

## Stress-Testing para carteras de crédito del Sistema Bancario Mexicano

Leslie A. Jiménez Rosas\*

*El Colegio de México, Centro de Estudios Económicos*

Guillermo Benavides Perales

*Banco de México, Dirección General de Investigación Económica*

*(Recibido 5 de agosto 2015, aceptado 15 de diciembre de 2015.)*

---

---

### Resumen

El objetivo del presente trabajo es generar un esquema que permita evaluar la vulnerabilidad de las carteras de crédito de instituciones del Sistema Bancario Mexicano ante choques macroeconómicos adversos. Con éste fin, se emplearon datos del radio entre cartera vencida y total, de 2000 a 2014, para 65 instituciones financieras. A través del método Seemingly Unrelated Regressions (SUR), se estimó un sistema de ecuaciones que relaciona los indicadores de probabilidad de incumplimiento con diversos factores macroeconómicos, el cual fue utilizado para estimar distribuciones de probabilidad, una incondicional y otras condicionadas a la ocurrencia de choques particulares en las variables macroeconómicas, para evaluar el impacto sobre las probabilidades de incumplimiento. Los resultados indican que la pérdida estimada en situaciones de estrés no aumenta significativamente, por lo que se concluye que el riesgo es moderado bajo los escenarios seleccionados. El valor del documento consiste en relacionar diversos factores macroeconómicos con el incumplimiento en las carteras de crédito; cabe señalar que los resultados están limitados a la ocurrencia de los escenarios de estrés inducidos y el horizonte de estimación del modelo econométrico.

*Clasificación JEL: C15, G21, G28, G33.*

*Palabras clave: Riesgo de crédito; Análisis de estrés; Banca.*

## Stress-Testing for Credit Portfolios in the Mexican Banking System

### Abstract

The aim of this paper is to present a scheme to assess vulnerability to adverse macroeconomic shocks in aggregate loan portfolios of the Mexican banking system. The used database consists of monthly aggregate information of the radius between nonperforming loans and total loans, for the period 2000-2014, for a total of 65 financial institutions. Through the Seemingly Unrelated Regressions (SUR) methodology, we estimated an equations system to link the default probability and macroeconomic factors, the obtained system was used to estimate the probability distributions, unconditional and conditional upon the occurrence of particular shocks in relevant macroeconomic variables. The outcome indicates that the estimated loss from the different distributions under stress does not increase significantly, so, we conclude that the risk in this sector is moderate under the selected scenarios. The most important result of the work is the obtained relation between default probabilities and stressed macroeconomic factors, but these results are limited by the probability of occurrence of these induced stress scenarios and the horizon of the estimated econometric model.

*JEL Classification :C15, G21, G28, G33.*

*Key Words: Credit Risk, Stress Testing, Banking.*

---

\* Banco de México. Av. 5 de Mayo 2, Centro, Ciudad de México, C. P. 06059, México  
Tel. (55)5237-2000 Ext. 3877. Correo Electrónico:gbenavides@banxico.org.mx

Los comentarios aquí expuestos son exclusivamente de los autores y no necesariamente representan la opinión o punto de vista del Banco de México

## 1. Introducción

En años recientes se ha puesto un gran empeño en la mejora y extensión de la regulación a instituciones financieras. El riesgo de crédito es un componente importante ya que a pesar de que los tipos de productos que los bancos ofrecen cambia continuamente, estos incluyen frecuentemente un componente de riesgo de crédito. Debido a su importancia, este tipo de riesgo ha sido tema de discusión constante en los acuerdos de Basilea, principalmente en la segunda entrega surgida en 2004. Esto ha llevado a la implementación de sistemas correctivos y evolutivos en la banca para poder hacer frente a los requerimientos derivados de esta regulación, aunque el costo que implica este desarrollo ha demorado a muchas instituciones en su aplicación.

El *Stress-Testing* se ha convertido en una herramienta importante en el manejo de riesgo en las instituciones financieras, lo cual se define, según el Bank for International Settlements (BIS) en un reporte del año 2000, como un rango de técnicas utilizadas para evaluar la vulnerabilidad de una institución o un sistema financiero ante shocks macroeconómicos “excepcionales pero plausibles”. Este tipo de análisis ofrece la ventaja de hacer posible la obtención de un valor esperado del impacto en medidas como el valor esperado de la pérdida derivada del impago de los acreedores; esto puede ser a través de un análisis de escenarios, que analiza efectos derivados del cambio en múltiples variables correlacionadas, en ese sentido permite evaluar la necesidad de medidas precautorias para asegurar estabilidad en caso de shocks adversos drásticos.

Gradualmente las técnicas de Stress-Testing han sido aplicadas no sólo a instituciones individuales, sino en un contexto más amplio con el objetivo de medir la sensibilidad de un grupo de instituciones financieras o incluso de un sistema financiero completo ante choques comunes. Aunque, en este contexto, en una parte importante de la literatura existente no se hace hincapié en las conexiones que son inherentes a cualquier sistema financiero. Es por eso que algunos especialistas señalan que es más apropiado llamarlo “System-Focused” Stress-Test cuando esté es aplicado a un sistema financiero, para hacer énfasis en las limitaciones que conlleva la realización del ejercicio.

El objetivo del “System-Focused” Stress-Test es identificar vulnerabilidad conjunta de las instituciones que pueda debilitar la estabilidad de un sistema financiero. Una diferencia fundamental con el análisis individual de portafolios es que este incluye la agregación y/o comparación entre portafolios que son más heterogéneos, que pueden estar basados en diferentes supuestos y métodos de cálculo. El valor agregado de un análisis como este reside en que integra una perspectiva macroeconómica prospectiva, un enfoque panorámico en el sistema financiero, y un acercamiento uniforme para la evaluación del riesgo a través de instituciones. Puede contribuir a un mejor entendimiento de las relaciones entre el sector financiero y la macroeconomía.

El análisis de Stress-Testing es mejor visto como un proceso, aunque no necesariamente las etapas siguen algún orden. En primer lugar es preciso identificar las vulnerabilidades específicas o áreas de preocupación, ya que no es realista el análisis de todo posible factor de riesgo. Aquí se busca identificar indicadores macroeconómicos que puedan representar la situación económica

en una “big picture”, junto con indicadores centrados en la situación de cada institución financiera.

La siguiente etapa consiste en la construcción de escenarios en el contexto de un esquema macroeconómico consistente, cabe señalar que es de suma importancia asegurar la consistencia de estos, ya que cuando el escenario ha sido definido, la probabilidad con que este ocurra no se considera más un punto a considerar en el análisis. Los escenarios a utilizar en el análisis de estrés son variados y pueden ser seleccionados a partir de datos históricos, considerando hipótesis plausibles (verosímiles) o experiencias de países semejantes.

Por último, pero siendo de vital importancia, está la estimación de modelo empírico. Una vez especificado se utiliza para obtener valores estimados de los indicadores asociados a las instituciones condicionados a la ocurrencia de los escenarios adversos.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un esquema para pruebas de estrés a nivel agregado de instituciones financieras mexicanas derivado de diversas carteras de crédito, que ante un escenario de inestabilidad financiera originado a partir de la crisis del 2007, representa un acercamiento a la medición del riesgo en este sector. Aún cuando la relación entre el sector financiero y el macroeconómico parece muy intuitiva, la modelación y estimación específica de las relaciones entre variables macroeconómicas y las probabilidades de incumplimiento para el caso mexicano es la aportación buscada. Una vez realizadas estas estimaciones se empleará el modelo para analizar el impacto de escenarios adversos en la economía sobre las variables financieras del Sistema Bancario Mexicano.

Después de revisar la literatura relacionada, en la primera sección se describen los esquemas econométricos representativos y los resultados obtenidos por el método *Seemingly Unrelated Regressions (SUR)*. En la segunda sección se describe el procedimiento para realizar simulación Monte Carlo y los escenarios de estrés inducidos, finalmente se muestran los efectos de estos escenarios en la distribución de probabilidad asociada.

## 2. Revisión literaria

Existen diversos estudios que han utilizado diferentes modalidades de esquema macroeconómico para aplicarlo a sistemas bancarios completos en diferentes países. En Wilson(1997a y 1997b) de KPMG, se presenta un trabajo que ha servido de referencia para una amplia variedad de estudios debido a que plantea el modelo conocido como *Credit Portfolio View (CPV)*, la tasa de incumplimiento y probabilidades de transición de *rating* son explícitamente ligadas a algunas variables macroeconómicas y las pérdidas en los portafolios son calculadas mediante el uso de simulación Monte Carlo.

En Boss (2002) se modelan las tasas de incumplimiento observadas en préstamos bancarios en Austria desde 1965 hasta 2001. Se usa el modelo CVP y las tasas de incumplimiento son explicadas por 8 diferentes variables macroeconómicas elegidas de un grupo de 31 candidatas. El modelo es utilizado para simular y para realizar análisis de estrés sobre las pérdidas crediticias en el sistema bancario Australiano y concluye que la capacidad que los bancos tienen para soportar riesgo es más que adecuada.

Virolainen (2004) aplica el modelo de CVP sobre las probabilidades

de banca rota para sectores industriales específicos sobre el periodo de tiempo desde 1986 hasta 2003 y estima un modelo macroeconómico de riesgo de crédito para el sector corporativo de Finlandia. Los resultados sugieren una relación significativa entre las tasas de incumplimiento corporativas y los factores macroeconómicos clave incluidos en GDP, tasas de interés y endeudamiento corporativo. El modelo estimado es empleado para analizar el riesgo de crédito corporativo condicionado sobre las condiciones macroeconómicas. También se encontró una estrecha dependencia entre las provisiones para insolvencias de los bancos y los indicadores de la actividad económica en escenarios de estrés.

