periodos volátiles en periodos de crisis particulares. El periodo de la muestra abarca de 1990 a 2013 para la mayoría de los países, salvo Colombia, en donde la muestra arranca en 2001. Se identifican también los periodos altamente estresantes. Por ejemplo, para el caso de México dichos periodos abarcan la primera mitad de 1995 (en donde la volatilidad estandarizada alcanzó niveles de 2.5) el primer y último trimestre de 1998, así como el último trimestre de 2008 y primerio de 2009 (la volatilidad alcanzó niveles entre 2.5 y 3.3). En promedio un 7.3 por ciento de la muestra incluye periodos altamente estresantes.

Cuadro 8

Descripción de la muestra de los mercados accionarios seleccionados

País	Volatilidades			Tamaño de muestra			Periodo	Periodos de estrés
	Estable	Estrés	Completo	Estable	Estrés	Completo		
Europa	16.73	42.16	19.14	5,833	431	6,264	Ene90 - Dic13	4T98, 4T01, 3T01, 3T02-2T03, 4T08-2T09, 3T10, 4T11
EEUU	13.55	32.31	15.33	5,833	431	6,264	Ene90 - Dic13	4T98, 2T00, 3T02-4T02, 4T08-2T09, 4T11
Argentina	32.93	112.92	36.97	5,833	431	6,264	Ene90 - Dic13	1T90-2T90, 1T91-2T91, 4T91, 1T02
Brasil	31.70	92.06	37.34	5,483	431	5,914	May91 - Dic13	2T90-1T91, 3T92, 4T98-1T99, 1T02, 4T08
Chile	10.46	24.30	11.62	5,833	431	6,264	Ene90 - Dic13	2T91, 4T91, 2T95, 4T98, 1T08, 4T08, 3T11-4T11
Colombia	17.01	50.24	18.59	2,902	358	3,260	Jul01 - Dic13	2T04-3T04, 2T06-3T06, 1T08, 4T08
México	20.50	45.54	22.30	5,767	431	6,198	Abr90 - Dic13	1T95-2T95, 4T97, 1T98, 4T98M, 2T00, 4T08-1T09
Perú	19.44	50.73	22.05	5,833	431	6,264	Ene90 - Dic13	3T90-4T90, 2T92, 4T92-1T93, 4T93-1T94, 1T95-2T96, 4T08, 3T11

Para el caso de los EEUU, los periodos de alta volatilidad coinciden con eventos como la crisis rusa de 1998, los escándalos contables de 2002, así como tres trimestres seguidos desde octubre de 2008. Los niveles de volatilidad fuera de la crisis de 2008 nunca sobrepasaron el nivel de dos desviaciones estándar, mientras que durante la crisis hipotecaria se registraron niveles de volatilidad estandarizada superiores a cinco unidades. Para el caso de Europa, al igual que en los EEUU y México, el cuarto trimestre de 1998 fue un periodo muy volátil (los niveles alcanzaron dos desviaciones estándar). La integración de la zona del euro en 2001 y 2002 generó volatilidad en los mercados, al igual que la crisis *subprime*, en donde se registró el nivel histórico de volatilidad de 3.8 desviaciones estándar. La débil posición fiscal de Grecia y otros países como España, Portugal, Irlanda e Italia generó tensión en los mercados accionarios europeos durante el tercer trimestre de 2010 y el último trimestre de 2011.

El Cuadro⁹ presenta los resultados de las estimaciones de los coeficientes de correlación ajustados y sin ajustar por heterocedasticidad, siguiendo la metodología descrita anteriormente. La tabla presenta las correlaciones entre economías base, con respecto a otros países, distinguiendo entre periodos de calma y volátiles en dicha economía base. También se presenta el estadístico t de la prueba de diferencias entre coeficientes de correlación para detectar cambios en esos coeficientes cuando se presentan periodos de estrés. Por último, se hace una valoración del contagio con un 95 por ciento de confianza. Las pruebas estadísticas y la valoración de contagio se presentan también para las correlaciones sin ajustar por heterocedasticidad, sólo con fines de comparación con los coeficientes ajustados. Recordemos nuevamente que las correlaciones provienen del modelo VAR que eliminan perturbaciones comunes a todos los países (aproximadas con las tasas del tesoro a 3 meses de los EEUU y Alemania) así como también elimina alguna potencial endogeneidad entre los mercados de los países.

Cuadro 9
Los resultados de las pruebas de contagio

País	Correlaciones s/ajuste		Correlaciones ajustadas		Estadístico t		Contagio @ 95%	
	Estable	Estrés	Estable	Estrés	ρ s/ajuste	ρ ajustadas	ρ s/ajuste	ρ ajustadas
Origen del contagio: EEUU (+1.5σ)								
Europa	0.790	0.835	0.630	0.691	2.69	2.19	Si	Si
EEUU	1.000	1.000	1.000	1.000	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Argentina	0.347	0.565	0.196	0.347	5.56	3.27	Si	Si
Brasil	0.446	0.676	0.280	0.474	6.81	4.51	Si	Si
Chile	0.353	0.668	0.241	0.507	8.73	6.25	Si	Si
Colombia	0.298	0.454	0.179	0.284	3.23	1.98	No	No
México	0.521	0.754	0.379	0.610	8.06	6.18	Si	Si
Perú	0.220	0.528	0.138	0.360	7.28	4.74	Si	Si
Origen del contagio: Europa (+1.5σ)								
Europa	1.000	1.000	1.000	1.000	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
EEUU	0.790	0.817	0.641	0.676	1.54	1.26	No	No
Argentina	0.277	0.391	0.154	0.224	2.58	1.45	Si	No
Brasil	0.386	0.538	0.239	0.351	3.86	2.45	Si	Si
Chile	0.238	0.484	0.158	0.341	5.72	3.91	Si	Si
Colombia	0.213	0.260	0.126	0.155	0.88	0.52	No	No
México	0.526	0.660	0.383	0.508	4.15	3.10	Si	Si
Perú	0.114	0.397	0.071	0.258	6.09	3.86	Si	Si
Origen del contagio: México (+1.5σ)								
Europa	0.520	0.637	0.358	0.461	2.73	1.92	Si	No
EEUU	0.512	0.538	0.360	0.382	0.55	0.39	No	No
Argentina	0.411	0.644	0.236	0.414	5.09	3.09	Si	Si
Brasil	0.486	0.610	0.310	0.412	2.76	1.81	Si	No
Chile	0.305	0.455	0.206	0.318	2.73	1.87	Si	No
Colombia	0.350	0.572	0.212	0.376	4.43	2.79	Si	Si
México	1.000	1.000	1.000	1.000	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Perú	0.216	0.458	0.135	0.304	4.27	2.75	Si	Si

A continuación se presentan los principales resultados para cada una de las economías base de este estudio (ver Cuadro°10):

- Origen del contagio: EEUU: Para Europa se observa un ligero aumento en los niveles de correlación ajustados por heterocedasticidad (6 puntos porcentuales), de hecho siempre se mantiene en niveles elevados, tanto en periodos de estrés como en periodos estables, hecho que pone de manifiesto los fuertes vínculos que existen entre ambas regiones. El aumento de la correlación es significativo al 95 por ciento de confianza, más no al 99 por ciento. El resultado anterior va en el mismo sentido

al encontrado por Forbes y Rigobon (2002), es decir, no existe evidencia contundente de contagio de los EEUU hacia Europa, sólo de la interconexión entre ambas regiones. Para el caso de las economías de América Latina estudiadas, el coeficiente de correlación ajustado aumenta significativamente (alrededor de 20 puntos porcentuales en promedio) cuando se observan periodos volátiles en los EEUU. Es importante destacar, por otro lado, las diferencias entre los niveles de correlación de los países. Los niveles de correlación de los países latinoamericanos durante periodos estables son bajos (24 por ciento en promedio), con excepción de México (38 por ciento), hecho que pone en evidencia la mayor integración de ese país con los EEUU. Las diferencias en correlación son significativas a un 95 por ciento de confianza, pero también a niveles más altos como 99 por ciento (con excepción de Colombia). En conclusión, podemos decir que los periodos volátiles en los EEUU, los cuales se acentuaron de manera significativa a fines de 2008, aumentaron el contagio hacia las economías latinoamericanas en una proporción importante, aún cuando se ajustaron las correlaciones por heterocedasticidad. Dichos periodos volátiles afectaron también a Europa, aunque el efecto no es del todo robusto ni es importante en magnitud.

- Origen del contagio: Europa: No se observan cambios importantes en los niveles de correlación entre los mercados europeos y el de los EEUU durante periodos volátiles en Europa. De hecho la correlación se mantiene siempre en niveles elevados de alrededor de 0.6 a 0.7, tanto en periodos de estrés como en periodos estables, hecho que demuestra la interdependencia entre ambas regiones y no un contagio como se define en esta sección. La afirmación anterior se confirma con el estadístico t, que no resulta ser significativo al 95 por ciento. Para el caso de las

economías latinoamericanas estudiadas, existe evidencia de contagio para Brasil, Chile, México y Perú, con un nivel de confianza de 95 por ciento. No hay evidencia de contagio para Argentina y Colombia, con un nivel de confianza del 95 por ciento. Para el caso de Argentina, la correlación no ajustada por heterocedasticidad si resultó significativa al 95 por ciento, más no la ajustada, situación que resalta la importancia de utilizar coeficientes ajustados. No obstante, el aumento en los niveles de correlación ajustados durante periodos de estrés en Europa fue menos pronunciado que el observado cuando los EEUU registraron periodos volátiles, las correlaciones aumentaron en promedio 12 puntos porcentuales. Con respecto a los niveles estables, los países estudiados muestran niveles de correlación bajos, del orden del 19 por ciento, con excepción de México que muestra niveles en promedio de 38 por ciento. En resumen, se encuentra evidencia de contagio ajustado por heterocedasticidad para Chile, Brasil, México y Perú, con un nivel de confianza del 95 por ciento, no obstante que el aumento en la correlación es mucho menor que cuando los EEUU vivieron periodos de estrés. La menor correlación se puede explicar por el hecho que la magnitud de la perturbación en los mercados europeos durante periodos volátiles como la crisis soberana de 2010-2011 en Europa fue mucho menor a la volatilidad que se registró los EEUU durante la crisis de 2008.

- Origen del contagio: México: México padeció una fuerte crisis financiera que se originó internamente en 1994. Para estudiar si dicho periodo de tensión tuvo alguna repercusión en los mercados accionarios de otros países de la región se estudian los episodios de alta tensión en México pero que no están relacionados con episodios de tensión ni en los EEUU ni en Europa. Como es de esperarse, ni en los EEUU ni en Europa se registraron aumentos significativos en las correlaciones ajustadas por

heterocedasticidad. Para los países latinoamericanos, se observa un aumento en la correlación ajustada con México en Argentina, Colombia y Perú, todos significativos al 95 y 99 por ciento. El aumento en las correlaciones ajustadas es sustancial en los países mencionados, del orden de 17 puntos porcentuales durante los periodos de tensión en México. Por otro lado, el aumento de 11 puntos porcentuales en los niveles de correlación ajustada de México con Brasil y Chile cuando se observaron periodos volátiles en México no resultan ser significativos al 95 por ciento, mas sí al 90 por ciento. En conclusión, los episodios altamente volátiles observados en México y que no se relacionan con episodios de tensión en economías líderes como los EEUU o Europa, tales como la crisis “Tequila” de 1994, generaron fuertes movimientos ajustados por heterocedasticidad en Argentina, Colombia y Perú, y en menor medida, en Chile y Brasil.

- Origen del contagio: Argentina: Durante los primeros dos años de la década de los noventa Argentina vivió periodos de tensión muy importantes. Durante 1990 el país vivió una hiperinflación que obligó a las autoridades a fijar su moneda al dólar y a tomar financiamiento en dólares para conformar reservas internacionales que garantizaran la efectividad de tal medida. En ese periodo la moneda se fortaleció y generó una pérdida de valor de las importaciones, generando una recesión económica en 1999. El temor de que el gobierno devaluara la moneda para darle más competitividad a su economía provocó que la gente retirara masivamente sus cuentas en dólares, situación que provocaría una caída abrupta en las reservas internacionales del país. El gobierno entonces impuso restricciones a la salida de esos depósitos en 2002, episodio que se conoció popularmente como el “corralito”. El Cuadro^o10 presenta los resultados de las estimaciones con y sin ajuste por

heterocedasticidad, cuando Argentina registró los periodos de tensión arriba descritos. Llama mucho la atención que todos los países estudiados muestran una disminución en la correlación ajustada de casi 20 puntos porcentuales, y llama más la atención que dicha caída sea significativa al 95 por ciento (con excepción de Perú, cuya significancia se da al 90 por ciento). El resultado anterior indica que cuando Argentina registró periodos de tensión originados en su país y que se trasladaron al mercado accionario, las bolsas del resto de los países redujeron el nivel de relación que mantenían con Argentina, de 35 por ciento en promedio en periodos de calma, a 15 por ciento. En otras palabras, los eventos estresantes ocurridos en Argentina no se traspasaron al resto de países de la región; por el contrario, la información de sus mercados accionarios parece indicar que esos países se desligaron o distanciaron de lo ocurrido en Argentina.

Cuadro 10

Los resultados de las pruebas de contagio

País	Correlaciones s/ajuste		Correlaciones ajustadas		Estadístico t		Contagio @ 95%	
	Estable	Estrés	Estable	Estrés	ρ s/ajuste	ρ ajustadas	ρ s/ajuste	ρ ajustadas
Origen del contagio: Argentina (+1.5σ)								
Europa	0.291	-0.034	0.188	-0.021	-5.57	-3.54	No	No
EEUU	0.365	-0.045	0.246	-0.029	-7.14	-4.68	No	No
Argentina	1.000	1.000	1.000	1.000	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Brasil	0.536	0.224	0.349	0.134	-6.20	-3.85	No	No
Chile	0.376	0.197	0.257	0.131	-3.28	-2.20	No	No
Colombia	0.169	-0.378	0.099	-0.231	-9.49	-5.59	No	No
México	0.433	0.155	0.306	0.104	-5.14	-3.54	No	No
Perú	0.258	0.121	0.163	0.075	-2.38	-1.49	No	No
Origen del contagio: Brasil (+1.5σ)								
Europa	0.403	0.181	0.267	0.115	-4.86	-3.15	No	No
EEUU	0.469	0.132	0.325	0.086	-7.50	-5.01	No	No
Argentina	0.557	0.386	0.341	0.220	-4.42	-2.61	No	No
Brasil	1.000	1.000	1.000	1.000	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Chile	0.429	0.352	0.297	0.239	-1.82	-1.25	No	No
Colombia	0.263	0.072	0.157	0.042	-3.95	-2.32	No	No
México	0.532	0.275	0.388	0.189	-6.19	-4.36	No	No
Perú	0.399	0.303	0.260	0.193	-2.19	-1.41	No	No
Origen del contagio: Chile (+1.5σ)								
Europa	0.244	0.072	0.157	0.046	-2.95	-1.87	No	No
EEUU	0.353	0.268	0.238	0.177	-1.58	-1.05	No	No
Argentina	0.356	0.546	0.202	0.332	4.02	2.35	Si	Si
Brasil	0.398	0.573	0.246	0.380	3.87	2.48	Si	Si
Chile	1.000	1.000	1.000	1.000	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Colombia	0.115	-0.031	0.067	-0.018	-2.46	-1.43	No	No
México	0.314	0.294	0.216	0.202	-0.36	-0.25	No	No
Perú	0.194	0.282	0.122	0.179	1.55	0.98	No	No
Origen del contagio: Colombia (+1.5σ)								
Europa	0.212	0.163	0.136	0.104	-0.46	-0.29	No	No
EEUU	0.297	0.472	0.197	0.328	1.87	1.27	No	No
Argentina	0.262	0.648	0.145	0.417	4.54	2.69	Si	Si
Brasil	0.284	0.504	0.172	0.324	2.36	1.47	Si	No
Chile	0.224	0.480	0.149	0.337	2.65	1.81	Si	No
Colombia	1.000	1.000	1.000	1.000	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
México	0.271	0.539	0.186	0.394	2.93	2.07	Si	Si
Perú	0.213	0.325	0.134	0.208	1.09	0.69	No	No
Origen del contagio: Perú (+1.5σ)								
Europa	0.129	-0.075	0.081	-0.048	-4.11	-2.59	No	No
EEUU	0.228	0.001	0.150	0.000	-4.64	-3.02	No	No
Argentina	0.262	0.120	0.145	0.065	-2.95	-1.62	No	No
Brasil	0.384	0.276	0.237	0.166	-2.45	-1.49	No	No
Chile	0.216	0.004	0.143	0.003	-4.31	-2.84	No	No
Colombia	0.167	0.096	0.098	0.056	-1.44	-0.84	No	No
México	0.243	0.045	0.166	0.030	-4.08	-2.76	No	No
Perú	1.000	1.000	1.000	1.000	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