En Wong(2008) se desarrolla un esquema de Macro-Stress-Testing para medir la vulnerabilidad de los portafolios de préstamos bancarios e hipotecas en Hong Kong, se introducen diferentes shocks sobre las variables macroeconómicas para simular lo ocurrido durante la crisis financiera asiática. El documento muestra la construcción de modelos macroeconómicos de riesgo de crédito, uno para las carteras globales de préstamos y, para mostrar que el mismo esquema puede aplicarse en diferentes sectores económicos, el otro modelo es para exposiciones hipotecarias de los bancos. Cada uno compuesto por un modelo de regresión múltiple y un conjunto de modelos autoregresivos estimados por el método de Seemingly Unrelated Regression (SUR), que tienen como propósito examinar la relación entre la tasa de default en los préstamos bancarios y los diferentes valores macroeconómicos basados en datos históricos. Tomando en cuenta el esquema generado por las regresiones, se toman diversos escenarios macroeconómicos adversos y se utiliza simulación Monte Carlo para obtener posibles combinaciones de valores macroeconómicos. Entonces, las distribuciones de probabilidad de las tasas de default en los préstamos bancarios pueden ser generadas. El Value-at-Risk se calcula para evaluar como un ambiente macroeconómico estresado puede afectar la probabilidad de default en los portafolios de préstamos de los bancos. Las variables consideradas son el GDP de Hong Kong y China, tasas de interés reales de Hong Kong y los precios de bienes raíces en Hong Kong. Los resultados del trabajo sugieren una relación significativa entre las variables consideradas y las probabilidades de default a préstamos e hipotecas bancarias. Después de introducir al esquema diversos shocks, se observa que con 99% de confianza, los bancos continuarán teniendo beneficios en los escenarios estresados, lo que sugiere que el riesgo del sector bancario es moderado.

En el trabajo de Olli (2009) se analizan las probabilidades de default en el sector corporativo en la zona euro bajo un rango de shocks financieros macroeconómicos, las cuales caracterizan las dinámicas que dominan las carteras bancarias de préstamos a corporativos. Debido a que se analizan estas probabilidades bajo un rango de escenarios a través del tiempo, este trabajo representa un esquema dinámico para Stress-Testing. Se utiliza un modelo Global Vector Autoregressive (GVAR), que busca explicar el mecanismo de transmisión entre países de la zona euro, analizando a su vez la interacción entre variables domésticas y externas, lo que da pie a un esquema en el que están presentes diversos canales de transmisión. Se construye un modelo satélite para conectar el modelo GVAR con valores de la zona euro, sobre la combinación de estos dos modelos se analiza el impacto de escenarios de estrés en las probabilidades de default. Los datos que se incluyen en el análisis son de

probabilidades de default esperadas emitidos por Moodys KMV, corresponden a 8 grupos de países que fueron agrupados en orden de representar una región, además los datos son clasificados por sector industrial.

En Küçüközmen y Yüksel (2006), se desarrolla un esquema macroeconómico de riesgo de crédito para el sistema bancario Turco y se usa este en análisis de estrés. Se aplica una versión revisada del modelo CPV para datos turcos que incluyen el total del portafolio de préstamos del sistema bancario. En el modelo empírico construido, los cambios en los ratios NPL (*non-performing loans*) de ocho sectores fueron explicados por algunas variables macroeconómicas. Las evoluciones de las variables macro fueron estimadas mediante procesos ARIMA. Los residuales obtenidos fueron utilizados para la construcción de la matriz de covarianza del sistema de ecuaciones, para la simulación Monte Carlo y el cálculo de pérdidas esperadas.

### 3. Esquema econométrico

El objetivo fundamental de un análisis de stress-testing aplicado a las carteras de préstamos bancarios agregadas es determinar si el sistema financiero, al estar inmerso en una situación macroeconómica adversa, tendría que enfrentarse a pérdidas que fueran de magnitud suficiente como para poner en peligro su solvencia y con ello debilitar significativamente el desempeño de la economía.

Uno de los factores necesarios para realizar este análisis es la determinación de escenarios macroeconómicos, lo que se entenderá como una combinación de eventos adversos reflejados en movimientos de las variables macroeconómicas. Se requiere que estos escenarios representen situaciones extremas pero plausibles, es decir, es preciso asegurar que esta combinación constituya una mezcla realista, ya que una vez se hayan delimitados, la probabilidad asociada a su ocurrencia no se considera más un punto importante en el análisis. La selección de estos escenarios se discutirá en la siguiente sección.

El segundo punto fundamental es rastrear los efectos potenciales de los escenarios macroeconómicos en las carteras de préstamos de los bancos, esto con la finalidad de evaluar su robustez. Para este paso se requiere la estimación de un modelo econométrico que muestre la relación que existe entre algún indicador de solidez financiera con las variables macroeconómicas, que en lo siguiente serán denotadas como  $x_1 \cdots x_M$ , asociadas al escenario:

$$y = f(x_1 \cdots x_M) + \epsilon; \quad (1)$$

donde  $y$  representa el valor del indicador financiero y  $\epsilon$  es un término de error que captura los componentes no incluidos en el modelo. En términos generales, el procedimiento consiste en proponer una forma explícita para  $f$ , sustituir los valores de  $x_1, \cdots, x_M$  correspondientes a los escenarios y calcular los valores de  $y$  suponiendo que  $\epsilon = 0$ . Los valores resultantes serán interpretados como estimadores de  $y$  condicionados a la ocurrencia de los escenarios, de modo que los cambios ocurridos serán considerados estimadores de los efectos de la imposición de escenarios en el indicador financiero.

En los artículos de Wong(2008) y Virolainen(2004) se han desarrollado esquemas de Macro-Stress-Testing para medir la vulnerabilidad de los portafolios de préstamos bancarios e hipotecas en Hong Kong y Finlandia respectivamente, al igual que en Boss (2002) para el caso de bancos

de Austria, se incluyeron elementos planteados en el modelo de Wilson (1997), el cual presenta la relación existente entre tasas de incumplimiento y factores macroeconómicos para simular la evolución de las tasas de incumplimiento en el tiempo mediante la generación de choques macroeconómicos en el sistema. En los artículos mencionados se incluye la posibilidad de que  $\epsilon$  sea diferente de cero en la ecuación de  $y$ , y se considera que existe aleatoriedad en el comportamiento de las variables estocásticas además de correlación entre los diversos componentes estocásticos, explícitamente se toma en cuenta la variación de  $\epsilon$  y su correlación con las variables macroeconómicas  $x_1, \dots, x_M$ .

En el presente trabajo se busca implementar un esquema para stress-testing de la exposición en diferentes carteras de crédito ante choques macroeconómicos tomando como base el trabajo de Wilson (1997a,b), Wong (2008), Boss (2002) y Virolainen (2004). Con la finalidad de calcular tasas de incumplimiento empíricas que sean significativas, se toman datos agregados de los bancos pertenecientes al Sistema Bancario Mexicano. En esta sección se presenta el desarrollo del modelo econométrico elaborado sobre variables de riesgo de crédito entre diferentes carteras agregadas y dinámicas macroeconómicas.

### 3.1 Modelos macroeconómicos empíricos

Supongamos que hay  $J$  carteras de crédito distintas. Sea  $p_{j;t}$  la tasa de incumplimiento promedio de la cartera  $j$  observada en el tiempo  $t$ , donde  $j = 1 \dots J$ . Se aplicará el modelo de Wilson para analizar las tasas de incumplimiento específicas de cada cartera, de acuerdo al cual, la tasa media de incumplimiento para la cartera  $j$  es modelado mediante la forma funcional logística como:

$$p_{ij} = \frac{1}{1 + \exp(y_{i,t})} \quad (2)$$

donde  $p_{j;t}$  representa la tasa de incumplimiento para el sector  $j$  en el tiempo  $t$ , y  $y_{j;t}$  está asociado al indicador financiero que cuantifica el estado en que se encuentra cada cartera, de acuerdo con la formulación original, la interpretación de un valor más alto de  $y_{j;t}$  será de una mejora en la situación de la cartera  $j$  y estará asociado con un valor menor de  $p_{j;t}$ . Por cuestiones de conveniencia se usará el valor logit-transformado  $y_{j;t}$  como la variable dependiente en la regresión. Es decir:

$$y_{i,j} = \ln \frac{1 - p_{ij}}{p_{i,j}} \quad (3)$$

de modo que  $-\infty < y_{i,t} < \infty$

### 3.2. Formulación de Virolainen

Dos formulaciones distintas para el esquema econométrico han sido utilizadas con frecuencia en la literatura relevante al análisis de estrés, la elección entre una y otra, como se menciona en Yüksel(2006) o en Wong (2008), está en función de los datos econométricos disponibles y de la especificidad de las relaciones que son consideradas relevantes. En lo siguiente se presentarán ambos esquemas econométricos para resaltar sus diferencias y los beneficios del esquema que fue elegido para las estimaciones finalmente. En el primero, que está basado en el planteamiento de Virolainen (2004), se asume que las tasas de incumplimiento

en las diferentes carteras de crédito están determinadas por un grupo de factores macroeconómicos exógenos, es decir

$$y_{jt} = \beta_{j,0} + \beta_{j,1}x_{1,t} + \beta_{j,2}x_{2,t} + \dots + \beta_{j,M}x_{M,t} + \nu_{j,t}, \quad (4)$$

donde  $\beta_j$  es un conjunto de coeficientes que representa la relación existente entre cada cartera y las variables macroeconómicas,  $x_{i,t} = 1 \dots M$ , y cada  $\nu_{j,t}$  es independiente e idénticamente distribuida de forma normal. El componente de riesgo sistemático es capturado a través de las variables macroeconómicas  $x_{i,t}$  con un efecto específico de sorpresa a través de  $\nu_{j,t}$  para cada cartera.