- Origen del contagio: Brasil: Durante la década de los ochenta los desequilibrios macroeconómicos de la economía brasileña generaron niveles inflacionarios elevados y persistentes. Durante 1990 el gobierno decidió frenar el crecimiento de los precios estableciendo un tipo de cambio fijo y fijando tasas de interés superiores al 30 por ciento. Las altas tasas frenaron la inflación pero provocaron una avalancha de recursos del exterior hacia Brasil, generando fuertes déficits en cuenta corriente financiado por capitales volátiles. La experiencia de la crisis de los países asiáticos y de la crisis rusa generó temores entre los inversionistas extranjeros sobre la sostenibilidad de las políticas económicas de países con fuertes desequilibrios generaron un retiro masivo de dólares de Brasil que provocaron el agotamiento de sus reservas internacionales y la flotación forzosa del real contra el dólar en 1999. El Cuadro^o10 presenta los resultados de contagio con y sin ajuste por heterocedasticidad para Brasil. Al igual que sucedió con Argentina, para Brasil se observa que durante los periodos de estrés que no se relacionan con eventos estresantes en los EEUU ni Europa los países latinoamericanos estudiados muestran una disminución en la correlación ajustada de 11 puntos porcentuales. Dicha disminución resultó significativa al 95 por ciento para Argentina, Colombia y México, más no así para Chile ni Perú. El resultado anterior indica que cuando Brasil registró periodos de tensión originados en su país, las bolsas del resto de los países redujeron un poco el nivel de relación que mantenían con Brasil (en lugar de aumentarla), de 29 por ciento en promedio en periodos de calma, lo cual evidencia que no se generó el contagio.
- Origen del contagio: Chile, Colombia y Perú: Los periodos de estrés que observaron estas tres economías y que no coinciden con periodos de tensión en los EEUU ni

Europa generaron cambios en los niveles de correlación ajustados para algunos de los países, en principio a los más integrados. Por ejemplo, los periodos de estrés en Chile generaron un aumento en la correlación ajustada entre el mercado accionario de ese país y el mercado accionario argentino y brasileño en 13 puntos porcentuales, aproximadamente. Por su parte, las situaciones de tensión del mercado accionario colombiano generaron un aumento en la correlación entre su mercado y el argentino y mexicano. Tras analizar los anteriores resultados, se observa que los periodos de estrés identificados para los países latinoamericanos coinciden con episodios de fuerte volatilidad a nivel mundial, como la crisis asiática y rusa y no fueron generados por hechos o eventos ocurridos dentro de sus economías. Por lo tanto, los resultados obtenidos del contagio en estos países no se pueden interpretar directamente como evidencia de contagio, sino de un evento exógeno que afectó a todos los países en común y que no pudo ser “filtrado” por el modelo VAR. En otras palabras, la evidencia estadística de contagio para otros países latinoamericanos cuando Chile, Colombia y Perú registraron periodos turbulentos en sus mercados accionarios es débil y equivaldría a señalar la evidencia de contagio cuando Asia y Rusia generaron fuertes episodios de tensión en el resto de países analizados.

En conclusión, al utilizar los coeficientes de correlación obtenidos del modelo VAR en el periodo 1990 -2013, ajustándolos por heterocedasticidad y definiendo el contagio como un aumento en la correlación ajustada de un país cuando se observan periodos de estrés en otro país, encontramos evidencia estadística de contagio al 95 por ciento para Argentina, Brasil, Chile, México y Perú durante periodos de estrés en los EEUU. También

encontramos contagio para Brasil, Chile, México y Perú cuando Europa registró periodos de tensión. Por otro lado, los episodios de tensión en México aumentaron las correlaciones con Argentina, Colombia y Perú, mientras que los de Argentina y Brasil redujeron el nivel de relación que existía con países de la región cuando los primeros vivieron situaciones de tensión. Por último, los episodios de estrés en Chile, Colombia y Perú parecen no haberse permeado a las bolsas accionarias del resto de países de la región y la evidencia de contagio en esos países más bien señala el contagio que sufrieron de terceros países como los del Este Asiático y Rusia en 1997-1998. Un área de oportunidad para futuras investigaciones sería explorar el contagio proveniente de países como Rusia y el Este de Asia en los países analizados, con el fin de tener una evidencia más contundente sobre el contagio proveniente de los tres países latinoamericanos mencionados (Cuadro°1111111111).

Cuadro 11
Resumen de los resultados de las pruebas de contagio

Fuente de contagio ¹	Contagio @ 95% de confianza					
	Argentina	Brasil	Chile	Colombia	México	Perú
EEUU	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Europa	No	Si	Si	No	Si	Si
Argentina	n.a.	No	No	No	No	No
Brasil	No	n.a.	No	No	No	No
Chile	Si	Si	n.a.	No	No	No
Colombia	Si	No	No	n.a.	Si	No
México	Si	No	No	Si	n.a.	Si
Perú	No	No	No	No	No	n.a.

1/ Para el caso de los países de América Latina los episodios de contagio excluyen los episodios de tensión de los EEUU y Europa.

3. La identificación de los canales de contagio

Como se mencionó en el capítulo anterior, esta sección tiene como objetivo cuantificar y determinar los principales canales de contagio de una economía hacia otra, en particular, de determinar los canales de contagio entre los episodios estresantes registrados en los EEUU y Europa hacia las economías de América Latina, en el periodo de 1990 a 2013.³⁸ Varios estudios han perseguido dar respuesta a este mismo objetivo pero los problemas de medición de cada uno de los canales de contagio y la falta de información han sido un obstáculo para dar una respuesta contundente sobre este punto (Collins y Gavron, 2004). La mayor disponibilidad de información histórica en comparación con estudios previos y la inclusión de nuevas medidas de algunos canales de contagio son la principal aportación de este apartado.

La rápida propagación de situaciones de estrés de un país hacia otras economías durante la década de los noventa ha motivado el surgimiento de una abundante literatura sobre este tema.³⁹ La pregunta de investigación que ha alimentado a estas investigaciones es la misma: ¿Cómo se transmiten las crisis financieras? Para responder la pregunta anterior, un buen punto de partida indicaría que factores específicos o internos del país pueden originar situaciones de estrés financiero en ese país, tales como las vulnerabilidades o desequilibrios macroeconómicos que generen desconfianza entre los inversionistas, inestabilidad política, entre otros (FMI, 2009). Sin embargo, el estrés financiero también puede provenir de fuentes externas a un país. La mayor integración económica que han experimentado gran parte de las economías emergentes en las últimas dos décadas ha incrementado los vínculos comerciales y financieros de esas economías con las desarrolladas. Por lo tanto,

³⁸ Los países latinoamericanos estudiados son: Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México y Perú.

³⁹ El libro de Claessens, Dornbush y Park (2001) es una excelente referencia que compila muy buenos estudios sobre el tema de contagio internacional.

perturbaciones en otras economías pueden llegar a transmitirse hacia otras economías, a través de dichos vínculos. Investigaciones como la de Eichengreen, Rose y Wyplosz (1997) estudian este canal de contagio en economías relacionadas a una que está enfrentando dificultades. Los autores concluyen que los vínculos comerciales entre los países son la principal fuente de contagio financiero. En el mismo sentido que los autores anteriores, Kaminsky y Reinhart (1998) encontraron que pertenecer a un bloque económico o comercial (por ejemplo, al Tratado de Libre Comercio de América del Norte, al Mercosur, o la Comunidad Europea) hace a un país vulnerable al contagio financiero cuando la fuente del mismo proviene de un país miembro del mismo bloque comercial.

El gran número de crisis financieras observadas en países emergentes durante la década de los noventa motivó la búsqueda de nuevas causas de contagio financiero a las conocidas en ese momento. En particular, un evento clave que cuestionó lo que se pensaba hasta ese momento sobre el contagio financiero fue la transmisión de la crisis rusa de 1998 hacia los mercados brasileños, ya que ambas naciones casi no mantienen ningún vínculo comercial o económico. Brunnermeier (2001) tomó otro enfoque, estudió el comportamiento de los inversionistas en esos países como potencial fuente de contagio y concluyó que ambas naciones, por ser países emergentes importantes, comparten al mismo grupo de inversionistas especializados y por lo tanto una situación de tensión en un país que genere pérdidas a los inversionistas extranjeros desencadena la salida de capitales de otros países que en principio no mantienen ningún vínculo con el país detonante del estrés.

A continuación se explican cada uno de los canales de contagio, así como la propuesta de medición para cada uno de ellos. Posteriormente, se describirá la metodología utilizada para contrastar a cada uno de los canales y los resultados obtenidos.

3.1 Debilidades en los fundamentales macroeconómicos

En la literatura de contagio financiero este fue el primer canal estudiado y tiene que ver con la fortaleza financiera de un país. Aquellos países con fundamentales macroeconómicos débiles son más propensos a al contagio financiero cuando existen condiciones de tensión financiera en el mundo. Eichengreen, Rose y Wyplosz (1997) identificaron variables que utilizan los analistas de riesgo soberano de las agencias calificadoras para determinar el riesgo soberano de un país. Las variables fueron: las reservas internacionales, el tipo de cambio real y nominal, las tasas de interés de corto y largo plazo, las exportaciones e importaciones, la cuenta corriente, el balance del gobierno, la deuda del gobierno como porcentaje del PIB, el principal índice accionario, el crédito bancario, la tasa de desempleo, los agregados monetarios M1 y M2, la inflación y el crecimiento real del PIB. Desafortunadamente muchas de estas variables no se encuentran disponibles para los países emergentes en un horizonte de tiempo suficientemente largo. Para las variables que sí estaban disponibles⁴⁰ éstas se utilizaron para construir una medida única de fortaleza o debilidad en los fundamentales económicos, utilizando la metodología de componentes

⁴⁰ Las variables que se utilizaron para construir dichos indicadores fueron: las reservas internacionales sobre PIB, el tipo de cambio real, los términos de intercambio (es decir, el precio de las exportaciones respecto al precio de las importaciones), el índice de referencia del precio de las acciones, el diferencial de la deuda soberana en dólares respecto a los bonos del tesoro de los EEUU (medido a través del JP Morgan EMBI), la deuda del gobierno en relación al PIB, el balance fiscal del gobierno sobre el PIB, la inversión extranjera directa sobre las reservas internacionales, la cuenta corriente sobre PIB, la inflación, el crecimiento real del PIB y las exportaciones menos importaciones sobre las reservas internacionales.

principales, descrita en el primer capítulo de esta tesis. La anterior es una aportación de este trabajo en comparación con otros que han utilizado medidas de presión en el mercado cambiario para medir el deterioro en los fundamentales, como la propuesta por Eichengreen et al. (1997) y publicada en las estadísticas del FMI.⁴¹ La conveniencia de utilizar una medida compuesta radica en que en principio dicha medida captura las debilidades en diferentes aristas de la economía y no sólo en el mercado cambiario, como por ejemplo, lo hace la medida utilizada en otros estudios.

De forma similar a como se construyó el indicador de estrés en el capítulo anterior, se tomaron las variables libres de tendencia, se estandarizaron con su respectiva volatilidad histórica y se les aplicó componentes principales para obtener una medida única de tensión en los fundamentales. El periodo de estudio de este apartado abarca periodos trimestrales desde 1990 a 2013. La fuente de la información es Bloomberg y Haver Analytics. Los indicadores de tensión en los fundamentales se construyeron de manera que un mayor nivel indica mayor tensión en los fundamentales del país. El porcentaje de varianza explicada de dichos indicadores varía entre el 40 y 50 por ciento de la variación total, dependiendo del país. En la siguiente gráfica¹⁵ se presenta el desempeño de cada indicador de actividad económica:

⁴¹ El objetivo de este índice es detectar vulnerabilidades en el mercado cambiario. El EMP requiere como insumos el tipo de cambio nominal, la tasa de interés nominal y las reservas internacionales, y se calcula a través de la siguiente fórmula:

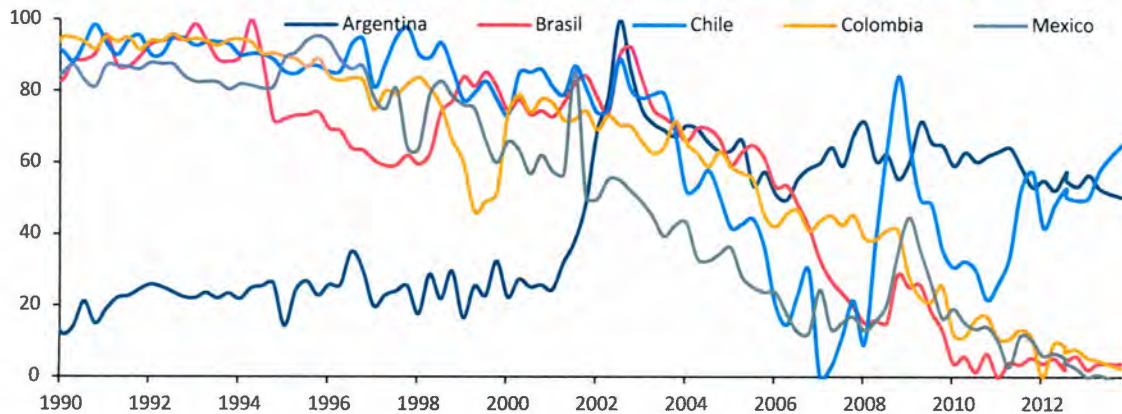
$$EMP_{j,t} = \alpha * \Delta_p e_{j,t} + \beta * (i_{j,t} - i_{j,G}) - \gamma(\Delta_p r_{j,t} - \Delta_p r_{G,t})$$

En donde j y G representan al país emergente y el país global de referencia (usualmente los EEUU), respectivamente; e representa el tipo de cambio, i la tasa de interés nominal y r las reservas internacionales; t representa el periodo de tiempo (usualmente mensual); Δ_p representa el cambio porcentual; α , β , y γ representan los pesos de cada factor de estrés.

Bajo el EMP, una crisis cambiaria se identifica cuando en un periodo de tiempo determinado, el índice excede la suma de la media (μ_{EMP}) y una y media veces la desviación estándar (σ_{EMP}) del periodo total.

Gráfica 15

Las medida de fortaleza/debilidad de los fundamentales macroeconómicos
Un mayor nivel indica mayor debilidad en los fundamentales del país



Fuente: Haver Analytics.

3.2 Vínculos comerciales y financieros

Para establecer los vínculos de integración comercial o financiera entre los países, se utilizaron dos variables: los niveles de intercambio comercial bilateral entre el país respecto a los EEUU, así como los vínculos bancarios entre los países latinoamericanos respecto a los EEUU y Europa. Es importante recordar que este último canal de contagio fue determinante durante la crisis de los 80's en América Latina (ver Cuadro^o3). La integración comercial se mide con la suma de las exportaciones e importaciones bilaterales hacia o para la economía en crisis como porcentaje del total de comercio con todos los países. La integración financiera se construye a partir de una medida de interrelación bancaria propuesta por Kamisky y Reinhart (1998) y busca representar la dependencia del país prestamista (b) a un país acreedor común (l). Posteriormente se calcula el crédito bancario entre los países (c). De esta forma, la importancia del acreedor común al prestamista se calcula así:

$$\%Deudor_i = \frac{c_{i,l}}{c_i}$$

La información de vínculos financieros se toma de las estadísticas bancarias internacionales publicadas por el Banco de Pagos Internacionales (BIS por sus siglas en inglés), mientras que la de vínculos comerciales se obtuvo del Fondo Monetario Internacional.

3.3 El comportamiento de los inversionistas

El comportamiento de los inversionistas tal vez sea el canal de contagio más complicado de medir. En esta investigación se tomarán dos enfoques. Primero, la hipótesis de eficiencia de mercado se utiliza como una medida de la conducta de mercado. La teoría detrás de la eficiencia en información del mercado sugiere que los precios de las acciones reflejan toda la información disponible, aunque en algunos mercados pueden existir inversionistas que cuentan con acceso a mejor información que otros inversionistas, es decir, pueden existir asimetrías de información. Por lo tanto, un mercado que presenta asimetrías en la información puede ser más vulnerable al contagio que otros mercados ya que los inversionistas no informados pueden sobre reaccionar al comportamiento de otros inversionistas en vista que éstos no conocen previamente si son inversionistas informados o no (Brunnermeier, 2001).

En términos estadísticos, el proceso estocástico denominado caminata aleatoria es muy útil para probar eficiencia de mercado. En particular un mercado eficiente se caracteriza por

contar con una propiedad de las caminatas aleatorias. Puesto formalmente, en una caminata aleatoria:

$$y_{t+1} = y_t + \varepsilon_t,$$

Con

$$E[\varepsilon_t] = 0, \quad Var[\varepsilon_t] = \sigma^2,$$

Como se puede observar de inmediato, la caminata aleatoria es un proceso integrado de orden 1, es decir, cuenta con una raíz unitaria por construcción. Reexpresando la expresión anterior y tomando esperanzas condicionadas obtenemos la conocida propiedad de martingala de la caminata aleatoria:

$$\Delta y_{t+1} \equiv y_{t+1} - y_t = \varepsilon_t$$

$$E[\Delta y_{t+1} | \Omega_t] \equiv E[y_{t+1} | \Omega_t] - y_t = E[\varepsilon_{t+1} | \Omega_t] = 0$$

$$E[y_{t+1} | \Omega_t] = y_t$$

Es decir, bajo la propiedad de martingala, el mejor pronóstico de una variable para el futuro inmediato dada la información disponible actualmente, es justo la variable actual. Entonces, si se verifica que el proceso estocástico que siguen los rendimientos de las acciones sigue una caminata aleatoria, la propiedad de martingala se verifica y por lo tanto ese mercado es eficiente en información (en el sentido débil). La hipótesis de eficiencia de mercados fue popularizado por Fama (1970) y básicamente afirma que en un mercado eficiente los precios actuales reflejan toda la información histórica disponible.