Lo siguiente es modelar y estimar el proceso que domina el comportamiento de las series macroeconómicas que describan la salud de la economía. En Virolainen(2004) se asume que cada una de las series sigue un proceso autorregresivo de orden dos (AR(2)), de forma que

$$x_{i,t} = k_{i,0} + k_{i,1}x_{i,t-1} + k_{i,2}x_{i,t-2} + \epsilon_{i,t}, \quad (5)$$

donde  $\epsilon_{i,t}$  es un término de error que se asume independiente e idénticamente distribuido de forma normal.

Las ecuaciones ( 4) y ( 5) en conjunto definen un sistema de ecuaciones que gobierna la evolución conjunta de las tasas de incumplimiento en cada una de las carteras de crédito y factores macroeconómicos con un vector de términos de error  $E_V$  de dimensión  $(j + i) \times 1$  y una matriz de varianza covarianza de términos de error,  $\Sigma_V$ , definida como sigue

$$E^v = \begin{pmatrix} \nu_t \\ \epsilon_t \end{pmatrix} \sim N\left(0, \Sigma^V\right), \Sigma^V = \begin{pmatrix} \Sigma_{\nu} & \Sigma_{\nu,\epsilon} \\ \Sigma_{\nu,\epsilon} & \Sigma_{\epsilon} \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Una vez estimados los parámetros que caracterizan al sistema, se busca simular las futuras trayectorias de las tasas de incumplimiento de cada cartera sobre algún horizonte específico.

### 3.3. Esquema de Wong

Ahora se presenta el esquema de Wong(2006), que modela de forma explícita un mayor número de interacciones entre variables macroeconómicas y tasas de incumplimiento.

Sea  $y_t = (y_{1,t} \dots, y_{J,t})'$ . Se supone que la tasa de incumplimiento transformada depende linealmente de un número de factores macroeconómicos y de un término de error, es decir:

$$y_t = m + A_1x_t + \dots + A_{1+s}x_{t-s} + \Phi_1y_{t-1} + \dots + \Phi_ky_{t-k} + v_t \quad (7)$$

donde  $x_t$  es un vector de  $M \times 1$  variables macroeconómicas,  $m$  es un vector de  $J \times 1$  interceptos,  $A_1, \dots, A_{1+s}$  y  $\Phi_1, \dots, \Phi_k$  son matrices de coeficientes de  $J \times M$  y  $J \times J$  respectivamente, y  $v_t$  en un vector de perturbaciones de  $J \times 1$ . La ecuación ( 7) relaciona explícitamente la variable de incumplimiento en las  $J$  carteras a las condiciones macroeconómicas.

Hay dos diferencias entre el modelo presentado por Wilson (1997a,b) y posteriormente Virolainen (2004), y el utilizado en Wong (2008). La primera

diferencia es que en Wilson (1997a,b) y Virolainen (2004) se asume que  $y_t$  depende únicamente de  $x_t$ , aquí se permite que el impacto de un choque macroeconómico sea prolongado y que las probabilidades de incumplimiento estén correlacionadas entre carteras de crédito. La segunda es sobre las dinámicas de las  $M$  variables macroeconómicas, en el modelo original, cada una de ellas sigue un proceso autorregresivo (AR), en este trabajo se hace una generalización al adoptar la siguiente especificación:

$$x_t = n + B_1 x_{t-1} + \dots + B_p x_{t-p} + \Theta_1 y_{t-1} + \dots + \Phi_q y_{t-q} + \epsilon_t \quad (8)$$

donde  $n$  es un vector de  $M \times 1$  interceptos,  $B_1, \dots, B_p$  y  $\Theta_1, \dots, \Theta_q$  son matrices de coeficientes de  $M \times M$  y  $M \times J$  respectivamente, y  $\epsilon_t$  en un vector de perturbaciones de  $M \times 1$ .

Las razones para optar por las modificaciones implementadas en el trabajo de Wong (2008) son que, en primer lugar, la ecuación (8) expresa un proceso de dinámicas que se considera más realista debido a que permite que las variables macroeconómicas sean mutuamente dependientes. En segundo lugar, la ecuación (8) modela explícitamente los efectos generados en el funcionamiento de la economía a partir del desempeño de los bancos, esto al permitir a  $x_t$  depender de  $y_{t-1}, \dots, y_{t-q}$ . Puede decirse que las ecuaciones (7) y (8) juntas, definen un sistema de ecuaciones que gobierna la evolución conjunta del movimiento de la economía, las tasas de incumplimiento asociadas y sus términos de error, considerando una más amplia gama de relaciones entre cada uno de sus factores.

Se supone que  $v_t$  y  $\epsilon_t$  son normalmente distribuidas y que no presentan correlación serial, sus matrices de covarianza son  $\sum_v$  y  $\sum_\epsilon$  respectivamente;  $v_t$  y  $\epsilon_t$  están correlacionados, con matriz de varianza covarianza  $\sum_{v,\epsilon}$ . En resumen, la estructura de la varianza de las perturbaciones es como sigue:

$$e_t^W = \begin{pmatrix} v_t \\ \epsilon_t \end{pmatrix} \sim N\left(0, \sum^W\right), \sum^W = \begin{pmatrix} \sum_v & \sum_{v,\epsilon} \\ \sum_{v,\epsilon} & \sum_\epsilon \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Permitir que los elementos fuera de la diagonal de  $\sum_v$ ;  $\sum_{v,\epsilon}$  y  $\sum_\epsilon$  sean diferentes de cero es deseable, en primer lugar, es una forma de añadir la influencia de los factores que actúan sobre las variables dependientes que no han sido incorporados explícitamente en las ecuaciones (7) y (8). Por otro lado, las correlaciones entre las perturbaciones en diferentes periodos de tiempo de las variables en (7) y (8) se incluyen y, los efectos que los desempeños de los bancos tienen sobre la economía son capturados con mayor precisión.

### 3.4. Descripción de datos

Las ecuaciones sobre las probabilidades de incumplimiento por cartera fueron estimadas a partir de datos bancarios agregados para 65 instituciones de banca múltiple y sociedades financieras, obtenidos desde la Comisión Nacional Bancaria y de Valores para el periodo de diciembre del 2000 a diciembre de 2014.

La tasa de incumplimiento es medida por el radio entre el monto de Cartera Vencida<sup>1</sup> entre el monto total de prestamos otorgados por los bancos en cada cartera. Debido a la disponibilidad de información estadística para las diferentes carteras de crédito bancarias, se ha optado por el análisis de las series de datos para las siguientes carteras, las cuales fueron transformadas por la fórmula logit que produce las series  $y_t$ :

- Cartera de Créditos Comerciales ( $y_t^{COM}$ )
- Cartera de Tarjeta de Crédito ( $y_t^{TDC}$ )
- Cartera de Consumo No Revolvente<sup>2</sup> ( $y_t^{NRE}$ )
- Cartera de Crédito a la Vivienda ( $y_t^{VIV}$ )

Al revisar las cuatro series por cambios estructurales en el periodo que comprende la muestra y a partir del test de Bai-Perron para cambios determinados de forma secuencial, se obtuvo que a un nivel de confianza de 99% los datos de Crédito Comercial, de TDC y de Vivienda no cuentan con rupturas estructurales, los resultados obtenidos a partir del test aumentado de Dickey-Fuller sugieren que cada una de ellas es un proceso I(1), de modo que se optó por analizar las primeras diferencias logarítmicas. En el caso de la cartera de Crédito No Revolvente, se obtuvo evidencia de la existencia de un cambio estructural, por lo que para evaluar la existencia de raíz unitaria se utilizó el test de Zivot-Andrews, el cual sugiere que no existe, con el fin de obtener resultados y estimaciones homogéneas se dio a esta serie el mismo tratamiento que al resto de las variables financieras. Las principales características de las series se muestran en la tabla siguiente:

Cuadro 1: Estadística descriptiva de series financieras.

Variable	Transf.	Media	D.S.	Test UR	St. t	Prob.
$y_t^{COM}$	Difs. Log.	0.0023	0.0264	Zivot-Andrews	-13.5707	0.0083
$y_t^{NRE}$	Difs. Log.	0.0055	0.0534	Zivot-Andrews	-7.8000	0.0000
$y_t^{TDC}$	Difs. Log.	-0.0003	0.0290	Dickey-Fuller	-11.9117	0.0000
$y_t^{VIV}$	Difs. Log.	0.0046	0.0204	Zivot-Andrews	-13.3866	0.0005

Por otro lado, con el fin de representar un panorama general de la situación de la economía, y dado a que los datos financieros considerados son de periodicidad mensual, se incluyen variables macroeconómicas como el Índice Global de Actividad Económica (IGAE), que permite conocer y dar seguimiento a la evolución del sector real de la economía en el corto plazo, y al ser el esquema conceptual y metodológico de cálculo el mismo que para el Producto Interno Bruto (PIB), se considera que influye directa y positivamente en la capacidad de los agentes en la economía para pagar el servicio de su deuda, de hecho, si se consideran préstamos adquiridos con la finalidad de financiar la actividad económica, es preciso incluirla como una de las variables relevantes.