En este estudio se utilizaron dos pruebas de raíces unitarias para verificar la eficiencia de mercado: la prueba de Dickey Fuller Aumentada y la prueba de Phillips-Perron. Ambas pruebas se utilizaron para cada país y para cada periodo de contagio y no contagio de manera que los resultados de las pruebas se convirtieron a una escala binaria o dicotómica, en donde 1 representa la eficiencia de mercado al 95 por ciento de confianza en ese periodo mientras que 0 representa la ineficiencia de mercado al mismo nivel de confianza. La razón de utilizar una prueba adicional a la popular Dickey Fuller radica en que ésta es estructural en el sentido que cuenta con diferentes especificaciones que se deben tomar en cuenta para realizar la prueba adecuadamente, esto es, incluir o no intercepto y/o tendencia en la estructura de la prueba. Por lo tanto, una prueba no paramétrica como la de Phillip-Perron ayuda a evitar tal disyuntiva. El Anexo³ presenta la lógica detrás de ambas pruebas.

El segundo enfoque para medir el comportamiento de los inversionistas tiene que ver con los flujos de inversiones de los fondos de inversión de países desarrollados hacia los países latinoamericanos que estudiamos en este capítulo. Los flujos son relativos al tamaño del portafolio y son una gran medida de aversión al riesgo ya que no se ven afectadas por las fluctuaciones de los precios. En principio, un país que es percibido como riesgoso por los inversionistas internacionales enfrentará salidas de capitales mientras que uno poco riesgoso recibirá entradas de capitales. La información se obtuvo de la base de datos EPFR Global a partir de 1996.

4. Comparación de los canales de contagio

4.1 Tablas de contingencia

En una primera etapa se sometió a una prueba de dependencia utilizando tablas de contingencia. Las tablas de contingencia ayudan a contar con un entendimiento preliminar de la relación que existe entre las variables identificadas como canales de contagio y el contagio. Introducidas por Pearson (1904) las tablas de contingencia resumen datos categóricos a través del conteo de las características cualitativas de cada variable. En particular, utilizando la tabla se busca estudiar si existe una relación entre una característica de una variable frente a otra de otra variable. Por ejemplo, en este estudio se relacionaron los periodos en donde ocurre contagio con periodos en donde los fundamentales de la economía fueron débiles, cuando los vínculos comerciales y financieros fueron elevados, cuando se registraron periodos de fuerte aversión entre los inversionistas, y cuando se registraron asimetrías en la información en los mercados accionarios.

El Cuadro 12 muestra los resultados de la prueba de independencia de las variables. Los resultados indican que existe una relación significativa entre los periodos de contagio y los periodos de debilidad económica, de elevados vínculos comerciales y financieros, de fuerte aversión entre los inversionistas, y de asimetrías en la información en los mercados accionarios.

se encuentra el origen de la referencia. presenta las tablas de contingencia y su relación con los canales de contagio. La información se analizó en periodos trimestrales, de manera que el conteo de las tablas de contingencia corresponde al número de trimestres en que se encuentran disponibles las variables aparejadas para las seis economías latinoamericanas estudiadas. La información para Colombia se encuentra disponible a partir de 2001, mientras que la de los vínculos comerciales está disponible a partir de 2003 y la de flujos de capital a partir de 1996.

Cuadro 12

Tablas de contingencia: canales de contagio y el contagio financiero

Contagio vs fundamentales

Contagio / Fundamentales	Fundamentales		Total
	Sólidos	Débiles	
No contagio	430	53	483
Contagio	32	15	47
Total	462	68	530

Contagio vs vínculos comerciales

Contagio / Vínc. com. US	Vínc. com. US		Total
	Bajos	Altos	
No contagio	187	48	235
Contagio	11		11
Total	198	48	246

Contagio vs vínculos financieros EEUU

Contagio / Vínc. fin. US	Vínc. fin. US		Total
	Bajos	Altos	
No contagio	394	89	483
Contagio	39	8	47
Total	433	97	530

Contagio vs vínculos financieros Europa

Contagio / Vínc. fin. EU	Vínc. fin. EU		Total
	Bajos	Altos	
No contagio	397	86	483
Contagio	41	6	47
Total	438	92	530

Contagio vs conducta de inversionistas (hipótesis de eficiencia)

Contagio / Eficiencia	Eficiencia		Total
	Si	No	
No contagio	446	37	483
Contagio	42	5	47
Total	488	42	530

Contagio vs conducta de inversionistas (flujos de capital)

Contagio / Flujos Capital	Flujos capital		Total
	Entradas	Salidas	
No contagio	348	43	391
Contagio	10	9	19
Total	358	52	410

Utilizando las tablas de contingencia anteriores se procede a probar la existencia o no de una relación entre las características de las variables aparejadas a través de una prueba formal, que es la prueba de independencia Chi-cuadrada. Esta prueba requiere primero calcular las frecuencias esperadas para cada característica de cada variable a través de la siguiente expresión:

$$E_{ij} = \frac{n_{ix}n_{yj}}{N}$$

En donde n_{ix} se refiere al número de observaciones en la fila i y columna x , y n_{yj} se refiere al número de observaciones en la columna j y renglón y . N es el número total de observaciones en la tabla. La ecuación general para calcular el estadístico Chi cuadrado χ^2 de dimensión $k \times m$ es la siguiente:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \frac{(n_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

En donde i se refiere a una de las k filas, j a una de las m columnas. La hipótesis nula afirma que el contagio es estadísticamente independiente de cada uno de los canales de contagio, mientras que la hipótesis alternativa implica que existe una dependencia estadística entre las dos variables. Los grados de libertad de la prueba son $(k - 1)$ por $(m - 1)$, que en el caso particular de nuestras pruebas sería de 1x1 al contrastar las variables por pares.

Para el ejercicio de tablas de contingencia cada una de las variables se transformó a relación binaria, utilizando el criterio de estandarizar las variables y tomar como uno a aquellos periodos en que las variables sobrepasan una desviación estándar su valor medio histórico. Por ejemplo, cuando en un trimestre determinado el nivel de debilidad macroeconómica sobrepasó una desviación estándar, se definió como un periodo vulnerable. De manera similar, cuando en un trimestre la salida de capitales de las economías latinoamericanas sobrepasó una desviación estándar su promedio histórico, se declaró dicho periodo como vulnerable.

El Cuadro^o13 presenta los resultados de las pruebas de independencia entre el contagio financiero y los canales de contagio.

Cuadro 13

Tablas de contingencia: prueba Chi cuadrado de independencia

Prueba de independencia Chi-cuadrado: Ho: independencia entre las variables	Grados de libertad	Chi cuadrada	Valor p
Contagio vs canales de contagio:			
Fundamentales macro (↑=debilidad)	1	16.8	0.0000
Vínculos comerciales con EEUU	1	2.8	0.0948
Vínculos financieros con Europa	1	0.8	0.3839
Vínculos financieros con EEUU	1	0.1	0.8120
Comportamiento de los inversionistas:			
Pruebas de eficiencia de mercado	1	0.5	0.4706
Flujos de capitales hacia AL	1	21.6	0.0000

La tabla anterior muestra que los fundamentales económicos, calculados a través de la medida de fortaleza o debilidad en los mismos, así como los flujos de capitales desde economías desarrolladas hacia las economías latinoamericanas estudiadas, explican el contagio financiero, con un nivel de confianza de 95 por ciento y hasta al 99 por ciento, para el periodo 1990-2013. En contraste, los vínculos comerciales y financieros no resultaron significativos al 95 por ciento de confianza. La razón de lo anterior se puede explicar por la lenta dinámica que parecen seguir dichos indicadores y que corresponde más bien a dinámicas de largo plazo relacionadas a la estructura de cada economía.