<sup>1</sup> De acuerdo a la Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV), se define como el monto de los créditos que no han sido pagados en los términos originalmente pactados.

<sup>2</sup> Son créditos destinados a personas físicas y contiene los siguientes tipos.- Créditos personales, ABCD (para bienes de consumo duradero), para auto, nómina y otros con características similares.

La razón para incluir la tasa de interés real en México como variable explicativa es que afecta directamente el costo de la deuda, es por eso que el signo esperado ante aumentos en esta variable se espera sea negativo. De igual forma, suponemos que al ser la tasa de interés en Estados Unidos una importante referencia en cuestiones de política y como un indicador potente de la dirección de la economía en dicho país, se considera en la representación del panorama económico.

Además, se tiene la hipótesis de que indicadores generados por el INEGI como el de Actividad Industrial, Tasa de Desempleo, Inflación y Consumo Privado en el Mercado Interior, representan una fuente de información sobre el desarrollo estructural a corto plazo de la economía, y que al incrementarse sus valores tendrían efectos negativos en el rendimiento de las carteras de crédito para el caso del desempleo y la inflación, y positivos para el resto.

Para incluir en el análisis la posición relativa en la que se encuentra la economía mexicana con respecto a economías extranjeras, se incluyen en el grupo de variables macroeconómicas el Índice de Tipo de Cambio Real (ITCR) y el monto de Exportaciones totales. Se espera que un aumento en el ITCR se traduzca en una situación menos favorable para las carteras de crédito ya que un deterioro de los términos de intercambio empeora las posibilidades de obtención de recursos para el pago de deudas, y un aumento en las exportaciones un efecto positivo.

En cuanto al índice de producción y utilización de capacidad en Estados Unidos, que proviene de un cálculo mensual realizado por la Reserva Federal, cubre sectores como manufactura, minería, electricidad y gas y que toma en cuenta diversos índices de producción por industria y sus índices de utilización relacionados. El detalle a nivel industria que aportan tales medidas representa una fuente de información sobre el desarrollo estructural de la economía de dicho país. Esta información se considera relevante debido a la alta integración que existe entre ambas economías.

Finalmente, se incluyó como variable descriptiva de la situación financiera nacional el monto total de crédito otorgado por instituciones financieras, y se espera que un crecimiento en esta variable se refleje en un mayor riesgo de incumplimiento derivado de una mayor deuda adquirida.

La selección de variables macroeconómicas que son analizadas se ha realizado tomando como guía los trabajos de Boss, Fenz, et al. (2009) y Küçüközmen y Yüksel (2006). La estadística descriptiva y el signo esperado de las series macroeconómicas consideradas se presenta en el cuadro ( 2).

Cuadro 2. Estadística descriptiva de variables macroeconómicas

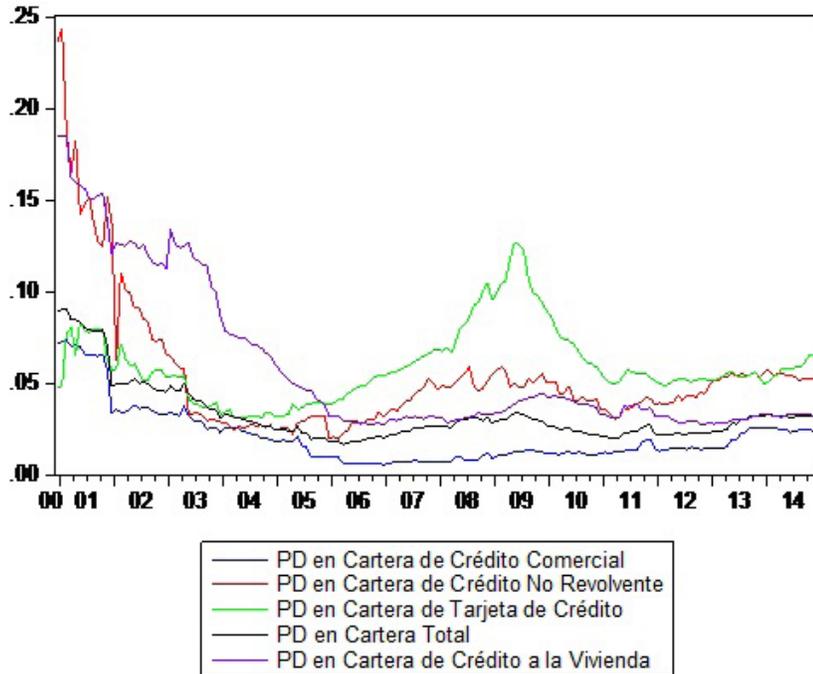
Variable	Expr.	S.E.	Med	D.Est.	Obs.
Indicador global de actividad económica	$x_t^{IGAE}$	+	0.002	0.006	168
Indicador de producción industrial	$x_t^{PRIN}$	+	0.001	0.008	168
Indicador de consumo privado nacional	$x_t^{CONP}$	+	0.002	0.009	168
Tasa de desempleo nacional	$x_t^{DESE}$	-	0.009	0.383	168
Tasa de inflación	$x_t^{INFL}$	-	-0.004	0.365	168
Crédito otorgado por sector bancario	$x_t^{CCTO}$	-	0.007	0.011	169
Exportaciones totales	$x_t^{REXP}$	+	0.005	0.052	169
Índice de Producción y Ocupación de EEUU	$x_t^{REXP}$	+	0.001	0.008	169
Tasa de interés real EEUU	$x_t^{TIRF}$	-	-0.005	0.016	169
Indicador de tipo de cambio real	$x_t^{ITCR}$	-	0.001	0.025	168
Tasa de Interés real nacional	$x_t^{TIRH}$	-	0.066	0.028	169

Al igual que para las variables financieras, a partir del test de Bai-Perron se obtuvo evidencia para la existencia de cambios estructurales en cada una de las series, y en base a los resultados obtenidos se utilizó el test de Dickey-Fuller o el de Zivot-Andrews para existencia de raíz unitaria. Los resultados de las estimaciones y las transformaciones realizadas a cada serie se condensan en el cuadro ( 3).

Cuadro 3. Resultados de pruebas de raíz unitaria para variables macroeconómicas.

Expresión	Transf.	Test UR	St. t	Proba
$x_t^{CCTO}$	Difs. Log.	Zivot-Andrews	- 6.7528	0.0008
$x_t^{CONP}$	Difs. Log.	Dickey-Fuller	- 4.2586	0.0007
$x_t^{DESE}$	Difs.	Dickey-Fuller	- 14.6400	0.0000
$x_t^{IGAE}$	Difs. Log.	Dickey-Fuller	- 12.6620	0.0000
$x_t^{ITCR}$	Difs. Log.	Dickey-Fuller	- 10.4860	0.0000
$x_t^{PRIN}$	Difs. Log.	Dickey-Fuller	- 15.5920	0.0000
$x_t^{REXP}$	Difs.Log.	Dickey-Fuller	- 5.4384	0.0000
$x_t^{INFL}$	Difs.	Dickey-Fuller	-8.6148	0.0000
$x_t^{TIRF}$	Difs.	Dickey-Fuller	- 8.2046	0.0000
$x_t^{TIRH}$	Difs.	Zivot-Andrews	- 6.3340	0.0006
$x_t^{IPCU}$	Difs.Logs.	Zivot-Andrews	-2.9901	0.0379

Figura 1: Probabilidad de incumplimiento en carteras de crédito



En la figura ( 1) es posible observar que las probabilidades de incumplimiento en cada una de las carteras crediticias siguen una dinámica similar al final del periodo de estudio, pero es notorio que el efecto de choques macroeconómicos adversos, como el ocurrido partir de la crisis *subprime*, es de diferente magnitud en cada una, de modo que se busca un método que permita medir el impacto de cada una de las variables macro en cada una de las carteras, y además integrar un posible factor relación entre el movimiento de las variables.

Se utilizó para las estimaciones el método *Seemingly unrelated regressions (SUR)*, la idea de este método es que las ecuaciones podrían estimarse de forma independiente, pero al permitir la correlación a través de las ecuaciones contemporáneas, se busca incluir en el modelo el efecto que podría tener alguna variable que no esté específicamente en el modelo y sin embargo afecte al conjunto. De forma que permite la estimación de diversas variables dependientes a través de un grupo de variables explicativas que no necesariamente es el mismo para cada una, y con la posibilidad de correlación de los términos de error a través de las ecuaciones.

### 3.5. Resultados de la estimación

Una aseveración realista es que un movimiento en las variables macroeconómicas no sólo tiene efectos inmediatos en el manejo de las deudas en diferentes sectores, de hecho, podría pensarse que en algunos casos (como en el caso de la producción industrial, o la actividad económica) esto puede tener un impacto retardado en la situación financiera, y más dado que los datos utilizados son de periodicidad mensual, es preciso incluir rezagos macro en la representación de

la situación financiera. Es por ello que en las estimaciones del esquema econométrico se incluyeron en cada una de las ecuaciones de  $y_t$  rezagos de cada una de las variables macro, la literatura que normalmente utiliza series macro de cálculo trimestral suele incluir dos niveles de retraso, tomando como referencia el periodo de movimientos que se busca captar en dichos modelos, se incluyeron en el modelo seis niveles de retraso. Además, se incluyeron en cada ecuación rezagos propios de cada cartera y dependencia de las demás carteras crediticias, ya que como apreciamos en la figura ( 1), hay motivos para pensar que los procesos que dominan a cada variable podrían estar relacionados.

El procedimiento de estimación de las variables relevantes para la explicación de las variables financieras que aparecen en el cuadro ( 4), consistió en utilizar el método SUR para calcular el valor de los coeficientes, y de forma iterada, eliminar aquellos que no tuvieran relevancia estadística, hasta llegar a aquella combinación que resultara en un ajuste significativo de las variables explicadas. Finalmente, algunas de las variables macroeconómicas no resultaron significativas para las variables financieras, pero en la explicación de las variables macroeconómicas sí, de modo que no fueron eliminadas del sistema.

Cuadro 4. Resultados de las estimaciones para las variables financieras con el método SUR.

Var.	$y_t^{VIV}$	$y_t^{TDC}$	$y_t^{NRE}$	$y_t^{COM}$	Var.	$y_t^{VIV}$	$y_t^{TDC}$	$y_t^{NRE}$	$y_t^{COM}$
<b>AR(1)</b>	0.422 (0.068)	0.584 (0.067)	- 0.339 (0.061)	0.156 (0.072)	$x_{t-6}^{IPCU}$	0.492 (0.101)		1.375 (0.193)	
<b>AR(3)</b>		- 0.542 (0.062)	0.592 (0.060)		$x_t^{PIN}$	0.905 (0.095)			0.523 (0.141)
<b>AR(4)</b>	0.690 (0.042)	0.416 (0.069)	- 0.373 (0.059)		$x_{t-1}^{PIN}$	1.379 (0.120)			
<b>AR(5)</b>	- 0.511 (0.064)		- 0.344 (0.059)	- 0.360 (0.064)	$x_{t-2}^{PIN}$	0.976 (0.085)		1.489 (0.235)	
<b>AR(6)</b>	- 0.104 (0.043)		- 0.584 (0.055)	0.248 (0.066)	$x_{t-4}^{PIN}$	0.717 (0.106)			
$x_t^{CTO}$	- 0.166 (0.066)	- 0.671 (0.096)	- 0.597 (0.135)		$y_{t-2}^{TDC}$			0.736 (0.066)	
$x_{t-1}^{CTO}$	- 0.665 (0.065)	- 0.427 (0.103)	0.329 (0.131)		$y_{t-3}^{TDC}$			- 0.704 (0.072)	
$x_{t-4}^{CTO}$		0.655 (0.097)		- 0.465 (0.096)	$y_{t-4}^{TDC}$			0.670 (0.070)	
$x_t^{CNP}$	- 0.500 (0.075)		- 1.313 (0.147)		$x_t^{TIRF}$			1.743 (0.339)	- 0.667 (0.261)
$x_{t-1}^{CNP}$	0.361 (0.099)	0.836 (0.139)	1.179 (0.221)		$x_{t-1}^{TIRF}$		- 0.981 (0.254)	- 2.972 (0.436)	
$x_{t-2}^{CNP}$	0.332 (0.078)	0.609 (0.128)	- 0.765 (0.169)	- 0.626 (0.164)	$x_{t-2}^{TIRF}$	0.364 (0.172)	0.787 (0.238)	1.185 (0.349)	- 0.522 (0.266)
$x_{t-4}^{CNP}$	1.304 (0.097)	0.520 (0.118)	0.703 (0.224)		$x_{t-3}^{TIRF}$	0.567 (0.175)	1.195 (0.249)	1.227 (0.316)	
$x_{t-5}^{CNP}$	1.000 (0.104)	0.375 (0.125)			$x_{t-4}^{TIRF}$	1.348 (0.157)		- 2.944 (0.422)	0.529 (0.255)
$x_{t-6}^{CNP}$	1.133 (0.086)				$x_{t-5}^{TIRF}$	- 0.780 (0.151)		1.225 (0.343)	
$x_t^{IGE}$	- 1.361 (0.168)	- 0.379 (0.167)	- 0.547 (0.307)		$x_{t-6}^{TIRF}$	0.587 (0.143)			
$x_{t-1}^{IGE}$			- 1.880 (0.419)	- 0.529 (0.219)	$x_t^{TIRH}$	- 0.983 (0.143)			- 0.583 (0.225)

Cuadro 4: Resultados de las estimaciones para las variables financieras con el método SUR. (continuación)

Var.	$y_t^{VIV}$	$y_t^{TDC}$	$y_t^{NRE}$	$y_t^{COM}$	Var.	$y_t^{VIV}$	$y_t^{TDC}$	$y_t^{NRE}$	$y_t^{COM}$
$x_{t-3}^{IGE}$	2.199 (0.180)		1.668 (0.299)		$x_{t-1}^{TIRH}$	-0.654 (0.152)		-3.103 (0.315)	-1.693 (0.271)
$x_{t-4}^{IGE}$				1.361 (0.202)	$x_{t-2}^{TIRH}$	1.198 (0.182)	-0.651 (0.202)		
$x_{t-5}^{IGE}$			-1.027 (0.243)	0.950 (0.200)	$x_{t-3}^{TIRH}$	1.218 (0.131)			-0.686 (0.264)
$x_{t-6}^{IGE}$	0.596 (0.107)			0.390 (0.192)	$x_{t-4}^{TIRH}$	-1.086 (0.175)		2.371 (0.268)	1.024 (0.302)
$x_{t-1}^{IPCU}$				0.784 (0.160)	$x_{t-5}^{TIRH}$	-0.648 (0.149)		-2.291 (0.320)	0.861 (0.292)
$x_{t-2}^{IPCU}$	-0.834 (0.093)				$x_{t-6}^{TIRH}$			1.410 (0.281)	
$x_{t-4}^{IPCU}$			1.133 (0.188)		<b>Var.</b>	$y_t^{VIV}$	$y_t^{TDC}$	$y_t^{NRE}$	$y_t^{COM}$
$x_{t-5}^{IPCU}$			-1.441 (0.164)	-0.406 (0.175)	<b>R<sup>2</sup></b>	0.810	0.660	0.864	0.595
					<b>Ad R<sup>2</sup></b>	0.699	0.581	0.795	0.459
					<b>EStd.</b>	0.010	0.015	0.021	0.017
					<b>DWt</b>	1.981	2.047	2.104	2.002

A partir de los resultados obtenidos podemos concluir que la variable de crédito otorgado lleva a un deterioro en las carteras de crédito, la explicación económica que podría estar relacionada con esta dinámica es que el aumento en los créditos otorgados no necesariamente proviene de créditos de alta calidad, apunta a que las instituciones financieras estarían ampliando su mercado y a la vez incurriendo en un riesgo mayor.

En cuanto IGAE y a la producción industrial, la asociación que se hace del aumento de estos indicadores a una mejora en la situación económica, se confirma con una mejoría en la situación crediticia para vivienda y crédito comercial.

El movimiento en la tasa de interés doméstica se revela en un cambio negativo en la cartera de tarjeta crédito, vinculado directamente a la carga de la deuda. El efecto en la cartera de crédito comercial, la cual está compuesta de créditos asociados con la actividad empresarial y destinados a su giro comercial o financiero, que resulta negativo inicialmente y positivo cuando se considera un plazo mayor, apunta a que la mejora en las condiciones de inversión derivadas del aumento de la tasa de interés se traduce en una mejora en el manejo de la deuda en este sector. En cuanto a la cartera de crédito a la vivienda y la de crédito no revolvente, estas presenta una mayor intermitencia en el signo de los coeficientes, pero considerando el impacto global, este resulta menor aunque negativo, es decir, en proyectos de inversión a largo plazo, como los que conforman las carteras vivienda y no revolvente, el aumento en la tasa de interés dificulta el manejo de la deuda.

Como se señaló con anterioridad, las variables de tasa de interés real e indicador de producción y ocupación de EEUU, fueron incluidas en el análisis en el intento de modelar la influencia del estado de la economía vecina en la situación crediticia, si evaluamos la disminución de la producción y el aumento

de la tasa de interés como elementos de deterioro de la economía extranjera en el corto plazo, la respuesta de las variables financieras apunta a que esto de igual forma empeora en la calidad del crédito, para las carteras ligadas a los créditos comerciales, pero el efecto resulta ambiguo en el resto de las carteras. Como se observa en el cuadro ( 4), la descripción de cada variable financiera incluye diferentes niveles de rezago sobre ella misma, además se realizaron las estimaciones considerando una relación con seis retrasos sobre el conjunto de restantes variables financieras, así como con el resto de las estimaciones, se eliminaron aquellas que no resultaran significativas a un nivel de  $\alpha = 10\%$ .

Como se señaló anteriormente, en la estimación de las variables financieras se descartaron por el orden de significancia estadística las variables de exportaciones, el tipo de cambio real, las tasas de inflación y desempleo. Cabe señalar que las dinámicas representadas por variables en diferencias como las utilizadas en el presente modelo, pueden ser útiles al momento de estimar relaciones a muy corto plazo, por lo que no se puede descartar de forma tajante la existencia de una relación entre estas variables y la situación crediticia de las instituciones financieras.