Los resultados anteriores son consistentes con los encontrados por Collins y Gavron (2004), en donde dichos autores encontraron que la inflación - una de nuestras medidas de fortaleza macroeconómica de la medida compuesta de fundamentales macroeconómicos-, así como una medida de comportamiento de los inversionistas, la liquidez en los mercados

financieros, se relacionan con el contagio financiero. Ni los vínculos financieros ni comerciales, así como otras medidas de fundamentales macro resultaron ser significativas al 95 por ciento de confianza.

Es importante reconocer que la prueba Chi-Cuadrada de independencia de las tablas de contingencia está muy sujeta al tamaño de la muestra, y podría arrojar resultados distintos al cambiar el tamaño de la muestra. Un área de oportunidad para futuras investigaciones sobre este punto es segmentar la muestra en partes para darle una mayor robustez al resultado aquí obtenido.

Para concluir, los resultados anteriores muestran que, para el periodo estudiado (1990-2013) y los países latinoamericanos estudiados, el contagio financiero no es el resultado de un único canal de contagio, sino de la combinación de varios de los canales anteriores, en particular, de la debilidad en los fundamentales económicos de una economía así como la pérdida de confianza de los inversionistas internacionales en una economía la que puede llevar a desencadenar una cadena de contagio hacia otros países.

4.2 Regresiones logit

Tras analizar los canales de contagio con tablas de contingencia, se estimaron regresiones logit para darle mayor robustez a los resultados anteriores. Los modelos logit son modelos no lineales en donde la variable dependiente es limitada, en este caso toma dos variables, 1 si hay contagio y 0 cuando no. En el contexto del contagio financiero, estos modelos se utilizan para evaluar si alguno de los tres canales anteriores, medidos como se

propusieron, aumentan o no la probabilidad del contagio. La fórmula general del modelo logit viene dada por:

$$Y = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

En donde p denota la probabilidad de que un evento ocurra, que en nuestro caso, ocurra el contagio financiero, la razón $p/(1-p)$ se le conoce como la razón de probabilidades (odds ratio, OR por sus siglas en inglés). La variable dependiente Y es una variable dicotómica que toma el valor de 1 cuando el evento ocurre y cero en caso contrario. El vector X representa a las variables explicativas o independientes que explican la ocurrencia del contagio, de acuerdo con nuestro modelo. Bajo el modelo logístico, la probabilidad estimada se puede calcular así:

$$p = \frac{e^{\alpha+\beta X}}{1 + e^{\alpha+\beta X}}$$

El modelo logit estima valores para cada uno de los coeficientes. El coeficiente que indica el cambio relativo sobre la variable dependiente Y por un cambio en X , e^{β} , en realidad representa la influencia de X en la razón de probabilidades, es decir, un cambio en la variable X influye en la probabilidad de que ocurra el evento Y . En particular, un coeficiente de razón de probabilidades alto (mayor a uno) indica que dicha variable tiene un fuerte impacto en la probabilidad de ocurrencia de Y .

Después de estimar el modelo, es de nuestro interés en medir los efectos marginales, es decir, la contribución de cada uno de los canales de contagio a aumentar o no la probabilidad de contagio. Dado que un modelo logit es no lineal, uno no puede evaluar la relevancia de cada variable mirando solamente el coeficiente estimado, ya que el coeficiente mide el impacto de la variable en la razón de probabilidades. El estadístico utilizado para probar la significancia de los coeficientes asociados a las variables explicativas X es el estadístico de Wald. Dicho estadístico sigue una distribución de probabilidad Chi cuadrada con un grado de libertad y se calcula de la siguiente forma:

$$Wald = \left(\frac{\beta}{\sigma_{\beta}} \right)^2$$

En contraste con el tratamiento que se les dio a las variables explicativas (es decir, a los canales de contagio) en la metodología de tablas de contingencia, en este apartado se dejan libres, es decir, no se transformaron a relaciones binarias (con excepción obviamente de la variable dependiente, el contagio financiero).⁴² El contagio se evaluó en periodos trimestrales, al igual que en la metodología anterior de tablas de contingencia.

Para darle robustez a los resultados, se corrieron cuatro tipos de modelos logit. El primero estimó el contagio financiero con todos los canales descritos anteriormente de forma contemporánea. En el segundo modelo se estimaron las variables contemporáneas

⁴² En particular, para hacer “continua” la variable de comportamiento de los inversionistas a través de las pruebas de eficiencia, se utilizó el valor p promedio las pruebas de eficiencia Dickey Fuller y Phillips-Perron, de manera que bajo la hipótesis nula de ambas pruebas (existe raíz unitaria, o eficiencia en los mercados accionarios), cuando el valor p aumenta (mayor probabilidad de aceptar H_0 y existe raíz unitaria y mercados eficientes), la probabilidad de observar mayores asimetrías en los mercados se reduce y por tanto la probabilidad de contagio disminuye.

además de rezagar la variable de fundamentales macroeconómicos, lo anterior debido a que es la más probable que acarree inercia en vista que se compone de variables macroeconómicas. El tercero rezaga, además de la variable anterior, las variables de vínculos comerciales y financieros, dado que es probable que arrastren inercia. La cuarta especificación rezaga todas las medidas de canales de contagio (además de estimarlas de forma contemporánea). Los resultados de las estimaciones del modelo logit se presentan en el Cuadro^o 14.

Cuadro 14
Regresión logit para los canales de contagio y el contagio

Canal de contagio	Razón de probabilidad				Valor p (Estad. Wald)			
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
Fundamentales macro	0.02	0.09	0.07	0.04	0.237	0.040	0.155	0.378
Fundamentales macro (rezago)		-0.08	-0.06	-0.04		0.074	0.206	0.420
Vínculos comerciales EEUU	0.07	0.06	0.87	0.78	0.035	0.083	0.281	0.437
Vínculos comerciales EEUU (rezago)			-0.80	-0.71			0.317	0.477
Vínculos financieros EEUU	-0.32	-0.20	-0.40	-1.62	0.321	0.543	0.732	0.249
Vínculos financieros EEUU (rezago)			0.15	1.67			0.902	0.267
Vínculos financieros Europa	-0.09	-0.00	-0.35	-1.55	0.780	0.994	0.752	0.243
Vínculos financieros Europa (rezago)			0.31	1.83			0.783	0.197
Conducta inversionistas: eficiencia	-3.33	-3.18	-3.47	-3.45	0.015	0.023	0.020	0.058
Conducta inversionistas: eficiencia (rezago)				-3.91				0.023
Conducta inversionistas: flujos capital	-0.26	-0.23	-0.21	-0.34	0.003	0.006	0.022	0.006
Conducta inversionistas: flujos de capital (rezago)				-0.23				0.084
R cuadrado de Mc Fadden	33%	36%	37%	52%				
Estadístico LR	29.2	32.5	33.4	46.5	0.000	0.000	0.000	0.000
Criterios de información:								
Akaike	0.30	0.30	0.32	0.29				
Schwarz	0.40	0.41	0.48	0.48				
Hannan	0.34	0.34	0.39	0.36				

Hay varios puntos por resaltar en la tabla anterior. El primero a destacar es el hecho que los únicos canales de contagio que resultan significativos al 95 por ciento de confianza en

las cuatro especificaciones son los del comportamiento de los inversionistas, tanto los relacionados con la eficiencia y los flujos de capital. Además, los coeficientes de ambas medidas tienen los signos correctos, es decir, una caída en los flujos de capital hacia los países latinoamericanos o una caída en la 'fuerza' de la eficiencia en los mercados (es decir, una caída en el valor p de las pruebas de raíces unitarias) aumentan la probabilidad de contagio. Sin embargo, la magnitud de los coeficientes entre ambas medidas es muy distinta. Mientras la razón de probabilidad es baja para los flujos de capital, es muy alta en el caso de la eficiencia de mercado.

Ahora bien, de las especificaciones anteriores, siguiendo los criterios de información el modelo sin rezagos sería el elegido, a pesar de tener el menor nivel de varianza explicada, con un 33 por ciento. Bajo esa especificación, los canales de contagio que afectan al contagio son los vínculos comerciales con los EEUU y los dos de comportamiento de los inversionistas. Sin embargo, la magnitud del canal de contagio de vínculos comerciales es muy baja.

En relación con los resultados obtenidos con las tablas de contingencia, vale la pena destacar algunos puntos. El primero y más importante es que no necesariamente los mismos canales de contagio que resultaron ser significativos en la metodología de tablas de contingencia son significativos en los modelos logit. Salvo por el canal de que el canal de comportamiento de los inversionistas de flujos de capital, que si resultó significativo con un nivel de confianza del 95 por ciento, el canal de fundamentales macroeconómicos no resultó significativo más que en una especificación del modelo. El canal de vínculos comerciales con los EEUU resultó significativo sólo en una especificación. En resumen, el

canal de comportamiento de los inversionistas, vía salidas/entradas de flujos de capitales y de probar la eficiencia de mercado resultan ser los únicos canales que explican un mayor contagio hacia las economías de América Latina estudiadas y para el periodo analizado.