Una prueba que se incluye para darle validez a las estimaciones es la de Pormanteau para autocorrelación entre estos, los resultados se incluyen en el cuadro ( 5) y es posible concluir que no existe autocorrelación.

Cuadro 5: Tests para Autocorrelación en Sistema de Residuales de Portmanteau  
Hipótesis nula: no hay autocorrelación residual hasta el lag h

Lags	Q-Stat	Prob.	Adj Q-Stat	Prob.	df
<b>1</b>	199.463	0.889	200.750	0.876	225
<b>2</b>	381.161	0.992	384.808	0.988	450
<b>3</b>	609.762	0.966	617.891	0.943	675
<b>4</b>	831.029	0.951	844.981	0.905	900
<b>5</b>	1,019.614	0.989	1,039.810	0.966	1,125
<b>6</b>	1,204.078	0.998	1,231.653	0.990	1,350
<b>7</b>	1,450.060	0.989	1,489.191	0.939	1,575
<b>8</b>	1,678.927	0.980	1,730.429	0.878	1,800
<b>9</b>	1,863.043	0.995	1,925.817	0.942	2,025
<b>10</b>	2,067.246	0.997	2,144.007	0.945	2,250
<b>11</b>	2,257.502	0.999	2,348.697	0.965	2,475
<b>12</b>	2,488.032	0.998	2,598.437	0.918	2,700

Considerando que un factor importante en la validez de los resultados obtenidos en el modelo radica en el comportamiento de los residuales, buscamos que estos sean comportados de forma normal. En el cuadro ( 6) se presenta la estadística descriptiva de los residuales.

Cuadro 6. Estadística descriptiva: residuales de modelo econométrico

Res.Var.	Media	D.St.	Skewness	Kurtosis	Jarque-Bera	Proba	Obs.
$x_t^{REXP}$	0.101	0.998	0.134	2.879	0.562	0.755	156
$x_t^{TIRH}$	-0.061	0.999	-0.186	3.108	0.977	0.613	156
$x_t^{TIRF}$	0.078	1.000	0.148	3.575	2.713	0.258	156
$x_t^{PRIN}$	0.000	1.001	-0.190	3.683	3.968	0.138	156
$x_t^{ITCR}$	0.015	0.983	0.093	3.290	0.770	0.680	156
$x_t^{PCU}$	0.014	1.002	-0.451	3.476	4.760	0.054	156
$x_t^{GAE}$	0.026	1.002	0.249	3.065	1.636	0.441	156
$x_t^{CONP}$	0.110	0.995	0.010	2.798	0.266	0.875	156
$x_t^{CCTO}$	-0.005	1.002	0.192	3.540	2.853	0.240	156
$x_t^{INFL}$	-0.014	1.002	0.233	2.643	2.246	0.325	156
$x_t^{DESE}$	0.058	1.002	-0.295	2.706	2.819	0.244	156
$y_t^{VIV}$	0.092	0.993	-0.057	3.077	0.123	0.940	156
$y_t^{TDC}$	0.047	0.990	-0.224	2.994	1.303	0.521	156
$y_t^{NRE}$	-0.017	0.999	-0.169	3.024	0.746	0.689	156
$y_t^{COM}$	-0.059	1.000	0.035	2.604	1.050	0.592	156

Cuadro 7: Multivariate Normality Tests

Test	Statistic	ScaledStatistic	Prob.
<b>Henze-Zirkler</b>	0.995	0.426	0.574
<b>Mardia's Kurtosis</b>	259.842	-	0.181
<b>Doornik-Hansen</b>	31.819	-	0.376

Considerando los resultados de curtosis y el estadístico de Jarque-Bera presentado, es posible inferir que los residuales pueden verse como ruido blanco. A modo de comprobación, se tomaron en cuenta los resultados de diversas pruebas de normalidad cuyos resultados son presentados en el cuadro (7) y por lo tanto, a un nivel de significancia de 5% no es posible rechazar la hipótesis de normalidad multivariada por parte de los residuales. De modo que los residuos son bien comportados y se puede pasar a la simulación.

#### 4. Simulación Monte Carlo y escenarios de estrés

Siguiendo a Wong (2008), Wilson (1997) y Virolainen (2004), la forma en que se realizaron pruebas de estrés sobre el sistema estimado en la sección anterior es la siguiente.

La idea es comparar la pérdida estimada en las carteras de crédito en dos diferentes situaciones, la primera, el escenario base, sin introducir algún choque artificial, y la segunda, incluyendo situaciones específicas de estrés en variables macroeconómicas. Para ambas se estima una distribución de probabilidad a partir de las frecuencias obtenidas para los datos de pérdida en las carteras crediticias.

Estas distribuciones, que son obtenidas para un horizonte temporal específico para cada cartera de crédito en el escenario base y en los escenarios estresados, se obtienen de forma separada al simular un número grande de tasas de incumplimiento en las carteras de crédito de forma conjunta mediante la aplicación del método de Monte Carlo.

Para obtener simulaciones sobre las probabilidades de incumplimiento en el escenario base, se empieza por obtener un vector específico de probabilidades

de incumplimiento adelantado por un periodo, esto a partir de un vector de variables aleatorias  $r$  considerando una distribución normal con media cero y varianza  $\sum^W$ , que representará una realización del vector de perturbaciones  $e_t$ .

Dado el valor presente obtenido para las variables macroeconómicas y sus valores pasados, las  $J$  tasas de incumplimiento y las perturbaciones capturadas en  $r$ , los valores de un periodo hacia adelante  $y_{j;t+1}$  y  $x_{i;t+1}$  se pueden calcular a través de las ecuaciones ( 7) y ( 8). De forma similar, los valores asociados a dos periodos hacia adelante pueden ser calculados con la simulación de otro vector  $r$ , obtenido considerando el supuesto de independencia temporal de los residuales, más el resultado de un periodo hacia adelante previamente obtenido.

De forma iterada, se obtiene una trayectoria futura para las tasas de incumplimiento de las  $J$  carteras crediticias, esto delimitado al horizonte de tiempo que se pretende estudiar. Es preciso señalar, que el número de veces que se repite el procedimiento debe ser lo suficientemente grande para poder asegurar convergencia a la distribución real.

Al realizar simulaciones, se obtendrán trayectorias que teóricamente parten de diferentes realizaciones de las variables macroeconómicas y de las perturbaciones representadas por  $v_t$  en la ecuación ( 7).

Una vez que se obtengan suficientes datos sobre  $y_t$ , es preciso realizar la transformación inversa a la descrita en la sección (3.1), para así tratar únicamente con probabilidades de incumplimiento. Añadiendo datos sobre la LGD (Loss Given Default), la distribución asociada a la pérdida en las carteras de crédito puede ser estimada. Siguiendo a Wong (2008), que al no contar con estadísticas sobre este indicador optó por elegir un factor fijo para la LGD, se asumirá que la pérdida real en la cartera de crédito una vez que ha ocurrido el incumplimiento es de 25%, de modo que la distribución de pérdida se obtendrá de la multiplicación de la probabilidad de incumplimiento y la pérdida dado el incumplimiento.

En la construcción de la distribución de las posibles pérdidas crediticias en los escenarios estresados, se introducen eventos adversos artificiales en las variables macroeconómicas seleccionadas para ser la fuente del estrés, y el resto de las variables macroeconómicas del conjunto son simuladas de forma normal.

Ahora, para obtener la distribución de probabilidad de las variables financieras en una situación de estrés, se selecciona la fuente de este, se genera el vector de perturbaciones a partir de la misma distribución normal con media cero varianza  $\sum^W$ , pero, en esta ocasión, se introduce de forma artificial el choque seleccionado en la entrada correspondiente del vector  $r$ , entonces  $r$  se vuelve semi-aleatorio.

Al incluir un choque en alguna variable a través de este mecanismo, el resto de las variables macroeconómicas son afectadas también debido al supuesto de que los elementos fuera de la diagonal de  $\sum^W$  no son necesariamente iguales a cero y a que puede existir alguna dependencia explícita en el sistema entre este conjunto. En otras palabras, la variable macroeconómica alterada no será la única afectada de forma negativa en la simulación, ya que el choque será transmitido a las otras variables a través del impacto de esta perturbación en las otras perturbaciones y así por cada uno de los periodos estimados. La simulación de las tasas de incumplimiento para dos periodos hacia adelante

requiere la simulación de otro  $r$ . En caso de que el choque sobre la variable macroeconómica sea diseñado como duradero, será necesario seguir modificando el valor correspondiente en el vector  $r$  y haciéndolo semi-aleatorio. En caso contrario, se deja que  $r$  tome los valores obtenidos de la simulación como en el caso de la distribución para el escenario base. Con base en este procedimiento, se construyen trayectorias para las variables financieras bajo el supuesto de que ocurre el escenario adverso, para la duración dada del periodo del choque artificial.

Es preciso señalar que el sistema de ecuaciones establecido en el Capítulo 3 caracteriza las dinámicas de las variables financieras y las del sector macroeconómico, de modo que una trayectoria simulada se considerada derivada del movimiento en las variables macroeconómicas, y esta relación está basada en las estimaciones que se obtuvieron a partir de los datos históricos.