Los resultados anteriores son similares a los encontrados por Collins y Gavron (2004), en el sentido que sólo la inflación como medida de fundamentales, los vínculos comerciales y una medida de comportamiento de los inversionistas, la medida de liquidez global, explican el contagio hacia las economías emergentes. Por otra parte, Eichengreen, Rose y Wyplosz (1997) encuentran que países que presentan fuertes vínculos comerciales son más vulnerables a presentar contagio financiero.

5. Conclusiones

Este capítulo contribuye al estudio del contagio financiero a través de los mercados accionarios, en particular, se especifica qué canal o grupo de canales aumentan la probabilidad de la incidencia del contagio financiero. Los canales de contagio fueron medidos y evaluados en contra de la incidencia de contagio. Las pruebas de contingencia y las regresiones logit sugieren que existen canales de contagio en los mercados accionarios que fueron más relevantes para los países de América Latina analizados en el periodo 1990-2013: el comportamiento de los inversionistas, y en menor medida, los fundamentales macroeconómicos y vínculos comerciales. Es decir, cuando los inversionistas globales perciben una situación exógena como estresante para la región latinoamericana, estos tienden a generar contagio en los mercados accionarios de la región, no obstante que los países con buenos fundamentales atenúan en parte dicho efecto de contagio y sufren de

menos volatilidad en los mercados. Asimismo, conforme se logra una mayor profundidad en los mercados, es más probable validar la hipótesis de mercados eficientes y de acuerdo con nuestros resultados, la mayor eficiencia en los mercados disminuye la probabilidad de contagio. Por último, los resultados anteriores sugieren que, ni los canales de fundamentales débiles o vínculos comerciales o comportamiento de los inversionistas por sí solos causan el contagio financiero. En lugar de eso, una combinación de dichos canales parecen ser los responsables del esparcimiento de los periodos volátiles entre países.

Un área de oportunidad para investigaciones futuras sería la búsqueda de nuevas variables que sean mejores aproximaciones de los canales de contagio aquí estudiados. Por ejemplo, uno podría pensar que el riesgo político y el respeto al marco normativo tienen un papel muy importante en la transmisión del estrés hacia una economía. Los inversionistas extranjeros temerían a que un gobierno discrecional pueda tomar medidas en su contra de la noche a la mañana. Sin embargo, las medidas existentes cuentan con una periodicidad anual, la cual es muy larga como para ser consideradas en este estudio. El mayor reto en los estudios de contagio es encontrar medidas fiables de los canales de contagio. No obstante, con la información con la que se hizo el estudio, para los países seleccionados y las fechas del estudio, se encuentra evidencia de que el contagio se genera del exterior, y un país puede mitigar el contagio teniendo fundamentales sólidos y mercados financieros profundos, que son a fin de cuentas variables bajo su control.

Bibliografía

Balakrishnan R, Danninger E, y Tytell I (2009). "The Transmission of Financial Stress from Advanced to Emerging Economies". Fondo Monetario Internacional, documento de trabajo 09/133.

Banco Central Europeo (2009). "Financial Stability Review", Cuadro 1, pp 21. Diciembre.

Beck T, Demirguc-Kunt A, y Levine R (2004). "Finance, Inequality, and Poverty: Cross-Country Evidence". Buró Nacional de Investigación Económica (NBER), documento de trabajo 10979.

BPI, CEF y FMI (2009). "Guidance to Assess the Systemic Importance of Financial Institutions, Markets and Instruments: Initial Considerations". Reporte de los ministros de finanzas y gobernadores de bancos centrales del G-20, Octubre.

Blix-Grimaldi M (2010). "Detecting and interpreting financial stress in the euro area". Documento de trabajo 1214, Banco Central Europeo.

Brave S y Butters R (2011a). "Monitoring Financial Stability: A Financial Conditions Index Approach". Economic Perspectives, First Quarter, pp. 22-43. Banco de la Reserva Federal de Chicago, EEUU.

Breitung J, Eickmeier S (2005). "Dynamic factor models". Discussion Paper Series 1: Economic Studies 2005,38, Deutsche Bundesbank, Research Centre.

Calvo, S. y Reinhart, C (1996). "Capital flows to Latin America: Is there evidence of contagion effects?," Policy Research Working Paper Series 1619, Banco Mundial.

Cardarelli R, Elekdag S y Lall S (2009). "Financial Stress, Downturns and Recoveries". Fondo Monetario Internacional. Documento de trabajo 09/100, Mayo.

Claessens S, Dornbusch R y Park Y (2001). "Contagion: Why Crises Spread and How This Can Be Stopped." En Claessens y Forbes (Eds.), "International Financial Contagion". Boston: Kluwer Academic Publishers.

Collins S, y Gavron S (2004). "Channels of financial market contagion". Applied Economics, 2004, 36 2461-2469.

Corsetti G, Pesenti P, y Roubini N (1998). "What Caused the Asian Currency and Financial Crisis? Part I: A Macroeconomic Overview," Buró Nacional de Investigación Económica (NBER). Documento de trabajo Núm. 6833.

Demirgüç-Kunt A, Levine R (2004). "Financial Structure and economic growth: a cross-country comparison of banks markets and development". MIT Press

Dornbusch R, Park Y y Claessens S (2000). "Contagion: Understanding How It Spreads". Observador de Investigación del Banco Mundial, World Bank Group, vol. 15(2), páginas 177-97, Agosto.

Eichengreen B, Rose A y Wyplosz C (1997). "Contagious currency crises". Scandinavian Economic Review, 98, 463-84.

Fondo Monetario Internacional (2008). "Perspectivas económicas mundiales". Capítulo 4: "Financial Stress and Economic Downturns".

Fondo Monetario Internacional (2009). "Perspectivas económicas mundiales". Capítulo 4: "How Linkages Fuel the Fire: The Transmission of Financial Stress from Advanced to Emerging Economies".

Forbes K y Rigobon, R (2002). "No Contagion, Only Interdependence: Measuring Stock Market Comovement," Journal of Finance. Vol. LVII No. 5 Octubre 2002.

Gómez E, Murcia E y Zamudio N (2011). "Financial Conditions Index: Early and Leading Indicator for Colombia". Ensayos sobre Política Económica, vol.29, n.66, pp. 174-221.

Jin Y, Leung Y y Zeng, Z (2010). "Real Estate, the External Finance Premium and Business Investment: A Quantitative Dynamic General Equilibrium Analysis," Artículo del MPRA número 26722, Biblioteca de la Universidad de Munich, Alemania.

Jolliffe, I (2006). "Principal Component Analysis". Ed. Springer. Segunda edición.

Kliesen K y Smith D (2010). "Measuring financial market stress". Economic Synopses, Banco de la Reserva Federal de San Luis, EEUU.

Kritzman M, Li Y, Page S y Rigobon R (2010). "Principal Components as a Measure of Systemic Risk". Revere St Working Paper Series, Financial Economics 272-28, marzo.

Hakkio C y Keeton W (2009). "Financial stress: what is it, how can it be measured, and why does it matter?" Journal of Economic Review, Junio.

Heat J (2012). "Lo que indican los indicadores: Cómo utilizar la información estadística para entender la realidad económica de México". Editado por el INEGI.

Holló D, Kremer M and Lo Duca M (2012). "A Composite Indicator of Systemic Stress in the Financial System" Documento de trabajo del Banco Central Europeo Núm. 1426. Marzo.

Hotelling H (1933). "Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components". Journal of Educational Psychology, 24 (6 y 7).

Illing M y Liu Y (2006). "Measuring Financial Stress in a Developed Country: An Application to Canada," Journal of Financial Stability, Vol. 2, No.3, Octubre.

Illing M y Meyer A (2005). "A brief Survey of Risk Appetite Indexes," Financial System Review, Banco de Canadá.

Kolman B y Hill D (2006). "Introductory Linear Algebra with Applications" Ed. Prentice Hall, Octava Edición.

Laeven L y Valencia F (2008). "Systemic Banking Crises: A New Database". Fondo Monetario Internacional, documento de trabajo 08/224. Septiembre.

Levine R, Loayza N y Beck T (1999). "Financial Intermediation and Growth: Causality and Causes," Policy Research Working Paper Series 2059, The World Bank.

Lo Duca M y Peltonen TA (2011). "Macro-Financial Vulnerabilities and Future Financial Stress: Assessing Systemic Risks and Predicting Systemic Events". Documento de trabajo 1311, Banco Central Europeo. Marzo

Louzis D y Vouldis A (2011). "A Financial Systemic Stress Index for Greece". Conferencia del BCE, Agosto. Disponible en SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1736570>.