En teoría, las simulaciones sobre el escenario base producen una estimación de la distribución de probabilidad no condicionada de las posibles pérdidas crediticias, es decir, al no considerar la ocurrencia de un choque en particular (o de una trayectoria específica para las variables macroeconómicas), se obtienen cualquier tipo de trayectorias, que llevan a estimar una distribución que no está sujeta a un evento específico. En cambio, para los escenarios de estrés, las frecuencias de las pérdidas en las carteras que se obtienen con simulación Monte Carlo, están restringidas a la ocurrencia de eventos en particular, es decir, representan un amplio conjunto de trayectorias posibles para el resto de las variables del sistema cuando se da por hecho que el evento adverso ha ocurrido. Por lo tanto, al comparar la distribución de pérdida, condicionada al escenario estresado, con la distribución no condicional del escenario base, se obtiene información sobre el posible impacto de las condiciones macroeconómicas adversas desencadenadas por el choque que se introdujo.

La decisión de incorporar un mayor número de relaciones estimadas entre variables macroeconómicas y variables mediante la adopción del esquema de Wong en vez del de Virolainen, es que la dinámica de efectos a través de los periodos que incluyen las trayectorias que fue descrita anteriormente, no es del todo modelada, bajo un esquema más convencional, los choques que son introducidos en alguna de las variables del conjunto, afectan al resto sólo a través del término de error incluido en cada ecuación.

Como se ha mencionado anteriormente, el interés de realizar un ejercicio de estrés sobre un sistema como el aquí presentado, radica en obtener información sobre la respuesta de variables financieras ante un evento adverso en el esquema macroeconómico que no necesariamente sea de frecuente ocurrencia, considerando una gama amplia de posibilidades para incluir de forma acertada los componentes probabilísticos involucrados en las dinámicas del conjunto de variables.

#### **4.1. Delimitación de escenarios adversos**

El siguiente paso es generar las simulaciones de probabilidades de incumplimiento partiendo de las estimaciones obtenidas con el método SUR, para así construir las distribuciones asociadas y calcular un porcentaje de pérdida esperada.

La forma de generar vectores de error para ser introducidos al sistema será la que se utilizó en los trabajos de Boss (2002), Yüksel (2006), entre otros. Un

vector aleatorio de la distribución normal multivariada se obtiene al calcular la descomposición de Cholesky  $C$  de la matriz de covarianzas  $\Sigma$ , donde  $C$  se define por  $\Sigma = CC'$ . Se multiplica por  $C'$  a un vector aleatorio  $z$  cuyas entradas sean obtenidas de una normal estándar de forma independiente y se así se obtiene  $r$ . El horizonte temporal para cada choque será de una año, esto debido a que es un lapso socorrido en la literatura relevante.

El periodo que es considerado como inicial es diciembre de 2014, de modo que al haber incluido seis rezagos en el sistema, como datos históricos entrarán en el las trayectorias desde julio hasta diciembre de 2014. Los choques serán inducidos en el periodo de enero a diciembre de 2015, y se simulará la trayectoria hasta diciembre de 2016, es en este punto donde el efecto se evaluará.

Para cada una de las distribuciones se tomaron en cuenta 10,000 repeticiones del procedimiento de simulación. En el caso del escenario base, como se mencionó anteriormente, no fue inducido ningún choque artificial.

En cuanto a los escenarios adversos, aquí se ha tomado en cuenta la característica de plausibilidad, de acuerdo a las definiciones básicas de riesgos del Banco de México, una forma de crear escenarios<sup>3</sup> es tomar en cuenta valores la serie de valores históricos de los factores de riesgo relevantes y seleccionar alguno que esté relacionado a situaciones de crisis. Así mismo, como lo señaló Blaschke *et. al.* en 2001, el uso de este enfoque es la forma más intuitiva de crear escenarios adversos, ya que queda asegurada la plausibilidad.

La selección de escenarios adversos se hizo tomando en cuenta las variaciones máximas en los factores de riesgo. Las variables que se eligieron como fuentes del estrés y la duración de los choques inducidos son los siguientes:

- Crecimiento de la tasa de interés real doméstica por 300 puntos base, inducido de forma paulatina durante 12 meses
- Caída en el crecimiento del IGAE de 2.2 %, inducido igualmente de forma paulatina durante 12 meses
- Una reducción del crecimiento del IPCU por 3.3% ocurrido durante los primeros 5 meses de la simulación

#### 4.2. Resultados

Las gráficas del kernel de las distribuciones de pérdida en las carteras de crédito son representadas en las figuras ( 2), ( 3) y ( 4), y se observa que, al introducir un choque, la distribución se desplaza hacia la derecha, representando un aumento en la frecuencia de altos porcentajes a expensas de los bajos, es decir, un aumento en la probabilidad de incurrir en una mayor pérdida una vez que se está en una situación macroeconómica adversa, esto para los choques inducidos en las tasas de interés reales y el indicador de actividad económica en México. En el caso del tercer escenario, se observa que la distribución se concentra más en los extremos, aunque al observar los datos de VaR la respuesta de las carteras financieras queda más clara.

---

<sup>3</sup> Definiciones Básicas de Riesgos, Noviembre 2005. Escenarios extremos históricos: Consiste en valuar los portafolios considerando los factores de riesgo que se presentaron en situaciones históricas de crisis.

Figura 2. Pérdida crediticia bajo escenarios base y de aumento en tasas de interés reales.

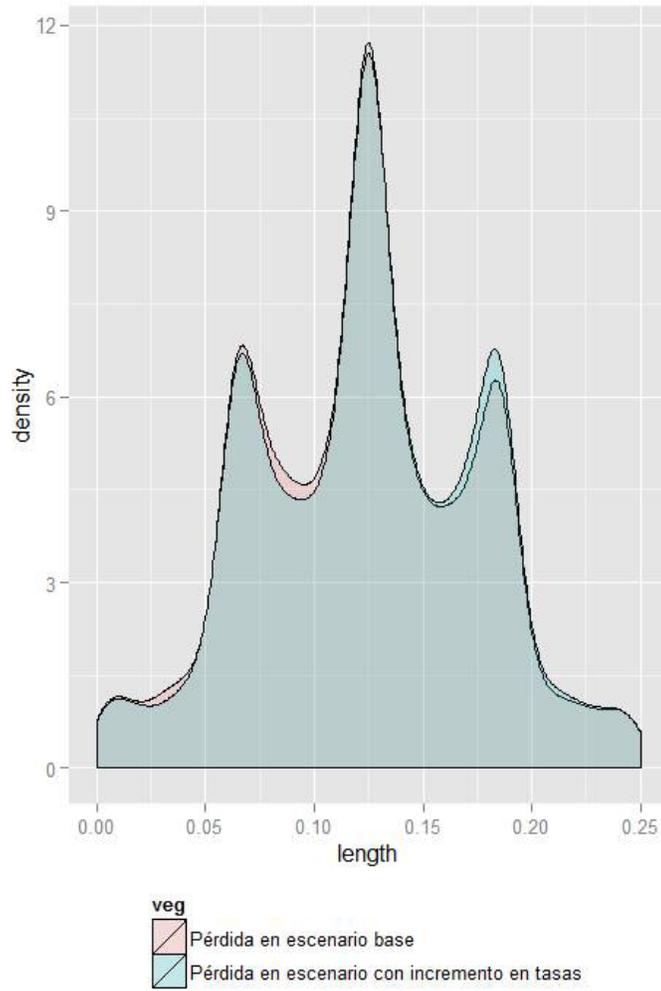


Figura 3. Pérdida crediticia bajo escenarios base y de decremento en IGAE.

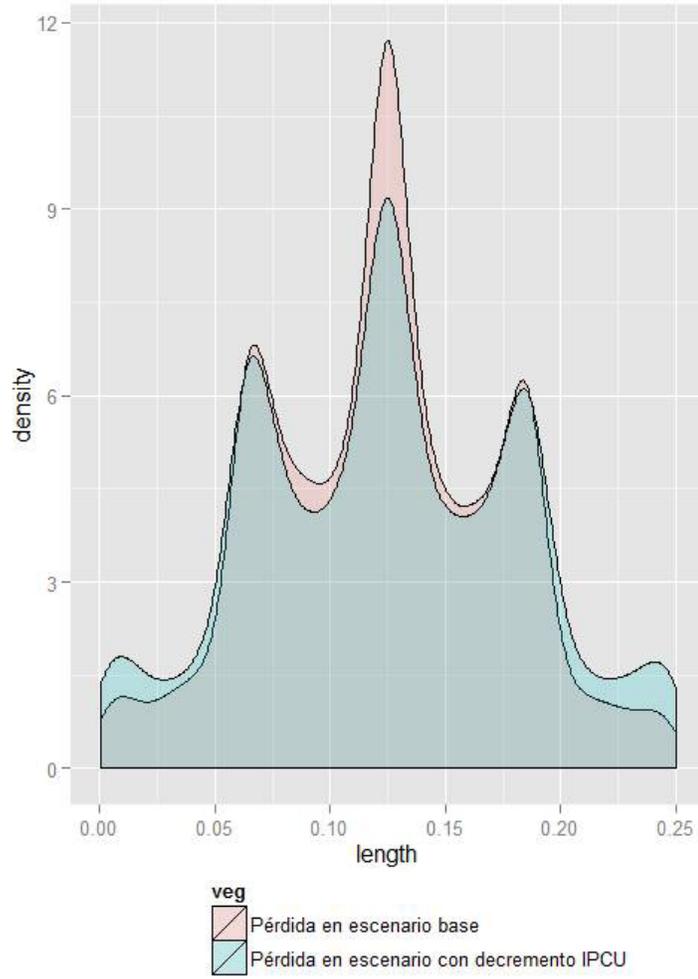
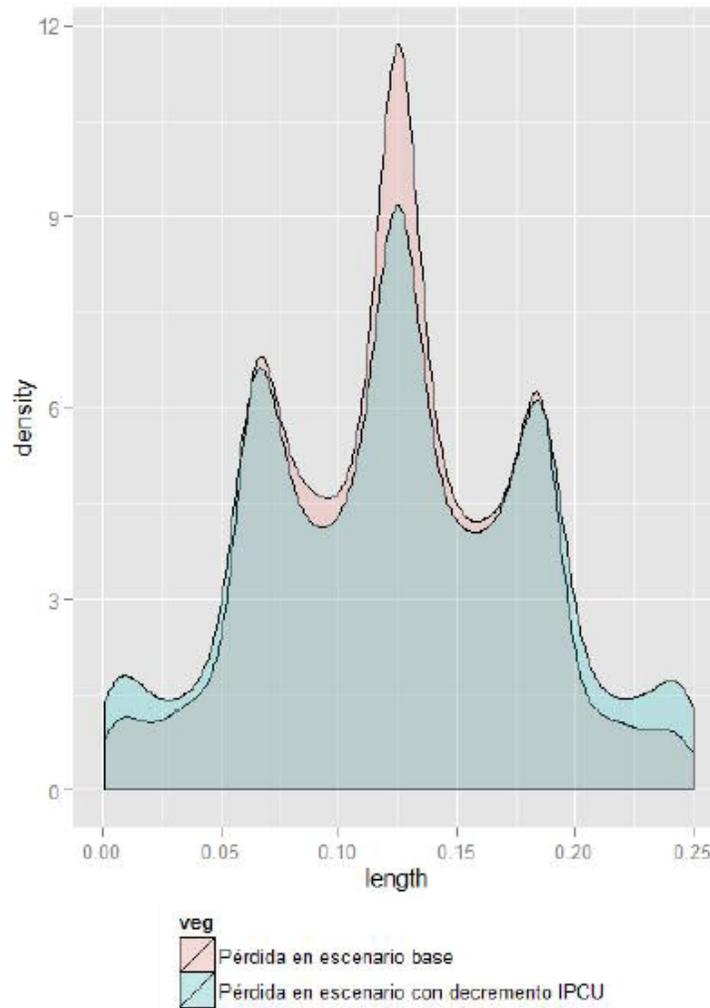


Figura 4. Pérdida crediticia bajo escenarios base y de decremento en IPCU.



Los resultados para el VaR en diferentes niveles de confianza son presentados en el cuadro ( 8), observamos que en el caso de los choques en IGAE e IPCU, el porcentaje de pérdida potencial en las carteras aumenta, es decir, la provisión de capital que es necesaria para que los bancos estén protegidos ante choques macroeconómicos es mayor, lo que nos llevaría a suponer que al enfrentarse a escenarios adversos delimitados por las condiciones históricas de las variables de riesgo, los bancos no tendrían un aumento sustancial en su nivel de pérdidas, tanto como para que ello represente un riesgo para el Sistema Financiero. Para el caso del escenario de alta tasa de interés real, la interpretación de los datos de la tabla ( 8) no es tan clara, en el cuadro ( 9) se puede apreciar de forma más clara que el cambio en el VaR para distintos niveles de confianza no siempre es

mayor para el escenario adverso, sin embargo, podemos notar que la distribución tiene un ligero desplazamiento a la derecha a partir de los valores de la media en ambas distribuciones, esto nos sugiere que de igual forma, los valores de pérdida se concentran en cantidades mayores.

Cuadro 8: Media y VaR para pérdidas crediticias

	<b>Base</b>	<b>Altas tasas</b>	<b>Bajo IGAE</b>	<b>Bajo IPCU</b>
<b>Media</b>	12.276 %	12.453 %	12.412 %	12.415 %
<b>VaR al 90 %</b>	18.725 %	18.723 %	18.787 %	19.527 %
<b>VaR al 95 %</b>	20.315 %	20.449 %	21.148 %	22.476 %
<b>VaR al 99 %</b>	24.148 %	24.131 %	24.550 %	24.799 %
<b>VaR al 99.9 %</b>	24.933 %	24.916 %	24.973 %	24.989 %

Cuadro 9: Diferencias en media y VaR para pérdidas crediticias, diferencias

	<b>Altas tasas</b>	<b>Bajo IGAE</b>	<b>Bajo IPCU</b>
<b>Media</b>	0.178 %	0.139 %	0.139 %
<b>VaR al 90 %</b>	-0.002 %	0.801 %	0.801 %
<b>VaR al 95 %</b>	0.134 %	2.161 %	2.161 %
<b>VaR al 99 %</b>	-0.017 %	0.651 %	0.651 %
<b>VaR al 99.9 %</b>	-0.017 %	0.056 %	0.056 %

## 5. Conclusiones

El objetivo de este trabajo fue presentar un vínculo entre indicadores financieros de la deuda en las carteras de crédito agregadas del Sistema Bancario Mexicano, y variables macroeconómicas que representen el estado de la economía en el país. La contribución esencial consiste justamente en cuantificar estas relaciones y presentar un esquema que describe la dinámica de las series financieras consideradas.

Se obtuvo un esquema que permitió estimar distribuciones de probabilidad condicionadas a la ocurrencia de eventos en particular y una no condicionada. Esto hizo posible evaluar el deterioro que sufre la deuda cuando se enfrenta a algunos posibles escenarios adversos, contruidos a partir de situaciones de crisis anteriores. Al comparar las distribuciones de probabilidad asociadas a la ocurrencia de los escenarios adversos con la distribución no condicionada, se observó un deterioro en la situación de las carteras de crédito, pero, no tan significativo como para hacer posible concluir que existe vulnerabilidad proveniente de este apartado específico del balance bancario.

Es preciso hacer énfasis en la particularidad del resultado obtenido, con la evaluación de los efectos de tres posibles situaciones adversas no es posible

concluir que la exposición al riesgo que estas instituciones enfrentan es despreciable. La única conclusión posible es la que está restringida a la ocurrencia de los escenarios planteados. Por otro lado, el esquema presentado es un ejemplo de cómo podrían ser estimadas las relaciones financieras y macroeconómicas para la evaluación de sensibilidades a situaciones hipotéticas, este sería de utilidad en la prevención de riesgo para instituciones en particular y como mecanismo de vigilancia por parte de las autoridades financieras.

Cabe señalar que durante la realización de este trabajo se detectaron algunas posibles mejoras o extensiones que de ser aplicadas a datos del sistema financiero podrían aportar mayor exactitud en la estimación de la dinámica que siguen las variables.

Por un lado, el análisis estuvo restringido a la disponibilidad de datos financieros, tanto temporal como en cuestión de periodicidad. En cuanto a esto, a diferencia de la mayoría de la literatura, los datos utilizados aquí fueron de periodicidad mensual. Muchos de los más importantes indicadores económicos están calculados por trimestre, la inclusión de este tipo de variables relevantes en el modelo podría representar un incremento de su poder explicativo.

Además, la mayoría de las series financieras y macroeconómicas que se analizaron resultan ser de raíz unitaria. La modificación del modelo a modo de incluir sólo variables cointegradas en niveles, aplicando los respectivos mecanismos de corrección, es otra posible mejora que no sólo podría aumentar el poder explicativo del modelo, si no que haría más evidente la relación existente entre los dos conjuntos de variables. Por otro lado, incluir un modelo macroeconómico para el diseño de escenarios junto con indicadores que representen mejor el estado de la economía también significaría una mejor aproximación.

Finalmente, el incluir en el modelo la representación explícita de las conexiones entre las diversas instituciones financieras aportaría también un mayor alcance al proyecto.

## Bibliografía

- Blaschke, W., Jones, (2001). M. Stress Testing of Financial Systems: An Overview of Issues, Methodologies, and FSAP Experiences. International Monetary Fund.
- Boss, Fenz, et al. (2009). Modeling Credit Risk through the Austrian Business Cycle: An Update of the OeNB Model. Financial Stability Report 17.
- Boss, M. A (2002). Macroeconomic Credit Risk Model for Stress Testing the Austrian Credit Portfolio. *Financial Stability Report 4*, Oesterreichische Nationalbank.
- Brooks, C. (2008). Introductory Econometrics for Finance. Cambridge University Press.
- Castrén, O., Déés, S., Zaher, F. (2009). Stress-testing Euro Area Corporate Default Probabilities using a Global Macroeconomic Model. *Journal of Financial Stability* 6 64/78. 2009
- Küçüközmen, Yüksel.(2006). A Macroeconometric Model for Stress Testing Credit Portfolio. Presentado en la Conferencia de la Multinational Finance Society Edinburgh, UK.
- Sorge, M., Virolainen, K. A (2006). Comparative Analysis of Macro Stress-Testing Methodologies with Application to Finland. The World Bank, Washington, and Bank of Finland, Helsinki.
- Virolainen, K. (2004). Macro Stress-Testing with a Macroeconomic Credit Risk Model for Finland. Bank of Finland. *Discussion Paper*, No. 18/2004.
- Wilson, T. C. Portfolio Credit Risk (I). (1997) Risk (9).
- Wilson, T. C. Portfolio Credit Risk (II) (1997). Risk (10).
- Wong, J. H-Y. (2008). A framework for stress-testing banks' credit risk. *The Journal of Risk Model Validation*, 2( 1), pp. 3-23.