Mahadeva L y Robinson P (2004). "Unit Root Testing in a Central Bank," Handbooks, Centre for Central Banking Studies, Bank of England, No. 22.

Nelson W, y Perli, R (2007). "Selected Indicators of Financial Stability", Irving Fisher Committee's Bulletin on Central Bank Statistics, Vol. 23, pp. 92-105.

Oet M, Eiben R, Bianco T, Gramlich D, y Ong S (2011). "The Financial Stress Index: Identification of Systemic Risk Conditions", Documento de trabajo 11-30, Banco de la Reserva Federal de Cleveland, Noviembre.

Pearson K (1901). "On lines and planes of closest fit to systems of points in space". Philosophical Magazine, Series 6, 2 (11).

Reinhart C y Rogoff K (2008). "This Time Is Different: A Panoramic View of Eight Centuries of Financial Crises," Documento de trabajo del NBER núm. 13882.

Schinasi G y Smith T (1999). "Portfolio Diversification, Leverage, and Financial Contagion". Fondo Monetario Internacional. Documento de trabajo 99/136. Septiembre.

Van Roye B (2011). "Financial Stress and Economic Activity in Germany and the Euro Area". Kiel Working Paper No. 1743, Noviembre.

Wald A y Wolfowitz J (1940). "On a test whether two samples are from the same population." Ann. Math Statist. 11, 147-162.

Wooldridge J (2004). "Introductory econometrics: a modern approach", 4a edición. Cengage Learning Editores.

Anexo 2

Los pesos iguales en varianza otorgan el mismo peso a cada una de las variables financieras:

$$y_{prom} = X \alpha, \quad \text{con } \alpha_i = 1/k \text{ para toda } i = 1, \dots, k$$

Una justificación para establecer los pesos de esta manera proviene de la idea clásica de descomposición de una variable x_j en su componente común u e idiosincrático ε_j : $x_j = u + \varepsilon_j$. Al tomar el promedio de las variables para un determinado periodo, la parte idiosincrática se compensan por la Ley de los Grandes Números mientras que los componentes comunes sobreviven a la agregación:

$$\bar{x} = \frac{1}{k}(x_1 + \dots + x_k) = u + \frac{1}{k}(\varepsilon_1 + \dots + \varepsilon_k)$$

Si el término idiosincrático es un ruido blanco con media cero y varianza 1, el valor esperado y la varianza del promedio quedan así:

$$E[\bar{x}] = E[u]; \quad Var[\bar{x}] = Var(u) + \frac{1}{k}$$

Entonces, el error idiosincrático se reduce conforme se cuentan con más variables en el índice. También es importante señalar que con esta metodología se debe tener cuidado que cada una esté expresada o construida de manera que todas aumenten cuando el estrés

aumente o viceversa porque cada variable posee el mismo peso en el índice. Esta técnica es muy sencilla de implementar y por ello es utilizada por importantes estudios como el del FMI (2009). Sin embargo, esta metodología no nos dice nada sobre la variación común de las variables en el sentido que no establece criterios para maximizar dicha variación. Puede suceder, por ejemplo, que dos variables sean muy semejantes y esta metodología les da el mismo peso cuando una de las dos variables no aportan mucha información al conjunto y podría ser eliminada.

Los pesos económicos le dan más importancia a las variables que pertenecen a mercados de mayor tamaño o importancia. Por ejemplo, como ocurre en muchos países emergentes como México, el mercado de deuda está más desarrollado que el accionario, y por lo tanto se le da un mayor peso al primero.

$$y_{econ} = X \alpha, \quad \text{con } \alpha_i = f\left(\frac{M_j}{M}\right) \text{ para toda } i \in j$$

En donde M representa el volumen operado del mercado j sobre el total. Todas las variables i que pertenezcan al mercado j recibirán el mismo peso. No hay duda que el argumento es interesante porque es razonable pensar que el estrés en un mercado en particular afectará más a una economía si es muy importante para ésta. Sin embargo, esta forma de otorgar pesos se ha utilizado poco en la literatura de índices de estrés. Tal vez se deba a la dificultad para medir con precisión cada uno de los mercados que componen a cada país en el tiempo, y también porque es difícil contar con esta información cuando se realizan estudios para muchos países. Para el caso de México sí se cuenta con esta

información. De nuevo, esta metodología no nos da un criterio para optimizar la variación que tienen las variables en común.

Otra técnica que se utilizó es el rango percentil promedio. El rango percentil ordena de menor a mayor el valor actual de una variable y lo expresa como un porcentaje del conjunto de datos analizados. El orden de cada variable dependerá de su distribución de frecuencias en el tiempo. A diferencia de las otras metodologías presentadas, el rango percentil implica realizar una transformación no lineal a cada variable. A manera de ejemplo, si la volatilidad del tipo de cambio al día de hoy es 5 por ciento, a través del rango percentil podremos saber si el nivel de volatilidad actual del tipo de cambio es bajo o alto en relación con su historia, de manera que si dicho valor está asociado con una posición percentil de 10 por ciento, entonces se logra tener una idea que el valor actual es bajo en relación con su historia. Una vez que se cuenta con todas las variables X expresadas en su posición percentil P , se toma el promedio simple de todas las variables para construir el índice:

$$y_{perc} = P \alpha, \quad \text{con } \alpha_i = 1/k \text{ para toda } i = 1, \dots, k$$

La interpretación del índice utilizando rangos percentiles es muy sencilla: en promedio a una fecha determinada, las variables financieras se encuentran a un determinado nivel de estrés o tensión en relación con su historia.

Anexo 3

Metodología para las pruebas de raíces unitarias y de caminatas aleatorias

Prueba de raíces unitarias

La prueba de raíces unitarias es una técnica común para determinar si una variable financiera sigue una caminata aleatoria. En este trabajo se utilizarán tres pruebas de raíces unitarias, la Dickey Fuller Aumentada (ADF) y la prueba de Phillips-Perron (PP).

Dickey Fuller Aumentada (ADF)

El estadístico ADF parte del siguiente modelo:

$$\Delta y_t = \alpha + \beta t + \gamma y_{t-1} + \delta_1 \Delta y_{t-1} + \dots + \delta_p \Delta y_{t-p} + \varepsilon_t$$

En donde:

α es una constante, β es el coeficiente de la tendencia y las δ 's son los coeficientes de los rezagos de las diferencias. Estos últimos coeficientes hacen que la prueba ADF tenga más potencia, y por eso se le llama prueba aumentada de Dickey Fuller.

La prueba de raíces unitarias se lleva a cabo bajo la hipótesis nula $H_0: \gamma = 0$, es decir, que sí existe una raíz unitaria, contra la alternativa $H_1: \gamma < 0$. El estadístico de la prueba es

$ADF = \frac{\hat{\gamma}}{SE(\hat{\gamma})}$ el cual se contrasta con los valores críticos de la prueba de DickeyFuller. Si

no podemos rechazar H_0 a un nivel de confianza α significa que tenemos una raíz unitaria en la serie que estamos estudiando.⁴³

Phillips-Perron (PP)

Phillips y Perron (1988) proponen un método no paramétrico para controlar la autocorrelación cuando se realiza la prueba de raíces unitarias. Esta prueba estima el estadístico ADF y modifica el coeficiente asociado al rezago para que la autocorrelación no afecte la distribución asintótica del estadístico de la prueba. El estadístico es el siguiente:

$$\bar{t}_\alpha = t_\alpha \left(\frac{\gamma_0}{f_0} \right)^{1/2} - \frac{T(f_0 - \gamma_0)(se(\hat{\alpha}))}{2f_0^{1/2}s}$$

Donde $\hat{\alpha}$ es el estimador del parámetro α asociado al rezago en la ecuación ADF, t_α es la razón t de α , $se(\hat{\alpha})$ es el error estándar de α , y s es el error estándar de la regresión. γ_0 es un estimador consistente de la varianza de la regresión (calculado como $(T - k)s^2/T$) donde k es el número de regresores) y f_0 es un estimador del espectro residual en la frecuencia cero.

⁴³La prueba comienza suponiendo que la serie tiene tendencia e intercepto. Si no se rechaza H_0 y el coeficiente de la tendencia es significativo a un nivel de confianza α , entonces la serie tiene una raíz unitaria. De lo contrario, eliminamos la tendencia y ahora realizamos la prueba sin tendencia pero con intercepto. Y se repite el mismo procedimiento para modelos con intercepto y sin tendencia, y sin tendencia ni intercepto.